

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK AMAÇLI FİLTRELERDE AMONYAK VE
ASKIDA KATI MADDE GİDERİM ESASLARI**

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Deniz KOCAMAZ ALKAŞ

Anabilim Dalı: ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Programı: ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ARALIK 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK AMAÇLI FİLTRELERDE AMONYAK VE ASKIDA
KATI MADDE GİDERİM ESASLARI**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Deniz KOCAMAZ ALKAŞ
Enstitü No:501982401**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31 Aralık 2007

Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Mart 2008

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Bilsen Beler BAYKAL (İ.T.Ü)

İkinci Danışman: Prof.Dr.Cumali KINACI (İ.T.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Olcay Tünay (İ.T.Ü)

Prof .Dr. Beyza ÜSTÜN (Y.T.Ü)

Prof.Dr.Ömer AKGİRAY (MARMARA Ü.)

Prof.Dr.Hulusi BARLAS (İ.Ü)

Prof.Dr. Mustafa TURAN (İ.T.Ü)

ARALIK 2007

ÖNSÖZ

Her zaman bana inanan ve yol gösteren Sayın Hocam Prof.Dr. Bilsen Beler BAYKAL'a bir bilim insanı olarak tüm öğrettikleri ve erdemli insan olma konusundaki örnek varlığı için minnettarım.

Sayın Hocam Prof.Dr. Cumali Kınacı'ya her zaman gösterdiği anlayışlı yaklaşımı ve özellikle filtrasyonla ilgili çalışmalarında verdiği tüm destek için çok teşekkür ederim.

Lisans öğrencisiyken kapısının önünden her geçişimde daktilosunun sesini duyduğum, gördüğüm en çalışkan ve alçak gönüllü insan, Sayın Hocam Prof.Dr. Yılmaz Muslu, sizi hep takdir ve sevgiyle anacak ve binlerce öğrenciniz gibi hep kalbimde yaşatacağım.

Hiç meleğe benzemiyor. Görünüşte ciddi, kocaman bir adam. Ama en sıkıntılı zamanımda öylesine sakin, öylesine karşılıksız yardım elini uzatıp, o çalışması imkansız otomatik numune alıcıyı nasıl canlandırdı, ben hala açıklayamıyorum. Bence o bir melek ;Sayın Hasan Gökçeoğlu.

Aralık, 2007

Deniz KOCAMAZ ALKAŞ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. İYON DEĞİŞİMİ	5
2.1. Adsorbsiyon ve İyon Değişimi	5
2.2. İyon Değiştirici ve İyon İlişkisi	7
2.3. Su ve Atıksu Arıtımında İyon Değişimi	8
2.4. İyon Değişimi İzotermi	9
2.5. Kırılma Eğrisi	11
2.6. İyon Değişimi ile Amonyum Giderimi Konusunda Yapılan Çalışmalar	12
2.6.1. Amonyumun İyon Değişimine Etki Eden Faktörlerin İncelendiği Çalışmalar	12
2.6.2. Tek ve Çok Kademeli Sistemlerle Amonyum Giderimi Konusunda Yapılan Çalışmalar	16
2.6.3. Boyut Büyütme ve Rejenerasyon Koşullarının İncelendiği Çalışmalar	19
2.6.3.1 Kimyasal Rejenerasyon	20
2.6.3.2 Biyolojik Rejenerasyon	20
2.6.3.3 Kimyasal ve Biyolojik Rejenerasyon	20
2.6.3.4 Rejenerasyon Sonrası Azotun Geri Kazanımı	21
2.6.3.5 Rejenerasyonun Kapasite Üzerine Etkisi	21
3. FİLTASYON	22
3.1. Filtrasyon Prosesi	22
3.2. Atıksu Arıtımında Filtrasyon	23
3.3. Filtrasyon Esnasında Oluşan Reaksiyonlar	25
3.4. Filtrelerde Yük Kaybı	25
3.5. Filtrasyon Teorisi	27

