

DOĞAL ZEOLİTLER YARDIMI İLE RADYOAKTİF  
ATIKLARIN TEMİZLENMESİ

Sevinç Ulusöz

Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Fizik Anabilim Dalı  
Katıhal Fiziği Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul Yörükoğulları

Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

Şubat:1990

Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

Sevinç Ulusöz'ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı " DOĞAL ZEOLİTLER YARDIMI İLE RADYOAKTİF ATIKLARIN TEMİZLENMESİ " başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

.30.1.3.1/1990

Üye : Prof. Dr. Mehmet İdris

Üye : Y. Doç. Dr. Ertuğrul Yörükoğulları

Üye : Y. Doç. Dr. Önder ORHUN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun.2.5.1990  
gün ve 242/3.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü  
Prof. Dr. Rüstem Kaya

Babama ve Anneme

## Ö Z E T

Günümüzde enerji gereksinimi için nükleer enerjinin önemli bir kaynak olması, radyoaktif atıkların aktiviteden uzaklaştırılması için ekonomik ve etkin proses bulma çalışmalarına hız verilmiştir.

Aktivite tutucu ortam olarak zeolit örneği kullanılmıştır. Zeolit herhangi bir aktivasyon işlemi yapılmadan doğal formlarında, kolonlarla paketlenmiştir.

## S U M M A R Y

Nuclear energy is presently an important source to meet the growing energy demand. Therefore investigations for the development of an effective and economic process for the decontamination and disposal of radioactive wastes had gained considerable importance.

Zeolite was used as activity sorbers. Zeolites were packed in columns in their natural forms without being treated any activation processes.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda yardımı esirgemeyen ve çalışmamı yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul Yörükoğulları, çalışmama destek olan hocam Prof. Dr. Muhsin Zor'a çalışmam hakkındaki nazik düşünceleriyle destek olan değerli arkadaşlarım Arş. Grv. Metin Kul, Arş. Grv. A.Şenol Aybek, Arş. Grv. Mehmet Peker, Arş. Grv. Tefvik Ünaldı, Arş. Grv. Murat Tanışlı, Tek. Zülkarni Delil'e, Tezimin daktilo edilmesinde yardımları bulunan Sayın Hüsnü Sevimsoy'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Kısa Tarihçesi.....	1
1.2. Çalışmanın Önemi.....	2
2. MATERYAL VE YÖNEM.....	4
2.1. Zeolitler Hakkında Genel Bilgi.....	4
2.2. Zeolitlerin Kimyasal Bileşimleri ve Kimyasal Yapıları.....	5
2.3. Önemli Zeolit Türleri Ve Özellikleri	6
2.4. Radyoaktif Atımların Aktiviteden Kurtarılması.....	8
2.5. İyon Değişimi Yöntemi.....	10
2.6. Zeolitlerin İyon Değiştirici Olarak Özellikleri Ve Uygulamaları.....	12
2.7. İyon Değiştirici Olarak Doğal Olu- şumlu İnorganik Ve Organik Materyal- lerin Kullanılması.....	16
2.8. Materyalin İşlem İçin Hazırlanması..	17
2.9. İşlem Yöntemleri.....	18
3. DENEYSEL TEKNİK.....	21
3.1. Atık Çözelti.....	21
3.2. Çalışma Yolu.....	21

İÇİNDEKİLER (devam)

viii

	Sayfa
3.3. Zeolit KCl Sistemi . . . . .	23
4. TARTIŞMA VE SONUÇ. . . . .	28
KAYNAKLAR DİZİNİ. . . . .	29



## SEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1. Yapay A ve X zeolitlerinin kristal yapıları	7
2. İyon değiştirici kolonu . . . . .	22

## TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1. Bazı zeolit türleri ve özellikleri . . . . .	3
2. Zeolitlerin iyon değiştirici olarak kullanılmakta olduğu uygulamalarla gelişmekte olan kullanım alanları . . . . .	13

## 1-GİRİŞ

### 1.1. Çalışmanın Kısa Tarihçesi

"Zeolit" genel adıyla tanınan yapay yada doğal, kristal yapılı, sulu alüminyum silikat bileşikleri son otuz yılda endüstriyel uygulama alanına girmişlerdir. Bugün katalizör, adsorbent ve iyon değiştirici olarak kimya endüstrisinde kullanılmakta olan yapay zeolitler Kuzey Amerika, Avrupa ve Japonya'da yılda yaklaşık 250 milyon dolarlık bir pazara sahiptir. Doğal zeolitlerin endüstriyel kullanım alanları henüz yapay zeolitler kadar gelişmiş olmamakla birlikte yıllık üretimleri 300.000 ton dolayındadır. ( 1 )

Doğal zeolitler atık suların arıtılmasında, havanın oksijen ve azotunun ayrılmasında, asit gazların kurutulması ve arıtılmasında, hafif yapı taşı ya da puzzolan özelliğinden dolayı çimento katkı maddesi olarak inşaat sanayiinde, katkı maddesi olarak kağıt sanayiinde kullanılmaktadır.

Katı bir partikül ve sıvı temasında sınır yüzeyinde ekivalent miktarda iyonların değişimi olarak tanımlanan iyon değişim çalışmaları deniz suyu ve kirlenmiş suların arıtılmasında kum filtelerini kullanan Aristo ile başlar. ( 2 ) 19. yy.da Thompson, Sir Humphrey Davy ve Liebig'in doğal değişim olayını keşfetmelerine rağmen, birçok otoriteler esas değişim mekanizmasını Thompson tarafından ortaya çıkarıldığı konusunda aynı fikirdedirler. 19. yy'ın ikinci yarısında Lemberg ve Wiegner (3) doğal iyon değiştirici materyallerin yapılarını aydınlatmışlardır. Harm ilk sentetik iyon değiştiriciyi hazırlamıştır. 1900 yıllarında Pauling, Hendrioks, Grin ve Bacon iyon değişim özelliğinin materyalin kristal yapısı ile ilgili olduğunu yaptıkları çalışmalarda belirlemişlerdir. 1950 de iyon değişim olayı kinetik ve elektrokimyasal yönleri daha anlaşılır hale getirilmiştir.

İyon değişimi prosesinin, radyoaktif atıkların aktiviteden kurtarılması ile ilgili olarak ilk uygulamalarından biri 1951'de Ayers tarafından yapılmıştır. Bunu, Rodger ve Fineman'ın Argonne Ulusal Laboratuvarında düşük seviyeli atıkların arıtılmasını amaçlayan çalışmaları izlemiştir. Los Alamos'da kimyasal bir ön işlemden geçirilen atıklar iyon değiştirici kolonlardan geçirilerek arıtılmıştır. 1958 Cenevre "Atom Enerjisinin Barış İçin Kullanılması Konulu İkinci Birleşmiş Milletler Ulusal Konferansında", Yamamoto (4) düşük seviyeli atıkların arıtılmasında kuvvetli asit kuvvetli baz tipi sentetik organik reçinelerle yüklü kolonlardan geçirildiklerini belirtmiştir. Aynı konferansta, Dejonghe linyitin iyon değişim özelliğinin yanı sıra aktivite ile doygun hale geldikten sonra kolayca yakılıp kül haline getirilmesi avantajını belirtmiştir. Burns ve Gleuckauf atık sularından stronsiyum ve sezyum iyonunu uzaklaştırmada iyon değişim sisteminin başarı ile uygulandığını açıklamışlardır.