3.5.1 Filtrasyonu Açıklayan Teorik Modeller	27
3.5.2 Filtre Verimini Etkileyen Faktörler	29
3.6. Filtrasyon Süresi ve Geri Yıkama	
3.7. Atıksu Arıtımında Filtrasyon Uygulamaları	39
4. ZEOLİTLER VE ÖZELLİKLERİ	44
4.1. Zeolitler , Yapıları ve Özellikleri	44
4.2.Dünyada ve Türkiye’de Zeolit Rezervleri	47
4.3.Klinoptilolitinin Yapısı ve Özellikleri	50
4.4 Bigadiç Klinoptiloliti	53
4.5.Doğal Zeolitlerin Kullanım Alanları	56
4.5.1 Gaz Adsorpsiyonu	59
4.5.2 Hububat Ambarlarında Nem ve Haşere Kontrolü	60
4.5.3 Çim Saha ve Alan Uygulamaları	61
4.5.4 Doğal Zeolitlerin Günlük Hayatta ve Ev İçi Uygulamaları	62
5. MATERYAL METOD	64
5.1. Numune Alma ve Ölçüm Yöntemleri	65
5.1.1. Numune Alma	65
5.1.2. Analiz Yöntemleri	65
5.2. Atıksu Temin Edilen Arıtma Tesisi Özellikleri	65
5.3. Atıksu Karakterizasyonu	66
5.4. Deney Düzeneği	69
5.5. İyon Değiştirici Malzeme Hazırlık Aşamaları	71
5.6.Filtrasyon Malzemesi Hazırlık Aşamaları	74
5.6.1. Kum Özgöl Ağırlığının Bulunması	75
5.6.2 Porozite Tayini	75
5.7.Deneysel Çalışma	76
5.7.1 Kesikli Deneyler	77
5.7.2 Sürekli Deneyler	78
5.7.2.1. Malzeme Özellikleri ve Tanecik Boyutunun Sistem Verimi Üzerindeki Etkilerinin İncelendiği Çalışma Aşaması (1. Aşama)	79
5.7.2.2. Hidrolik Bekletme Süresinin ve Kolon Çapı/ Tanecik Boyutu Oranının Sistem Verimine Etkilerinin İncelendiği Çalışma Aşaması	79

5.7.2.3. Hidrolik Bekletme Süresinin Sistem Verimine Etkilerinin İncelendiği Çalışma Aşaması (3. Aşama)	80
5.7.2.4. Klinoptilolit Miktarının ve Yerleşim Şeklinin Sistem Verimine Etkilerinin İncelendiği Çalışma Aşaması (4.Aşama)	81
5.7.2.5. Temas Süresi ve Filtrasyon Hızının Çok Amaçlı Filtre Sistemi İçinde Gerçekleşen Prosesler Üzerindeki Etkisinin İncelendiği Çalışma Aşaması	81
5.7.3 Farklı Temas Süresi ve Yüzey Yüklerinde Kum Kolon, Zeolit Kolon ve Çok Amaçlı Kolon Çalışma Koşullarının Geri Yıkama Yapılarak İncelenmesi	82
5.7.4.Farklı Temas Süresi ve Yüzey Yüklerinde Kum Kolon, Zeolit Kolon ve Çok Amaçlı Kolon Yük Kayıpları	83
5.7.5. Seçilen Çok Amaçlı Filtre Sistemi için Rejenerasyon ve Geri Yıkama ile Birlikte Amonyum ve AKM Giderimlerinin İncelenmesi	84
6. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER	85
6.1. Kesikli Deneyler	85
6.1.1. Denge ve Adsorbsiyon İzotermi	85
6.1.2 İzoterm Eğrilerinin Karşılaştırılması	86
6.1.3. İzoterm Modellerine Uygunluğun Araştırılması	89
6.2. Sürekli Deneyler	94
6.2.1. Malzeme Özellikleri ve Danecik Boyutunun Sistem Verimi Üzerindeki Etkilerinin İncelendiği Çalışma Aşaması (1. Aşama)	95
6.2.2. Hidrolik Bekletme Süresinin ve Kolon Çapı/ Tanecik Boyutu Oranının Sistem Verimine Etkilerinin İncelendiği Çalışma Aşaması (İkinci Aşama)	99
6.2.3. Hidrolik Bekletme Süresinin Sistem Verimine Etkilerinin İncelendiği Çalışma Aşaması (3. Aşama)	102
6.2.4. Klinoptilolit Miktarının ve Yerleşim Şeklinin Sistem Verimine Etkilerinin İncelendiği Çalışma Aşaması	105

6.2.5. Temas Süresi ve Filtrasyon Hızının Çok Amaçlı Filtre Sistemi İçinde Gerçekleşen Prosesler Üzerindeki Etkisinin İncelendiği Çalışma Aşaması	108
6.4. Farklı Temas Süresi ve Yüzey Yüklerinde Kum Kolon, Zeolit Kolon ve Çok Amaçlı Kolon Çalışma Koşullarının Geri Yıkama Yapılarak İncelenmesi	114
6.5.Farklı Temas Süresi ve Yüzey Yüklerinde Kum Kolon, Zeolit Kolon ve Çok Amaçlı Kolon Yük Kayıpları	128
6.6. Seçilen Çok Amaçlı Filtre Sistemi için Rejenerasyon+ Geri Yıkama ile Birlikte Amonyum ve AKM Giderimlerinin İncelenmesi	136
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	138
7.1 Sonuçlar	138
7.2 Öneriler	142
KAYNAKLAR	144
EKLER	151
ÖZGEÇMİŞ	169

KISALTMALAR

AKM	: Askıda katı madde
BOI₅	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı (5 günlük)
BV	: Bed Volume (Yatak hacmi)
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
EBCT	: Empty Bed Contact Time (Boş kolon bekletme süresi)
E.E.C	: European Economic Community (Avrupa Ekonomik Birliği)
EPA	: Environmental Protection Agency
İ.T.Ü.	: İstanbul Teknik Üniversitesi
İ.Ü	: İstanbul Üniversitesi
Y.T.Ü	: Yıldız Teknik Üniversitesi
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MTA	: Maden Tetkik Arama
NH₄-N	: Amonyum Azotu
TKN	: Toplam Kjehldal Azotu
XRD	: X Ray Difraktometresi

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1	Hızlı ve Yavaş Filtre Özellikleri 23
Tablo 3.2	Kum ve Antrasit için porozite ve küresellik faktörü Değerleri 30
Tablo 3.3	Ham Evsel Atıksu Özellikleri (Metcalf & Eddy ,2003) 40
Tablo 3.4	Aktif Çamur+ filtrasyon sistemiyle elde edilen çıkış konsantrasyonları 41
Tablo 3.5	Atıksu Filtrasyonu Konusunda Yapılan Çalışmalar 42
Tablo 4.1	Endüstriyel kullanımı olan zeolitler ve özellikleri 45
Tablo 4.2	Dünya zeolit oluşumları 48
Tablo 4.3	Türkiye de tespit edilmiş zeolit yatakları ve türleri 49
Tablo 4.4	Doğal Zeolitlerin Günlük Hayatta ve Ev-İçi Kullanımları 63
Tablo 5.1	Atıksu Karakterizasyonu 66
Tablo 5.2	Numune Alma Tarihleri ve Ölçüm Sonuçları 67
Tablo 5.3:	Sektör: Evsel Nitelikli Atıksular (Sınıf 3: Kirlilik Yükü Ham BOİ Olarak 600-6000 Kg/Gün'den Büyük, Nüfus=10000-100000) 67
Tablo 5.4	Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ikincil arıtıma ilişkin deşarj limitleri(*Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Ek 4-Tablo 1) 68
Tablo 5.5	Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ikincil arıtıma ilişkin deşarj limitleri (*Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Ek 4-Tablo 1) 69
Tablo 5.6	Birinci Aşama Çalışma Koşulları 79
Tablo 5.7	İkinci Aşama Çalışma Koşulları 80
Tablo 5.8	Üçüncü Aşama Çalışma Koşulları 80
Tablo 5.9	Dördüncü Aşama Çalışma Koşulları 81
Tablo 5.10	Beşinci Aşama Çalışma Koşulları 82
Tablo 5.11	Geri Yıkamalı Deneyler Çalışma Koşulları 82
Tablo 5.12	Yük Kaybı Ölçümleri Deney Koşulları 83
Tablo 6.1	Birinci Aşama Çalışma Koşulları 95

Tablo 6.2	Birinci Aşama Sonuç Tablosu	98
Tablo 6.3	İkinci Aşama Çalışma Koşulları	99
Tablo 6.4	İkinci Aşama Sonuç Tablosu	102
Tablo 6.5	Üçüncü Aşama Çalışma Koşulları	102
Tablo 6.6	Üçüncü Aşama Sonuç Tablosu	104
Tablo 6.7	Dördüncü Aşama Çalışma Koşulları	105
Tablo 6.8	Dördüncü Aşama Sonuç Tablosu	107
Tablo 6.9	Beşinci Aşama Çalışma Koşulları	108
Tablo 6.10	Farklı Koşullarda Çalıştırılan Zeolit Kolon, Kum Kolon ve Kum+Zeolit Kolon Amonyum ve AKM Giderimleri	113
Tablo 6.11	Farklı Parametrelerin Deney Sonuçlarına Etkileri	
Tablo 6.12	Geri Yıkamalı Deneyler Çalışma Koşulları	114
Tablo 6.13	Yük Kaybı Ölçümleri Deney Koşulları	128

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: Bir doğal zeolit partikülünün , çözelti içindeki katyon değişimi adımları.....	7
Şekil 4.1	: Klinoptilolit Mineralinin Şematik Görünümleri	51
Şekil 4.2	: Klinoptilolit mineralinin SEM Görüntüleri.....	52
Şekil 5.1	: Deney Düzeneği.....	70
Şekil 5.2	: Bu tez kapsamında kullanılacak olan Bigadiç klinoptilolitine ait XRD analizi	73
Şekil 6.1	: 0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı kullanılarak oluşturulan izoterm eğrilerinin karşılaştırılması	87
Şekil 6.2	: 1-2 mm aralığında klinoptilolit dane çapı kullanılarak oluşturulan izoterm eğrilerinin karşılaştırılması	87
Şekil 6.3	: 0,5-1 ve 1-2 mm aralığında klinoptilolit dane çapı kullanılarak oluşturulan tüm izoterm eğrilerinin karşılaştırılması	88
Şekil 6.4	: 0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve deiyonize su kullanılarak oluşturulan Langmuir izoterm Modeli	90
Şekil 6.5	: 0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve deiyonize su kullanılarak oluşturulan Freundlich izoterm Modeli.....	90
Şekil 6.6	: 0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve atıksu kullanılarak oluşturulan Langmuir izoterm Modeli.....	91
Şekil 6.7	: 0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve atıksu kullanılarak oluşturulan Freundlich izoterm Modeli	91
Şekil 6.8	: 1-2 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve deiyonize su kullanılarak oluşturulan Langmuir izoterm Modeli	92
Şekil 6.9	: 1-2 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve deiyonize su kullanılarak oluşturulan Freundlich izoterm Modeli.....	92