Radyoaktif atıkların dekontaminasyonu ile ilgili olarak yukarıda özetlenen ilk çalışmalarını takiben çok sayıda araştırmalar ve uygulamalar süregelmiştir.

## 1.2. Çalışmanın Önemi

Zeolitlerin iyon değiştirme uygulamalarının geliştirilmesinde doğal zeolitlerin önemli yeri olmuştur. Nükleer Endüstride sezyum ve stronsiyum radyoizotoplarının ayrılıp geri kazanılmasında doğal zeolitlerden çabazit, mordenit, klinoptilolitlerin kullanılması bu konuda ilk uygulamalardır.

Doğal zeolitler ucuz malzeme olmaları nedeniyle şimdiye kadar genellikle birim malzeme değerinin düşük olduğu alanlarda kullanılmışlardır. Zeolit malzemenin bir kez kullanılıp atılmasının söz konusu olduğu uygulamalarda ise malzeme maliyeti önemli olmaktadır. Bu tür kullanım alan-

larında doğal zeolitlerin ucuz malzeme olma üstünlüğünün değerlendirilmesi gerekir. Öte yandan yapay zeolitler katalizör ya da adsorbent malzeme olarak değişik kimyasal süreçlerde yapay zeolitler rejenere edilerek defalarca çevrimsel olarak kullanılmaktadır. Yararlı ömürleri birkaç yıl mertebesinde olmaktadır. Bu nedenle birim fiyatı 1000 dolar/ton ya da daha fazla olan yapay zeolitlerin adsorbent ya da katalizör olarak kullanıldıkları kimyasal sürecin toplam maliyetine katkısı sınırlı kalmaktadır.

## 2-MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Zeolitler Hakkında Genel Bilgi

İlk zeolit mineralinin keşfi 1756 yılında olmuştur. İsveçli mineralog Rredrick Cronstedt, İsveç'in Jæppmark bölgesinde Svappari bakır ocaklarında iyi oluşmuş değişik türde kristal örnekleri toplamıştır. Bu kristaller, ısıtıldıkları zaman yapılarında bulunan suyun köpürmesinden dolayı Cronstedt tarafından Yunanca "kaynayan taş" anlamına gelen "zeolit" olarak adlandırılmıştır. Yıllar içinde-doğada 35 tür zeolit minerali bulunmuş, ancak bunların yerbilimleri açısından önemi ya da ne işe yaradıkları konusunda uzun süre pek bir şey bilinmez. ( 1)

1925 Yılında yapılan bir çalışmada suyu uçurulmuş zeolitlerin küçük organik molekülleri adsorpladıklarını ancak büyük molekülleri içerlerine kabul etmedikleri bulunmuştur. Zeolitlerin molekülleri büyüklüklerine göre bu ayırma özelliklerinden dolayı 1982' de "molekül elekleri" olarak adlandırılmıştır. Zeolitlerin susuzlaştırma, adsorplama ve iyon değiştirme özelliklerine ilişkin çalışmalar başlamıştır.

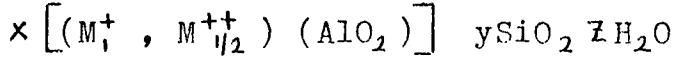
Zeolitleri yapay olarak üretilmesi düşünülmüş ve ilk yapılan deneyler pek başarılı olamamıştır. Elde edilen kristallerin gözenekleri küçük ve gözenek pencereleri dardır. Daha sonra çözünür maddelerle ve düşük sıcaklıklarda yapılan çalışmalar başarılı olmuştur. Çalışmalar sırasında doğada bulunmayan ancak çabazitten daha üstün molekül eleme özelliği olan bir zeolit türü üretilmiştir. Zeolit A olarak adlandırılan bu zeolit bugün de en yüksek miktarda üretimi yapılan zeolitlerden biridir. Daha sonra doğada çok az miktarda bulunan fojasit mineralinin yapısal benzeri olan zeolit X ve Y kristalleri üretilmeye başlanır. A, X ve Y zeolitleri ticari bakımdan bugün en çok önem taşıyan zeolitlerdir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda yaklaşık 150 zeolit türü

sentez edilmiştir.

Yerbilimciler petrografik mikroskopla baktıklarında gözlenebilir boyutta kristaller içermediğini gördükleri, "tuf" ya da "değişime uğramış volkanik kül" olarak adlandırdıkları örneklerin X-ışını kırınım yörüngelerini almışlar. "Tuf", "volkanik kül" ya da "cam" olarak adlandırılan örneklerin bir bölümünün klinoptilolit, erionit mordenit, filipsit, analsim ve diğer zeolitler bakımından zengin olduğu anlaşılmıştır. Böylece ender bulunur bir mineral grubu sayılan zeolitlerin sadece bir türü olan klinoptilolitin, sedimanter kayalarda en yaygın bulunan silikat bileşiği olduğu yargısına varıldı.

## 2.2. Zeolitlerin Kimyasal Bileşimleri ve Kristal Yapıları

Zeolitler alkali ve toprak alkali elementlerin kristal yapıya sahip, sulu alüminyum silikatlarıdır. Genel yapısal formülleri,



olarak verilebilir. Burada  $M^+$ ,  $Na^+$  yada  $K^+$  gibi tek değerli bir katyon,  $M^{++}$  ise  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Ba^{++}$  gibi iki değerli bir katyondur.  $SiO_2/Al_2O_3$  mol oranı ( $y/x$ ) zeolit türüne bağlı olarak 1 ile 5 arasında değişir.

Herhangi bir zeolit kristalinin en küçük yapı birimi  $SiO_4$  yada  $AlO_4$  dörtyüzlüdür. Bu dörtyüzlünün merkezinde oksijenden daha küçük olan silisyum ya da alüminyum iyonu ve köşelerde de oksijen iyonları bulunur. Silisyum iyonu + 4, alüminyum iyonu + 3 ve oksijen iyonu - 2 değerlikli olduğundan bir silisyum iyonu kendini çevreleyen dört oksijen iyonunun ancak -4 değerliğini karşılar. Böylece her oksijen iyonunun -1 değerliği kalır ve başka bir silisyum iyonu ile birleşebilir. Dörtyüzlülerin uzayda değişik biçimde birleşmelerinden zeolitin bir bal peteğine benzer gözenek ve kanalları içeren kristal yapıları oluşur. Silisyum iyonunun yerinde alüminyum iyonunun

bulunduğu dörtyüzlülerin elektrik yükünün dengelenmesi ve kararlı bir kristal yapısı için ek bir artı yüke ihtiyaç vardır. Bu ek artı yük değiştirilebilir katyonlarca sağlanır.

Bazı zeolitlerin yapıları dörtyüzlülerin oluşturduğu çokyüzlüler tarafından daha iyi tanımlanabilir. Bu çokyüzlerin en önemlilerinden biri olan kesik kübik sekizyüzlülerden oluşan yapay A ve X zeolitlerinin kristal yapıları Şekil 1' de gösterilmiştir.

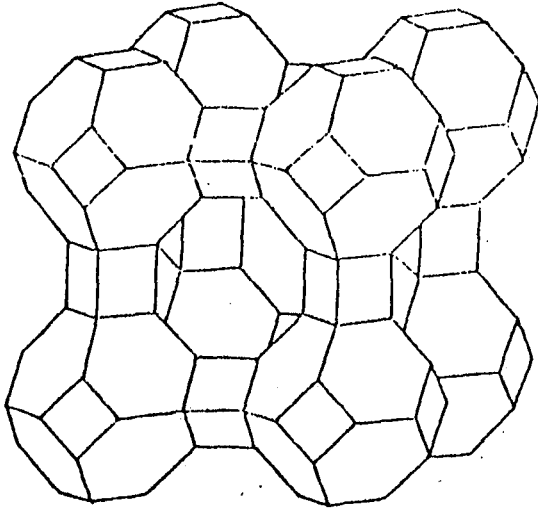
Zeolitlerin gözenek boyutları kristal yapılarına ve bir dereceye kadar da içerdikleri katyonlara bağlıdır. Çoğu zeolite kristal yapı Si-O-Al atomlarının meydana getirdiği halkalarla bağlanmış gözeneklerden oluşur. Bu halkaların oluşturduğu geçit pencere olarak adlandırılır. Pencereleler 4 ile 12 arasında oksijen iyonu (ve eşit sayıda alüminyum ya da silisyum iyonu) içerir.

Endüstriyel önemi olan zeolitlerde pencereleler 8,10 yada 12 elemanlı halkalardan meydana gelir. Bu pencerelelerin boyutları sırasıyla 5, 6, 7 Angstrom dolayındadır. Dört ya da altı halkalı pencerelelerden oluşan yapılar adsorplama bakımından pek önem taşımazlar. Çünkü altı elemanlı bir pencerenin boyutu yaklaşık 2.5 Å<sup>o</sup> kadardır ve ancak çok küçük moleküller (örneğin su) bu pencerelelerden geçebilir.

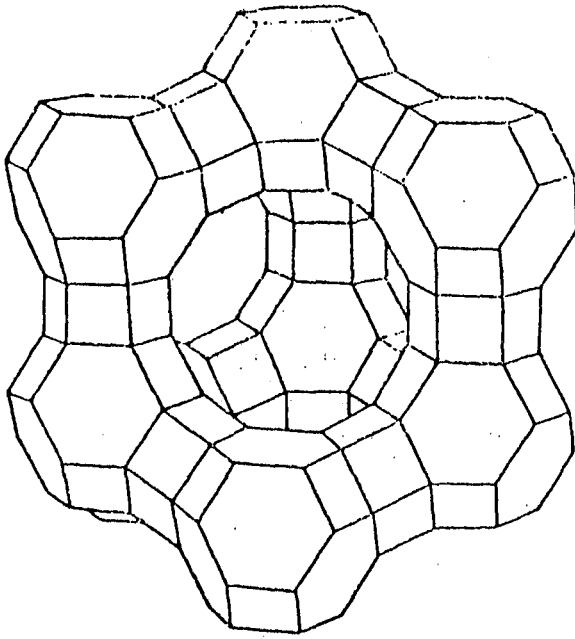
### 2.3. Önemli Zeolit Türleri ve Özellikleri

Son yirmibeş yıl içinde 150 tür zeolit laboratuvarında sentez edilmiş ve 7 tür zeolit mineralinin doğada büyük miktarlarda ve oldukça saf rezervler olarak bulunduğu anlaşılmıştır. Ancak bu zeolit türlerinden şimdilik 12-14 taneşinin endüstriyel önemi vardır. Bu zeolit türleri ve bazı özellikleri tablo 1 de verilmiştir.





ZEOLİT A



ZEOLİT X

ŞEKİL : 1

Tablo: 1- Bazı zeolit türleri ve özellikleri

<u>Zeolit Türleri</u>	<u>Gözenek Boyutları ,A°</u>	<u>SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Mol Oranı</u>
Doğal Zeolitler		
Mordenit	(6.7-7.0)	3.2-10
Çabazit	(3.6-3.7)	3.2-6
Erionit	(3.6-5.2)	5.8-7.4
Klinoptilolit	(4.4-7.2)(4.1-4.7)	3.5-10.5
Yapay Zeolitler		
KA } Kristal	3	2.0
NaA } yapıları	4	2.0
CaA } aynıdır.	5	2.0
X } Kristal	7.4	2.0-3.0
Y } yapıları	7.4	3.0-6.0
		aynıdır.

#### 2.4. Radyoaktif Atıkların Aktiviteden Kurtarılması

Hızla genişleyen araştırmalar ve nükleer enerji kullanan ulusların her geçen sene artması, radyoaktif atıkların aktiviteden kurtarılma ve kontrol problemlerini daha önemli bir düzeye getirmiştir.

Her türden atığın çok az bir oranda bile olsa doğal olarak radyoaktif olduğu gözönüne alındığında, "radyoaktif atık" teriminden ne anlaşılması gerektiği konusuna açıklık getirmek önemlidir. Radyoaktif bir atık, radyoaktif maddelerin üretimi veya kullanılması esnasında açığa çıkan katı, sıvı veya gaz atık olarak tanımlanabilir. Genel olarak, radyoaktif bir atığın tanımlanmasında üç ayrı etken temel olarak alınabilir. Atığın radyoaktivite içeriği, potansiyel tehlikesi ve atığın kaynağı ya da orijini

Herhangi bir yöntemle atığın atılmasında, hiç kimse 10 milirem/hafta değerinden daha fazla bir doz almadıkça işlem emniyette yapılmış demektir. Bununla beraber daha az tehlikeli nüklitler söz konusu olduğunda bu limitler genişletilebilir.

Atıkların aktivite temeline göre sınıflandırılmalarında düşük seviyeli atıklar için üst aktivite sınırı, kurumlara göre değişir. Bu değer şu üç faktöre bağlıdır.(5 )

- a) Mevcut radyoizotopların türü,
- b) İşlem olanakları ve bu işlemlerde elde edilen temizleme faktörleri,
- c) Arıtılmış çözeltilinin çevreye atığı.

Genel olarak bir fikir vermek gerekirse düşük,orta ve yüksek seviyeli atıklar için şu sınırlar gösterilebilir.