Şekil 6.10	: 1-2 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve atıksu kullanılarak oluşturulan Langmuir izoterm Modeli.....	93
Şekil 6.11	: 1-2 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve atıksu kullanılarak oluşturulan Freundlich izoterm Modeli	93
Şekil 6.12	: T=10 dak için Amonyum Giderim verimlerinin Karşılaştırılması	96
Şekil 6.13	: 0,5-1 mm Zeolit Kolon Amonyum Giderim Verimi.....	97
Şekil 6.14	: T=8 dak için Amonyum Giderim verimlerinin Karşılaştırılması	100
Şekil 6.15	: T=8 dak için AKM Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması.....	101
Şekil 6.16	T=30 dak için Amonyum Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması.....	103
Şekil 6.17	: T=30 dak için AKM Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması.....	104
Şekil 6.18	: T=30 dak için Amonyum Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması	106
Şekil 6.19	: T=30 dak için AKM Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması.....	106
Şekil 6.20	Hidrolik Bekletme Zamanı ve Filtre Hızının Kum Kolon Amonyum Giderimine Etkisi	109
Şekil 6.21	Hidrolik Bekletme Süresi ve Filtre Hızının Kum Kolon AKM Giderimine Etkisi	109
Şekil 6.22	Temas Süresi ve Filtre Hızının Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi.....	110
Şekil 6.23	Temas Süresi ve Filtre Hızının Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi.....	111
Şekil 6.24	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum Kolon Amonyum Giderimine Etkisi.....	116
Şekil 6.25	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum Kolon AKM Giderimine Etkisi.....	116
Şekil 6.26	Temas Süresi ve Filtre Hızının Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi.....	117
Şekil 6.27	Temas Süresi ve Filtre Hızının Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi.....	117
Şekil 6.28	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum+Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi	118
Şekil 6.29	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum+Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi....	118
Şekil 6.30	Temas Süresi ve Filtre Hızının Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi.....	119

Şekil 6.31	Temas Süresi ve Filtre Hızının Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi.....	119
Şekil 6.32	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum Kolon Amonyum Giderimine Etkisi.....	120
Şekil 6.33	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum Kolon AKM Giderimine Etkisi.....	120
Şekil 6.34	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum+Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi	121
Şekil 6.35	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum+Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi...	121
Şekil 6.36	Temas Süresi ve Filtre Hızının Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi....	122
Şekil 6.37	Temas Süresi ve Filtre Hızının Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi.....	122
Şekil 6.38	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum Kolon Amonyum Giderimine Etkisi.....	123
Şekil 6.39	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum Kolon AKM Giderimine Etkisi.....	123
Şekil 6.40	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum+Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi	124
Şekil 6.41	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum+Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi.....	124
Şekil 6.42	Temas Süresi ve Filtre Hızının Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi.....	125
Şekil 6.43	Temas Süresi ve Filtre Hızının Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi.....	125
Şekil 6.44	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum Kolon Amonyum Giderimine Etkisi.....	126
Şekil 6.45	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum Kolon AKM Giderimine Etkisi.....	126
Şekil 6.46	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum+Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi	127
Şekil 6.47	Temas Süresi ve Filtre Hızının Kum+Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi...	127
Şekil 6.48	Tc=10 dak için Zeolit Kolon Yük Kayıpları.....	129
Şekil 6.49	Th=10 dak için Kum Kolon Yük Kayıpları.....	130
Şekil 6.50	Th=10 dak, Tc =5 dak için Kum+Zeolit Kolon Yük Kayıpları.....	130
Şekil 6.51	Tc =20 dak için Zeolit Kolon Yük Kayıpları.....	131
Şekil 6.52	Th=20 dak için Kum Kolon Yük Kayıpları.....	132

Şekil 6.53	Th=20 dak, Tc =10 dak için Kum+Zeolit Kolon Yük Kayıpları.....	132
Şekil 6.54	Tc =25 dak için Zeolit Kolon Yük Kayıpları.....	133
Şekil 6.55	Th=25 dak. için Kum Kolon Yük Kayıpları.....	133
Şekil 6.56	Th=25 dak, Tc =12,5 dak için Kum+Zeolit Kolon Yük Kayıpları.....	134
Şekil 6.57	Tc =30 dak için Zeolit Kolon Yük Kayıpları.....	134
Şekil 6.58	Th=30 dak. için Kum Kolon Yük Kayıpları.....	135
Şekil 6.59	Th=30 dak, Tc =15 dak için Kum+Zeolit Kolon Yük Kayıpları.....	136
Şekil 6.60	Giriş NH ₄ -N =20 mg/l için Çok Amaçlı Kolon Amonyum Giderimi..... (Geri Yıkama ve Rejenerasyon öncesi ve sonrası)	137
Şekil 6.61	Giriş NH ₄ -N =20 mg/l için Çok Amaçlı Kolon AKM Giderimi (Geri Yıkama ve Rejenerasyon öncesi ve sonrası)	137