Atık Tipi	Katı Atıklar (r/saat)	Sıvı Atıklar ( $\mu$ Ci/ml)
Yüksek seviyeli	$>2$	$>10^3$
Orta Seviyeli	0.05-2	$10^{-3}-10^3$
Düşük seviyeli	$<0.05$	$<10^{-3}$

Radyoaktif atıkların kaynakları şu şekilde özetlenebilir.

- 1- Uranyum üretimi,
- 2- Uranyum zenginleştirilmesi,
- 3- Reaktör işletilmesi,
  - a) Plutonyum ve güç üretimi
  - b) Açık devre, hava soğutmalı reaktörler,
  - c) Kapalı devre, gaz soğutmalı reaktörler,
  - d) Araştırma reaktörleri,
  - e) Açık devre, sıvı soğutmalı reaktörler,
  - f) Kapalı devre, sıvı soğutmalı reaktörler,
- 4- Yakıt elementi işlemleri,
- 5- Toryum endüstrisi,
- 6- Radyum endüstrisi,

- 7- Yapay radyonüklitlerin
- 8- Araştırma kurumları,
- 9- Hastaneler
- 10- Endüstri,

- a) Açık kaynaklar,
- b) Kapalı kaynaklar,

Radyoaktivitenin özelliğinden dolayı, şüphesiz tamamen ortadan kaldırılması olanaksızdır. Ancak mevcut nüklitlerin katı ya da sıvı küçük bir hacimde konsantre edilerek büyük miktardaki sıvı atıklardan ayrılması sağlanabilir. Böylece atık emniyetle atılabilir.

Radyoaktif atıkların aktiviteden kurtarılmasında uygulanan yöntemler genel olarak buharlaştırma, iyon değişimi, biyolojik yöntemler ve kimyasal işlemdir.

Radyoaktif materyallerin uzaklaştırılmasında uygulanan yöntemlerin etkinlikleri şöyledir. ( 6 )

<u>Yöntem</u>	<u>% Uzaklaştırma</u>
Pıhtılaştırma, klorlama, süzme	70-80
Kil çamuru ile ön işlemden geçirme, Pıhtılaştırma, klorlama, süzme	80-90
İyon değişimi çamuru ile ön işlemden geçirme, pıhtılaştırma klor- lama, süzme	85-98
Pıhtılaştırma, süzme, iyon değişimi kolonundan geçirme, klorlama	99-99.9
Buharlaştırma, yoğunlaştırma	99-99.999

## 2.5. İyon Değişimi Yöntemi

Verimlilik ve hacim azaltması yönünden en etkili yöntemlerden biri iyon değişimidir. Bu yöntemin, özellikle nükleer kimyada geniş uygulama alanı bulmasının nedenlerinden biri işlemin ve gerekli ekipmanın basitliği ve

ayrıca yüksek aktiviteli hücrelerin uzaktan kumandalı kontrolüne elverişli olan esneklik özelliğidir. İyon değişim işleminin diğer bir avantajı ise toprak alkaliler gibi yakın olarak bağlantılı maddelerin ayrılmasına olanak sağlayan basit, çok basamaklı düzene sahip oluşudur. Bu yöntemin dezavantajlarından biri, belli sistemlerde işlemin oldukça yavaş yürümesi ve elusyon için büyük hacim miktarlarının gerekli oluşudur. Yöntemin getirdiği sınırlamalardan biri de bu işlemin kolloidal tipteki partiküller ve birçok komplekslerde olduğu gibi yüksüz bileşikler için uygun olmayışıdır. Değişim işleminin tersinmez oluşundan doğan bir çok güçlüklerde söz konusudur. Diğer taraftan saf ürünlerin imalatında, sistem yatağın kısmen tahribatı sonucu kirlenmesi veya çözünmez safsızlıkların iyon değişim prosesini etkilediği ve iyon değiştirici materyalin çok ince gözeneklerini doldurduğu görülür. Bu son probleme suyun radyolizi neticesi oluşan gaz kabarcıklarında ekleyebiliriz. İyon değişim işleminin olabileceği pH aralığı diğer kısıtlayıcı bir faktördür. (7)

Katı bir partikül ve sıvı temasında sınır yüzeyinde ekivalent miktarda iyonların değişimi olarak tanımlanan iyon değişimi çalışmaları, deniz suyu ve kirlenmiş suların arıtılmasında kum filtrelerini kullanan Aristo ile başlar. 19. yy. da Thompson, Sir Humphrey Davy ve Liebig'in doğal değişim olayını keşfetmelerine rağmen birçok otoriteler esas değişim mekanizmasının Thompson tarafından ortaya çıkarıldığı konusunda aynı fikirdediler.

İyon değişimi prosesinin, radyoaktif atıkların aktiviteden kurtarılması ile ilgili olarak ilk uygulamalarından biri 1951'de Ayers tarafından yapılmıştır. Bunu, Rodger ve Fineman'ın Argonne Ulusal Laboratuvarında düşük seviyeli atıkların arıtılmasını amaçlayan çalışmaları izlemiştir. Bu çalışmada kuvvetli asit ve kuvvetli baz

sentetik organik reçineleri, sabit yataklı kolonlarda kullanılmıştır. 1958 Cenevre "Atom Enerjisinin Barış için Kullanılması Konulu İkinci Birleşmiş Milletler Ulusal Konferansında", Yamamoto (4), düşük seviyeli atıkların önce kimyasal bir işlemde, daha sonra kuvvetli asit kuvvetli baz tipi sentetik organik reçinelerle yüklü kolonlardan geçirildiklerini belirtmiştir. Aynı Konferansta, Dejonghe (4) linyitin iyon değişim özelliğinin yanı sıra aktivite ile doygun hale geldikten sonra kolayca yakılıp kül haline getirilmesi avantajını belirtmiştir.

Radyoaktif atıkların temizlenmesi ile ilgili olarak yukarıda özetlenen ilk çalışmaları takiben çok sayıda araştırmalar ve uygulamalar süregelmiştir. Bugün, radyoaktif atık işlemlerinde iyon değişim uygulamalarındaki yaklaşımlar, sentetik inorganik değiştiricilerin geliştirilmesi ve elektrodializ yönteminin uygulanması şeklindedir.

## 2.6. Zeolitlerin İyon Değiştirici Olarak Özellikleri ve Uygulamaları

Zeolitlerin önemli özelliğinden seçici olarak katyon değiştirebilmeleridir. Zeolitlerin endüstride ve evlerde kullanılan suların sertliğini gidermek amacıyla kullanılması için 1950' lerde yapılan çalışmalar, bu alanda aynı amaçla geliştirilen organik iyon değiştirici reçinelerin özellikle rejenerasyonda daha üstün olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ancak son yıllarda çevre kirlenmesinin önlenmesine yönelik çalışmalar sonucu zeolitlerin iyon değiştirme özelliklerine dayalı uygulamalar geliştirilmiştir. Zeolitlerin iyon değiştirici olarak kullanılmakta olduğu uygulamalarla gelişmekte olan kullanım alanları tablo 2' de gösterilmiştir.