SEMBOL LİSTESİ

K_{BA}	: Seçicilik Katsayısı
q_e	: Birim ağırlıktaki adsorplayıcı maddenin adsorpladığı madde miktarı
C_e	: Çözeltideki denge konsantrasyonu
K_f	: Freundlich izoterm modeli sabiti
n	: Freundlich izoterm modeli sabiti
q_{max}	: Birim ağırlıktaki adsorplayıcı maddenin maksimum adsorpladığı madde miktarı
b	: Langmuir izoterm modeli sabiti
C_o	: Kolon giriş konsantrasyonu
C	: Kolon çıkış konsantrasyonu
C_e	: Çözeltideki denge konsantrasyonu
α	: Seçicilik faktörü
T_c	: Temas süresi
T_h	: Hidrolik bekletme süresi
V	: Hacim
Q	: Debi (ml/dk)
h_{yatak}	: Yatak yüksekliği
h_{kolon}	: Kolon yüksekliği
L	: Filtrasyon Hızı
$^{\circ}C$	: Santigrad derece
BV	: Kolon yatak hacmi
M	: Zeolit miktarı
D	: Kolon çapı
d	: Malzemenin dane boyu
L	:Filtrasyon hızı
Z	: Adsorbanın birim ağırlığı üzerinde adsorblanan kirletici mol sayısı
C_u	:Uniformluk katsayısı
H_0	:Filtre yatağının başlangıçtaki yük kaybı,m
H	: Filtre yatağının yük kaybı,m
ν	: Kinematik viskozite,m ² /sn

p_0	: Temiz filtre yatağının porozitesi
dh	: Filtre malzemesinin hidrolik çapı, m
ds	: Spesifik dane çapı
ϕ	: Şekil katsayısı
f_0	: Temiz filtre porozitesi
βy	: Malzeme yerleşme sabiti
σ_v	: Özgöl birikinti (hacimsel olarak)
S	: Özgöl yüzey
S_0	: Başlangıçtaki özgöl yüzey
Af	: Filtre yatağındaki tüm tanelerin yüzey alanı
Vf	: Filtrenin toplam hacmi
σ_v	: Volumetrik özgöl birikinti
σ	: Gravimetrik özgöl birikinti
λ_0	: Temiz filtre katsayısı
λ	: Filtre katsayısı
ψ	: Küresellik faktörü
g	: Yerçekimi ivmesi
ρ	: Sıvı özgöl kütlesi
R	: Reynolds sayısı
μ	: Dinamik viskozite

ÇOK AMAÇLI FİLTRELERDE AMONYAK VE ASKIDA KATI MADDE GİDERİM ESASLARI

ÖZET

Alıcı su ortamlarında gün geçtikçe artan kalite kaybı, bir çok dünya ülkesinde daha sıkı standartların uygulanmasına neden olmaktadır. Standartlarda kirletici konsantrasyonlarının düşürülmesi yönünde yapılan değişiklikler, varolan arıtma sistemlerine kimi zaman yeni ünitelerin eklenmesini gerektirmektedir. Bu durumda özellikle büyük şehirlerde alan imkanları genellikle kısıtlı olduğundan, bekletme süreleri, buna bağlı olarak reaktör hacimleri ve alan ihtiyacı minimum olacak şekilde dizayn yönünde tercih yapılması gerekmektedir. Son yıllarda özellikle hassas alanlara deşarj konusunda Avrupa Birliği tarafından kullanılan ve Türkiye’de yürürlükte olan “91/271/EEC” nolu “Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifi” ile daha sıkı standartlar getirilen parametrelerden ikisi amonyum ve Askıda Katı Madde (AKM) parametreleridir.

Amonyum, biyolojik arıtma sistemlerinde nitrifikasyon prosesi ile giderilebilmektedir, ancak bu yöntemle, giriş akımında amonyum pikleri gözlenen atıksularda, istenen çıkış kalitesi sağlanamamakta ve çıkış akımında da benzer pikler görülebilmektedir. Amonyum ve amonyum piklerinin giderilmesinde uygun bir yöntem, filtrasyon ünitesinden sonra iyon değiştirici kullanılmasıdır.

Klasik atıksu arıtma sistemlerinde genel olarak AKM, ikinci kademe arıtma sonunda büyük oranda giderilebilmektedir; ancak istenen AKM çıkış konsantrasyonuna ulaşılması her zaman mümkün olamamaktadır. Bu gibi durumlarda ikinci kademe arıtmayı takiben filtrasyon üniteleri teşkil edilerek AKM giderim veriminin artırılması gerekebilir.