Tablo: 2- Zeolitlerin iyon değiştirici olarak kullanılmakta olduğu uygulamalarla gelişmekte olan kullanım alanları

<u>Uygulamalar</u>	<u>Kullanılan Zeolit</u>	<u>Zeolit Malzemenin Üstünlükleri</u>
<b>şimdiki Uygulamalar</b>		
1-Deterjan katkı maddesi	Zeolit A Zeolit X	Ca <sup>++</sup> ve Mg <sup>++</sup> iyonlarının seçici olarak tutulması, çevre kirlenmesine neden olmama.
2-Cs <sup>+</sup> ve Sr <sup>++</sup> radyo izotoplarının radyo aktif atıklardan ayrılması	Klinoptilolit Mordenit Linde AW-500	Radyasyona karşı dayanıklılık, az çözünürlük yüksek seçicilik, yapısal dayanıklılık
3-Atık sularda NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> tutulması	Klinoptilolit Linde F Linde W	Diğer iyonlara oranla NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> iyonlarına karşı üstün seçicilik
<b>Potansiyel Uygulamalar</b>		
1-Radyoaktif maddelerin depolanması	Klinoptilolit Linde AW-500	Cs <sup>+</sup> ve Sr <sup>++</sup> iyonlarının ayrılmasında olduğu gibi
2-Su kültürlerinde	Klinoptilolit Linde AW-500	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> iyonu seçiciliği
3-Suni böbrek çözeltilerinin rejenerasyonu	Klinoptilolit ve diğerleri	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> iyonu seçiciliği
4-Hayvan yemi katkı	Klinoptilolit ve diğerleri	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> iyonları seçici olarak tutarak hazmı kolaylaştırması
5-Gübre katkı maddesi	Klinoptilolit ve diğerleri	Katyonların NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ve K <sup>+</sup> gibi bitki besleyicileri ile değişti-



		rilerek toprağa yavaş biçimde ve- rilmesi
6-Metallerin ayrılıp geri kazanılması	Klinoptilolit ve diğerleri	Bazı metallere karşı seçicilik

Zeolitlerin iyon değiştiricisi olarak en önemli uygulama alanı deterjanlarda fosfatlar yerine kullanılmasıdır. Çevre kirlenmesi nedeniyle deterjanlarda fosfat kullanımı bazı ülkelerde kısıtlanmaktadır. Araştırma sonuçlarına göre zeolitlerin fosfatlar yerine ekonomik olarak kullanılabilceği ortaya çıkmıştır. Bu uygulamada zeolitlerin rejenere edilerek yeniden kullanılması gerekmekte ve bu nedenle zeolitlerin iyon rejenerasyonunda karşılaşılan güçlükler deterjan uygulanmasında söz konusu olmamaktadır. Bu uygulamada yapay zeolitler A ve X üstün özellikli zeolitlerdir. Doğal zeolitlerinse gerek iyon değiştirme kapasitelerinin düşük olması ve gerekse düzgün olmayan morfolojilerinin yarattığı sorunlar nedeni ile bu alanda uygulanabilmeleri güç olmaktadır.

Zeolitlerin iyon değiştirme uygulamalarının geliştirilmesinde doğal zeolitlerin önemli yeri olmuştur. Nükleer endüstride sezyum ve stronsiyum radyoizotoplarının ayrılıp geri kazanılmasında doğal zeolitlerden çabazit, mordenit ve klinoptilolitlerin kullanılması bu konuda ilk uygulamalardır. Bu zeolitlerin üstün seçicilik ve kararlılık özellikleri zeolitlerin diğer iyon değiştirme uygulamalarının gelişmesinde önayak olmuştur. Klinoptilolit in amonyum iyonlarına karşı gösterdiği üstün seçicilik bu zeolitin atık suların arıtılmasında kullanılabileceğini göstermiştir. Yapay zeolitlerden Linde F ve Linde W bu araştırmalar sonucu sentez edilip geliştirilmişlerdir. Yapay ve doğal zeolitlerin amonyum iyonlarının atık sulardan arıtılması uygulama-

sındaki üstünlüğü, bu zeolitlerin katyon seçiciliğinin çok yüksek olmasından dolayıdır. Oysa aynı amaçla kullanılması düşünülen organik iyon değiştirici reçinelerin katyon değiştirmede seçicilikleri çok fazla değildir.

Alüminyum iyonu ( $Al^{+3}$ ),  $Si^{+4}$  iyonundan çok az büyüktür ve birçok silikat yapısında  $Si^{+4}$  ile izomorf olarak yer değiştirir. Bu değişim, zeolitlerin iyon değişim özelliğinin açıklanmasında önemli bir etkidir. Bu izomorf yer değişiminden dolayı yapıda oluşan negatif yükü dengelemek üzere  $Na^+$  veya  $Ca^{+2}$  gibi katyonlar gereklidir. İyonların değişimi için difüzyonlarında uygun boyutlarda kanallara ihtiyaç vardır. Zeolitlerde gözenek büyüklükleri çok düzenli olup, hareketli iyonların değişiminde "elek" özelliğini sağlayacak şekilde yeterince küçüktürler. ( 8 )Gözenek genişlikleri 3-9 Å olup, diğer değiştiricilere nazaran daha rijit olduklarından sulu ortamda çok az şişerler. Değişim yapan iyonlar, örgü içinde belli pozisyonlarda sabit kalmayıp, kanallarda ve boşluklarda hareket halindedirler. Zeolitler, iyonik elek özelliklerinin yanı sıra yarı geçirgen bir zar gibi davranışlarından ötürü belli iyon çiftlerinin ayrılmasında başarılı olarak kullanılırlar. Zeolit mineralleri aside karşı çok dayanıklı değildirler. ( 9 ) Bu özellikleri pH=5'in altındaki asidik çözeltilerde kullanılmalarını önler. Aside karşı direnç, yapıdaki Si/Al oranının artması ile artar.

Genel olarak, iyon değiştirme kapasitesi  $SiO_2/Al_2O_3$  oranı azaldıkça artar. Ayrıca  $SiO_2/Al_2O_3$  oranı arttıkça sezyum için selektivite artarken, stronsiyum için azalır. Yapıdaki yük dengesi yönünden esas olarak katyon değiştirici olan zeolitler, anyon değiştirici olarak ta kullanılırlar.

Aktif çözeltilerin aktiviteden kurtarılması işlemlerinde kullanılan zeolitler, genellikle rejenere edilmezler. Rejenerasyon ve rejenere edilmiş tutucu ile ilgili

işlemler yapılmadan doygun hale gelen zeolit doğrudan depolanır. Zeolitler yüksek iyonik selektivite, radyasyon ve ısı kararlılıkları, fiziksel şekillerinin uygunluğu, iyi kataliz özelliklere sahip olmaları nedeni ile en popüler minerallerdir. Bunun yanı sıra radyonüklitlerin ulaşımında emniyetle nakillerinde, sezyum, stronsiyum gibi radyonüklitlerin depolanmasında ve düşük aktiviteli atıkların toprağa gömülmesi gibi çeşitli uygulama alanlarında vardır.