Bu tez çalışmasının amacı, mevcut klasik atıksu arıtma sistemleri çıkış sularında önemli bir problem olan amonyum ve askıda katı madde parametrelerini, standartların altına düşürmek için “klinoptilolit+kum” malzemeli çok amaçlı filtrelerin kullanılabilirliğini araştırmaktır.

Bu amaç doğrultusunda çok amaçlı bir filtre sistemi ile, klasik sistemlerde karşılaşılan ve arıtma verimlerini etkileyen sorunların giderilmesinde, hem amonyum hem de askıda katı madde parametresi için ortak bir ikinci arıtma kademesinin (second stage) kullanımı önerilmektedir. İyon değiştirici ve filtre malzemesinin birlikte kullanıldığı çok amaçlı bir filtre sistemi oluşturularak, bu sistem üzerinde, askıda katı madde(AKM) ve amonyum parametrelerinin birlikte, en yüksek verimle giderilebileceği çalışma koşulları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Tez kapsamında ilk olarak, iyon değişimi ve filtrasyon proseslerinin esasları açıklanmış, iyon değişimi özellikleri nedeniyle zeolitler hakkında özet bilgi

aktarılmış, materyal-metod kısmında ise kesikli ve sürekli deneysel çalışma aşamaları anlatılarak deneysel yöntem ve ekipman hakkında bilgi verilmiştir.

Kesikli deneylerde izoterm çalışmaları ile tez kapsamında kullanılan klinoptilolit in amonyum giderim kapasitesi belirlenmiştir. 20 mg/lt amonyum içeren evsel atıksu kullanıldığında, 1-2 mm dane boyutunda klinoptilolit için pH 7,3’de bu tezde kullanılan Bigadiç klinoptilolitinin kapasitesi 9,3 mg/g olarak bulunmuştur.

Sürekli deneyler kapsamında deneyler, üç farklı düzenek üzerinde yürütülmüştür;

1-Sadece klinoptilolit kullanılan iyon değiştirici

2- Sadece kum kullanılan filtre

3- Kum ve klinoptilolit in birlikte kullanıldığı çok amaçlı filtre.

Birinci sistem ile sadece amonyum, ikinci sistem ile sadece askıda katı madde giderimi sağlanırken , üçüncü sistem ile amonyum ve askıda katı maddenin birlikte bir çok amaçlı filtre sistemi içinde giderilme süreci incelenmiş ve en uygun işletme koşulları belirlenmeye çalışılmıştır.

Deney sonuçları kısmında, elde edilen bulgular grafiklerle gösterilmiş ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sadece kumdan oluşan kolon %20 amonyum giderebilirken %50 oranında zeolit in kullanılması ile bu oran %100’e çıkmıştır. Sadece zeolit içeren kolon ise %17 AKM giderimi yapabilirken, %50 kum eklenmesi ile %75 oranında AKM giderebilmiştir. Elde edilen bulgular tez ile önerilen çok amaçlı filtre sistemi içinde zeolit ve kumun, iyon değişimi ve filtrasyon proseslerini birlikte, yüksek verimle gerçekleştirebildiklerini göstermektedir. Ayrıca geri yıkama ve rejenerasyon çalışmaları ile sistemin devamlılığı sağlanabilmiştir.

Bu tez sonuçları, filtresi olan atıksu arıtma tesislerinde varolan filtre içine eklenecek klinoptilolit ile, filtresi olmayan sistemlerde ise kum ve klinoptilolit in birlikte kullanımı ile oluşturulacak çok amaçlı sistemlerin, amonyum ve AKM’nin birlikte giderimi için daha az yer kullanımı sağlayarak önemli bir arıtma alternatifi oluşturacağını göstermektedir. Amaca bağlı olarak böyle bir sistem dizaynında, giriş amonyum ve AKM konsantrasyonlarına bağlı olarak pilot çalışmalar ile belirlenecek uygun filtre hızı ve temas süreleri için, amonyum ve AKM’nin birlikte yeterli verimle giderilebileceği çok amaçlı filtre sistemlerinde uygulamada çok verimli sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

PRINCIPLES OF AMMONIA AND SUSPENDED SOLIDS REMOVAL IN MULTI-PURPOSE FILTERS

SUMMARY

With increasing quantities of pollutants being discharged into receiving waters over the years, new and more stringent effluent quality standards have been adapted in various countries of the world. In many cases compliance with new standards may be possible by using different systems. The selection of the most beneficial treatment plant scheme will turn out to be more and more important in the future. Available land for treatment plants are generally limited, therefore it must be used efficiently. For this reason, retention times in reactors, hence reactor volumes should be kept reasonably small to reduce area requirements. In recent years, there are more stringent standards for some parameters, especially for discharging in sensitive areas. Two of these parameters are ammonium and suspended solids which standardized by European Council directive named “Urban Wastewater Treatment Directive” (91/271/EEC) which is also adapted for Turkey.