## 2.7. İyon Değiştirici Olarak Doğal Oluşumlu İnorganik ve Organik Materyallerin Kullanılması

Tüm iyon değiştirici materyaller, büyük bir elektriksel yük ve elektronötraliteyi temin eden zıt işaretli hareketli iyonlardan oluşan bir kafes yapısına sahiptirler. Değiştiricinin ticari bir değeri olması için şu özelliklerde göstermesi beklenir.

a) Birim ağırlık veya birim hacim başına büyük bir yapı elektriksel yükü,

b) Yapıdaki fazlalık yük, çözeltideki iyonlara uygun olmalıdır.

c) Değiştirici gözenekleri  $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $OH^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO^-$  gibi bilinen iyonların sulu formlarında girişleri için uygun büyüklükte olmalıdır.

d) Değiştirici, şartlar geniş ölçüde değiştiğinde fiziksel ve kimyasal olarak dayanıklılık göstermelidir.

e) Değiştirici faydalı bir formda kullanışlı olmalıdır. Partikül tipindeki materyallerde optimum tane iriliği aralığı 0.3-1.20 mm olarak bulunmuştur.

Mevcut değiştiricilerle yapılan çalışmalarla, radyoaktif atık sıvıların iyon değişimi yöntemi ile aktiviteden kurtarılmasında şu özellikleri göstermeleri beklenir.

a) Aktiviteden kurtarılacak atıklarda süspansiyon halindeki katı değişiminin çok düşük, 4ppm den daha az ol-

ması gerekir. Çünkü, bu materyal değiştirici yüzeyini kaplayarak, radyonüklitlerin değişimine engel olur. Bu nedenle atık çözelti bir ön işlemdengeçmelidir. Ancak zeolit ve killerde olduğu gibi düşük maliyetli ve bir defaya mahsus kullanılıp atılan iyon değiştiricilerinin kullanıldığı durumlar istisna teşkil eder.

b) Genel olarak, atık çözeltileri 2500 mg/l den daha az katı içerirler. Çözülmüş durumdaki katı parçacıklarının çoğu iyonize olarak değişim yapan radyonüklitlerle rekabete girerler. Dolayısıyla materyalin kullanılmaz hale gelmezden önceki işlem ya da çevrim sayısı, doğrudan artan çözölmüş katı derişiminden ters şekilde etkilenir. Özellikle değişimden daha baskın olarak adsorpsiyonun hakim olduğu "moleküler elekler" gibi materyaller kullanıldığında kapasitenin çoğu çözünenler için harcandığından, bunların ekonomik olarak diğer yöntemlerle uzaklaştırılması gerekir.

İyonik olmayan çözülmüş katıların, sentetik organik değiştirici materyallerle az da olsa bir etkisi söz konusudur. Aktif olmayan iyonların uzaklaştırılmasında genellikle maliyet faktörü dikkate alınarak zeolit ve kil gibi doğal oluşumlu inorganik materyaller kullanılır.

## 2.8. Materyalin İşlem İçin Hazırlanması

Materyali kırma, öğütme ve eleme işlemlerinden sonra bu işlemler esnasında aldıkları tozlardan kurtarmak için su ile yıkamak gerekir. Eğer materyal miktarı çok fazla ise çok ince taneli partikülleri (tozları) uzaklaştırmak için hidrosiklonlar kullanılır. Kolon çalışmalarında kullanılacak zeolitler, gözeneklerdeki havayı çıkartmak için suda bekletilirler. Tane iriliği 1.19 cm'den daha küçük olduğundan bu işlem için bir kaç gün suda bekletmek yeterlidir.

## 2.9. İşlem Yöntemleri

Atık çözelti ve tutucu materyal teması, iki temel yöntemle sağlanır. Bunlar:

- 1- Kesikli İşlem,
- 2- Kolon işlemidir.

Bunlardan kesikli işlem, belli bir miktar atık çözeltisi ile yine belirli miktardaki tutucu materyalin uygun bir kap içersinde iyice karıştırılarak dengeye erişinceye kadar temasta bırakılması esasına dayanır. Daha sonra çözelti süzülür. Değişim miktarı reçinenin denge şartlarındaki selektivitesi ile sınırlıdır.

Kolon işlemi sisteminin birçok çeşitleri vardır. Bunlar:

- 1- Tek kolon sabit yatak
  - a) Sadece katyon değişimi,
  - b) Sadece anyon değişimi,
  - c) Tek veya sabit yatak,
- 2- Seri halde kolonlar, sabit yatak
  - a) Seri halde katyon değiştirici kolonlar,
  - b) Seri halde anyon değiştirici kolonlar,
  - c) Seri halde sabit yataklı kolonlar,
- 3- İkili kolonlar, sabit yatak,
  - a) Anyon değiştirici kolonu takiben katyon değiştirici kolon,
  - b) Seri halde (a) kolonları,
- 4- Hareketli yatak, sürekli ters akımlı değiştirici veya vurgulu yatak sistemi
  - a) Katyon değiştirici kolonlar,
  - b) Anyon değiştirici kolonlar,
- 5- Değiştirici ile kaplı santrifüj
  - a) Katyon değiştirici,
  - b) Anyon değiştirici,

Kolon işlemi esasında seri halde çok sayıda kesikli işlemlerdir. Kesikli işleme nazaran selektiviteye daha az bağımlıdır.

## 2.10. Zeolitlerin Radyoaktif Atık Çözeltilerine Uygulanması

Radyoaktif atık çözeltilerinde bulunan fisyon ürünleri içinde yarı ömürleri ve biyolojik yarı ömürleri dikkate alındığında en önemli izotoplar  $^{133}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  dir.

a)  $^{137}\text{Cs}$  :  $^{235}\text{U}$ 'in fisyonunda onüç tane sezyum izotopu oluşur. Bunlardan çoğu kısa yarı ömürlü izotoplardır.  $^{133}\text{Cs}$ ,  $^{135}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  ise bu duruma istisna teşkil ederler. Bu izotopların özellikleri şöyledir.

İzotop	Yarı Ömür (sene)	Enerji	
		$\beta$ (Mev)	$\gamma$ (Mev)
$^{133}\text{Cs}$	Kararlı	-	-
$^{135}\text{Cs}$	$2.0 \times 10^6$	0.2	-
$^{137}\text{Cs}$	30	0.51 1.18	0.662
$^{134}\text{Cs}$	2.07	0.657	1.168 1.367

Kararlı  $^{133}\text{Cs}$  izotopu ( $n, \gamma$ ) tepkimesi ile uzun yarı ömürlü ve kuvvetli gamma radyasyonu yayan  $^{134}\text{Cs}$  izotopuna dönüşür. Bu izotop,  $^{137}\text{Cs}$  ayırmalarında istenmeyen bir saf-sızlıktır.

Sezyumun atık çözeltilerden izolasyonunda uygulanan yöntemlerden ilki sezyumun, alüminyum sülfat ile birlikte kristalizasyonudur.

ABD Idaha Falls' da klinoptilolit yüklü kolonlarla pH=1.0-10.0 aralığında Cs için dağılma katsayısı değeri 1000 civarındadır. İyon değiştirici ortam olarak klinoptilolit kullanılması çok yaygındır. Ancak son zamanlarda bu materyal yerine daha çok mordenitler kullanılmaktadır.

b)  $^{90}\text{Sr}$  : Saf bir beta yayıcısı olan  $^{90}\text{Sr}$  nükleer yakıt atıklarında çok bulunan önemli bir izotoptur. Fisyon neticesinde radyoaktif  $^{90}\text{Sr}$  ve  $^{89}\text{Sr}$  'un yanı sıra kararlı  $^{86}\text{Sr}$  ve  $^{88}\text{Sr}$  izotoplarında oluşur

İzotop	Yarı ömür	Enerji	
		$\beta$ (Max Mev)	$\gamma$ (Mev)
$^{89}\text{Sr}$	50.5 gün	1.463	91
$^{90}\text{Sr}$	28.5 sene	0.546	0
$^{90}\text{Y}$	64.0 saat	2.28	0

Atık çözeltilerinden stronsiyumun izolasyonu, doğal veya sentetik zeolitlerle iyon değişimi, çöktürme veya birlikte çökme yöntemleri kullanılmaktadır.

## 111- DENEYSSEL TEKNİK

### 3.1. Atık Çözelti

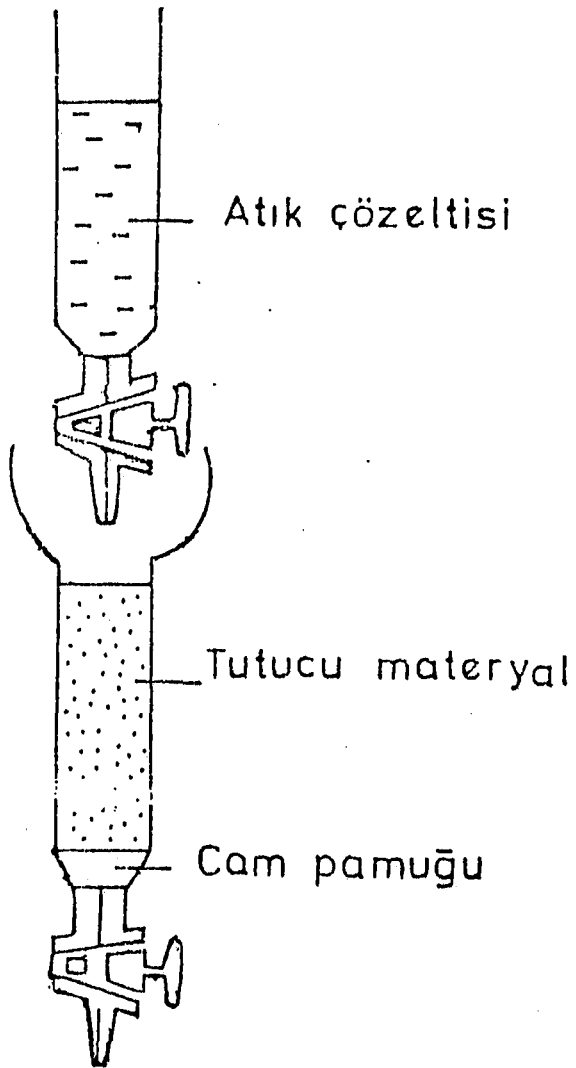
Bu çalışmada atık çözelti olarak potasyumklörür (KCl) kullanılmıştır. Potasyum insan vücudunda, yiyeceklerde, deniz suyunda, toprakta çok geniş miktarda bulunan kimyasal bir elementtir. Doğal potasyum % 0.0118 radyoaktif bir izotop ihtiva eder.<sup>40</sup>K β ve γ ışınları yayar.

### 3.2. Çalışma Yolu

Tüm deneylerde, zeolitin KCl' da potasyumu tutma yetenekleri sabit yatak ve tek kolon sistemi ile araştırılmıştır. Kullanılan kolonlar 1.11 cm dış çaplı olup, Pyrex camından yapılmıştır. Paketlenmiş kolonlarda belli bir akış hızını temin etmek için, atık çözeltisi dolgulu kolonun üzerinde aynı özellikte akış hızı ayarlanabilir. İkinci bir kolondan besleme akımı olarak esas kolona verilmiştir. Sistem şekil 2'de görülmektedir.

Tutucu ortam olarak kullanılan zeolit kırma ve öğütme işleminden sonra Tyler standartlı eleklerden geçirilerek istenen tane boyutuna getirilmiştir. Materyallerin, bu işlemler sırasında aldıkları toz ve kirlerden kurtarmak için bol damıtık su ile yıkama yapılmıştır. Kolonlara paketleme sırasında materyal su içinde bulundurulurken gözeneklerdeki havanın çıkması sağlanmıştır. Materyaller, kolonların dip kısmına cam pamuğu yerleştirildikten sonra kolona doldurulmuştur. Araştırma Laboratuvar çapındaki atıkların temizlenmesini hedef aldığı için başlangıçta tüm atık çözeltisi 50 ml olarak hazırlanmıştır. Ayrıca tüm atık çözeltisi kolondan geçtikten sonra besleyici kolon çeperi 10 ml su ile yıkanmıştır.





ŞEKİL 2 İyon değiştirici kolonu

Materyalleri tutma kapasiteleri atomik adsorpsiyon 180-70 modeli ile yapılmıştır. Cihazın iki türlü çalışma prensibi vardır.

- 1- Alevli mod ile çalışma
- 2- Grafit fırın çalışma

Bu çalışmada flame kullanılmıştır. Yakıt olarak asetilen ( $C_2H_2$ ) gazı, oksidant olarak hava kullanıldı. Gaz basıncı  $0.30 \text{ kg/cm}^2$ , hava basıncı ise  $1.60 \text{ kg/cm}^2$  cihaza 10-20-30 ppm lik standartlar verildi. Mode olarak referans mode kullanıldı.(yüksek konsantrasyonlar için kullanılır.) Double-Beam ışınlama yapıldı. Potasyum için gerekli olan lamba kullanıldı. Lamba akımı 10.0 mA dir. Kullanılan dalga boyu 766.5 nm

### 3.3. Zeolit KCl Sistemi

Dolgu maddesi: Zeolit

Atık çözeltisi : 50 ml KCl içeren çözelti

Taşıyıcı derişimi: 0.01 M

Mesh : -18 + 30

Dolgu miktarı: 5 gr

Taşıyıcı derişimi C (M)	Kolondan geçmezden önceki K miktarı m (gr)	Kolondan geçtikten sonraki K miktarı	Potasyum uzaklaştırma yüzdesi (%)
0.01	0.391	0.0594	85

Atık çözelti kolondan 5 kez geçirilerek deney yapılmıştır.