Ammonium is classically removed in biological treatment units through nitrification. This is an effective removal technique when influent ammonium concentration is more or less constant, but in the case of variable and peak loads, the same pattern of fluctuations in the influent may be observed in the effluent stream. This seems to be even a more significant problem for plants at areas in which standards are altered to more stringent ones in time.

For handling peak ammonium concentrations in an attempt to comply with stringent standards, it is an alternative to install an ion exchange column after the filtration unit. Alternatively, a multi-purpose filter with filter material and clinoptilolite, may be used as a second stage, to improve effluent quality in the form of a post equalization unit, giving considerable savings in terms of land requirements for the upgrade.

Commonly used treatment units for removal of settleable and suspended solids are settlers and filters in classical systems.

The thesis is aimed to determine the conditions which will give the highest benefits for the simultaneous removal of ammonium and suspended solids in a multi-purpose filter. Having that purpose, several parameters like, contact time, hydraulic loading rate, flow rate, zeolite mass/bed height and particle size are observed.

This study will be made by using three different systems;

- 1-A packed column ion exchanger in which only zeolite is used.
- 2-A filter in which only sand is used as a classical support material.
- 3-A multi purpose filter in which sand and zeolite are used together.

The first system is intended as a second stage ammonium removal unit, the second unit is only a filtration system which intended to observe the suspended solids removal

capacity and the third unit is a multi-purpose filter intended as a unit which can achieve the removal of ammonium and suspended solids together.

First, general fundamentals of ion exchange and filtration are presented. Information is provided about natural zeolites (especially clinoptilolite) in fourth chapter.

Fifth chapter is related to laboratory studies, it was given experimental information was given about batch tests and column analysis in this chapter.

Sixth chapter is about the evaluation of data. In experimental analysis, Bigadiç clinoptilolite which is a natural zeolite from the western Anatolia is used as ion exchanger. In batch tests, the capacity of Bigadiç clinoptilolite was determined as 9,3 mg/g for 20 mg/l initial wastewater ammonium concentration at pH 7,3 and 1-2 mm diameter zeolite is used.

In sixth chapter there are also several column analyses. Different parameters like contact time, hydraulic loading rate, flow rate, zeolite mass/ bed height, cross section of column, particle size were briefly observed by obtaining column breakthrough curves. The effects of these parameters on breakthrough curves and service time of the column were investigated.

According to the results of column analyses, the ammonium removal rate is only %20 in sand column, but by replacing %50 of the sand column by zeolite, ammonium removal rate increases to %100. Similarly the suspended solids removal rate is only %17 in zeolite column, but by replacing %50 of the zeolite column by sand, suspended solids removal rate increases to %75. As can be seen from these results, when ion exchange and filtration processes are actualized together high removals for both parameters could be obtained.

A multi-purpose filter may be formed by adding clinoptilolite to the filter in wastewater treatment plants which already have filters. Alternatively multi purpose filters in which sand and zeolite used together can be designed for new wastewater treatment plants.

The multipurpose filter suggested could be an alternative both for the upgrading of existing treatment plants and as a polishing stage for ammonium and suspended solids, by using a smaller amount of land.

1.GİRİŞ

Çeşitli kullanım amaçları için uygun olan su kaynaklarının miktarı gün geçtikçe azalmaktadır. Su kaynakları, birçok yaşam alanında bir yandan farklı kullanım amaçları için insanlara kaynak oluştururken, aynı zamanda atıksular için alıcı ortam olarak görev yapmaktadır. Bu nedenle kentleşme ve endüstrileşmenin hızla arttığı günümüzde, su kaynaklarının kalite yönetimi, bu nedenle gün geçtikçe daha çok önem kazanmaktadır. Gelişmiş dünya ülkeleri artık atıksu deşarj standartlarını daha sıkı aralıklarda sınırlandırma eğilimindedir. Daha az hacim kullanılarak ve daha düşük maliyetle, istenen arıtma verimlerine ulaşılacak arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi yönünde yapılan bilimsel araştırmalar büyük önem kazanmıştır.

Günümüzde başta ötrofikasyon sorunu olmak üzere azot içeren atıksuların arıtımı, neden olduğu çevre sorunlarına bağlı olarak önem kazanmıştır. Avrupa Birliği'nin hassas bölge olarak tanımladığı ötrofikasyona duyarlı alanlarda toplam azot konsantrasyonu için verilen sınır değer 10 mg/l't'e, AKM için verilen sınır değer ise 35 mg/l't'e kadar düşmektedir. Türkiye'de ise 91/271/EEC esas alınarak, 8 Ocak 2006 tarihli 26047 sayılı resmi gazetede yayınlanan, **kentsel atıksuların toplanması, arıtılması ve deşarjı ile ilgili sınırlamalar getirerek, çevrenin korunmasının amaçlandığı**, "Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği" ile hassas alanlara deşarj standartları belirlenmiştir. Kentsel Atıksu Arıtımı yönetmeliği ile sınırlama getirilen iki parametre "Amonyum" ve "Askıda katı madde"(AKM) parametreleridir.