Dolgu maddesi: Zeolit

Atık çözeltisi: 50 ml KCl içeren çözelti

Taşıyıcı derişimi : 0.01 M

Mesh : -18 +30

Dolgu miktarı: 5 gr

Taşıyıcı Derişimi C (M)	Akış Hızı v (ml/s)	Kolondan geçmezden önceki K miktarı m (gr)	Kolondan geçtikten sonraki K miktarı m (gr)	Potasyum uzaklaştırma yüzdesi %
0.01	0.30	0.391	0.0904	77
0.01	0.26	0.391	0.0890	77

Dolgu maddesi: Zeolit

Atık çözeltisi: 50 ml KCl içeren çözelti

Taşıyıcı derişimi : 0.01 M

Mesh : #18

Dolgu miktarı: 5 gr

Taşıyıcı Derişimi C (M)	Kolondan geçmezden önceki K miktarı m (gr)	Kolondan geçtikten sonraki miktarı m (gr)	Potasyum uzaklaştırma yüzdesi %
0.01	0.391	0.03156	92

Atık çözelti kolondan 5 kez geçirilmiştir.

Dolgu maddesi: Zeolit

Atık çözeltisi: 50 ml KCl içeren çözelti

Taşıyıcı derişimi: 0.01 M

Mesh : + 18

Dolgu miktarı: 5 gr

Taşıyıcı Derişimi C (M)	Akış Hızı v (ml/s)	Kolondan geçmezden önceki K miktarı m (gr)	Kolondan geçtikten sonraki K miktarı m (gr)	Potasyum uzaklaştırma yüzdesi %
0.01	0.118	0.391	0.1192	69
0.01	0.145	0.391	0.1198	70

Dolgu maddesi: Zeolit

Atık çözeltisi: 50 ml KCl içeren çözelti

Taşıyıcı derişimi: 0.01 M

Mesh : -30 +70

Dolgu miktarı: 5 gr

Taşıyıcı Derişimi C (M)	Kolondan geçmezden önceki K miktarı m (gr)	Kolondan geçtikten sonraki miktarı m (gr)	Potasyum uzaklaştırma yüzdesi %
0.01	0.391	0.016	96

Dolgu maddesi : Zeolit

Atık çözeltisi : 50 ml KCl içeren çözelti

Taşıyıcı derişimi : 0.01 M

Mesh : -30 + 70

Dolgu miktarı: 5 gr

Taşıyıcı Derişimi C (M)	Akış Hızı v (ml/s)	Kolondan geçmezden önceki K miktarı m (gr)	Kolondan geçtikten sonraki K miktarı m (gr)	Potasyum uzaklaştırma yüzdesi %
0.01	0.105	0.391	0.0516	87
0.01	0.186	0.391	0.0536	86

Dolgu maddesi: Zeolit

Atık çözeltisi: 50 ml KCl içeren çözelti

Taşıyıcı derişimi: 0.01 M

Mesh : -100 +140

Dolgu miktarı : 5 gr

Taşıyıcı Derişimi C (M)	Kolondan geçmezden önceki K miktarı m (gr)	Kolondan geçtikten sonraki K miktarı m (gr)	Potasyum uzaklaştırma yüzdesi %
0.01	0.391	0.2292	41

Atık çözelti kolondan 1 kez geçirilmiştir.

Taşıyıcı Derişimi C (M)	Mesh	Kolondan geçmezden önceki K miktarı m (gr)	Kolondan geçtikten sonraki K miktarı m (gr)	Potasyum uzaklaştırma yüzdesi %
0.01	+18	0.391	0.3106	21
0.01	-18 +30	0.391	0.3346	14
0.01	-30 +70	0.391	0.311	20

Zeolit numuneleri seyreltilmiş HCl de muamele edilmistir.

Dolgu maddesi : Zeolit

Atık çözeltisi: 50 ml KCl içeren çözelti

Taşıyıcı derişimi: 0.01 M

Mesh : +10

Dolgu miktarı: 5 gr

Taşıyıcı Derişimi C (M)	Kolondan geçmezden önceki K miktarı m (gr)	Kolondan geçtikten sonraki miktarı m (gr)	Potasyum uzaklaştırma yüzdesi %
0.1	0.1955	0.0262	86
0.2	0.391	0.25	36
0.3	0.586	0.11	81

Akış hızı parametresine karşı potasyum uzaklaştırma yüzdesi akış hızı, azaldığında tutma oranı artmaktadır.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Radyoaktiviteyi tutucu ortam olarak zeolit doğal formunda kullanılmıştır. Bu çalışmada KCl içeren çözelti kullanılmıştır. Zeolitin potasyumu tutma yüzdesi incelenmiştir. Potasyumu tutma işlemi için iyon değiştirici ve tutucu ortam olarak doğal zeolit kullanılmıştır. Zeolitin farklı tane iriliğinde, farklı akış hızlarında ve farklı derişimlerde potasyum tutma miktarı incelenmiştir.

Akış hızı parametresine karşı elde edilen değerler akış hızı arttığında, potasyum tutma miktarı düşmektedir. Zeolit mineralleri aside karşı dayanıksız olduklarından asidik çözeltilerle muamele edilmemelidir. Böylece kapasiteleri arttırılmış olur.

Doğal zeolitlerin maliyetlerinin ucuz oluşu doğadaki bollukları, atığın küçük bir hacim içinde hapsedilip bertaraf edilme kolaylığı, bu materyaller için uygulama alanlarını genişletmektedir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- 1- Yücel, H ve Çulfaz, A 1984 O.D.T.Ü. Uygulamalı araştırmalar dergisi, Sayı:10
- 2- Miller, D. , Power 99 (1965) 73-77
- 3- International Atomic Energy Resins, 2nd Ed., John Wiley and Sons, Inc., New York (1958)
- 4- Ibid., Sayfa: 6-7
- 5- Bond, Richard, G; Straub, Conrad, P.; "Handbook of environmental control", Waste water: Treatment and Disposal, Volume 1V. (1972) 812.
- 6- Bond, Richard, G.; Straub Conrad, P.; "Handbook of environmental control" Waste Water: Treatment and Disposal Volume 1V. (1972) 821.
- 7- Kourim. V., Vojtsch, O., "Methods of fission product separation from liquid radioactive wastes", Atomic Energy Review, 12(2). (1974) 215-73.
- 8- International Atomic Energy Agency, "Operation and Control of Ion Exchange Processes for Treatment of Radioactive Wastes", Technical Reports Series, No. 78 IAEA, Vienna (1967) 20-22.
- 9- International Atomic Energy Agency, "Use of local minerals inthe treatment of Radioactive Waste", Technical Reports Series, No. 136, Vienna (1972) 14-17
- 10- Şenel, S. , Doğal İnorganik ve Organik Değişiricilerin Yardımlıyla Radyoaktif Atıkların Aktiviteden kurtarılması. Hacettepe Üniversitesi- Ankara (1979)