Amonyum, toplam azot parametresinin bir bileşeni olarak alıcı ortamlarda fosforla birlikte alg oluşumuna neden olarak ötrofikasyon sorunu oluşturmasının yanında, nitrifikasyon prosesi ile önce nitrit ve sonra da nitrata dönüşerek sudaki oksijeni kullanmakta ve oksijen ihtiyacının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca amonyak formunda balıklar üzerinde toksik etki göstermektedir. Atıksu arıtma tesislerinde ise amonyum, klor tüketimini artırır. Klasik olarak amonyum, biyolojik sistemlerle giderilmektedir. Ancak giriş akımındaki pik ve değişken yüklere bağlı kararsızlıklar, çıkış amonyum konsantrasyonlarına yansiyarak, standartlara uygun sonuçlara

ulaşılmasını engellemektedir (Beler Baykal ve diğ. 1994). Bu nedenle pik amonyum konsantrasyonlarının giderilmesi için iyon değışimi, fizikokimyasal bir süreç olarak önemli bir alternatif olarak görölmektedir. Atıksulardan klinoptilolit ile amonyum giderimi, çeşitli çalışmalara konu olmuştur (EPA, 1971, Weber, 1972, Koon ve Kaufman, 1975, Jorgensen ve diğ. 1976, Crazan ve diğ. 1988, Gradev ve diğ. 1993, Beler Baykal ve diğ. 1996, Green ve diğ. 1999, Turan ve diğ. 2003).

Askıda katı madde parametresi, en genel anlamda 1 µm'den daha büyük boyutlu organik ve inorganik partiköler maddeleri ifade eder. Askıda katı maddeler yüzeysel suların içilebilme, estetik, endüstride kullanılma gibi çeşitli amaçlarla kullanılmasını doğrudan etkiler. Askıda katı madde konsantrasyonu yüksek atıksuların, alıcı ortamlara deşarjı ile doğal sularda ışık geirgenliğı azalır, dip birikintileri oluşarak, anaerobik koşullar ortaya çıkabilir. Yüksek askıda katı madde konsantrasyonu, kanallarda ve arıtma sistemlerinde tıkanma sorunlarına yol açabilmektedir. Klasik atıksu arıtma sistemlerinde genel olarak AKM, ikinci kademe arıtma sonunda büyük oranda giderilmiş olmakta, ancak istenen AKM ıkış konsantrasyonuna ulaşılması bazı durumlarda mümkün olamamaktadır. Ayrıca ikinci kademe arıtmayı takiben aktif karbon, iyon değışimi gibi ileri arıtma prosesleri kullanılacaksa tıkanmaların önüne geçmek için daha yüksek verimlerde AKM giderimi gerekebilir. Bu gibi durumlarda ikinci kademe arıtmayı takiben filtrasyon üniteleri teşkil edilerek AKM giderim veriminin arttırılması gerekebilir. Filtreler, çoğı zaman biyolojik arıtma kalıntısı flokların tutulması amacıyla klasik bir arıtma ünitesi olarak kullanılırken, EPA'nın belirlediğı bazı özel durumlar için (küçük hacimli dere ve göller gibi hassas su kütlelerine deşarj vb) daha sıkı AKM standartlarının sağlanması gerektiğinde, bir ileri arıtma ünitesi olarak görev yapmaktadır.

Bu tez kapsamında önerilen çok amaçlı filtre sistemi ile, hem amonyum, hem de askıda katı madde parametreleri için klasik sistemlerde karşılaşılan ve arıtma verimlerini etkileyen sorunların giderilmesinde ve standartlara uyum çerçevesinde her iki parametre için ortak bir ikinci arıtma kademesi (second stage) önerilmektedir.

Daha önce benzer çok amaçlı filtre sistemleri ile yapılan çalışmalarda, Bigadiç klinoptiloliti ile amonyum giderimi için yüksek verimler elde edilmiştir, ancak askıda katı madde gideriminin ne oranda gerçekleştiğı ve ortak çalışma sisteminden nasıl etkilendiğı incelenmemiştir (Beler Baykal ve diğ. 1994, Beler Baykal ve diğ. 1996

Belir Baykal ve diğ. 1998, İnan 2001). Bu çalışma ile iyon değıştirici ve filtre malzemesinin birlikte kullanıldığı çok amaçlı bir filtre sistemi oluşturularak, bu sistem üzerinde, askıda katı madde(AKM) ve amonyum parametrelerinin birlikte, en yüksek verimle giderilebileceğı çalışma koşulları tespit edilmeye çalışılmıştır. Böyle bir çok amaçlı sistemin arıtma tesislerinde kullanılmasıyla tek bir ünite içinde AKM ve amonyum gideriminde daha sıkı standartlara uyulması mümkün olabilecektir.

Tez kapsamında iyon değıştirici malzeme olarak Türkiye’de zengin rezervleri olan Bigadiç klinoptiloliti kullanılmıştır. Bu tez ile önerilen çok amaçlı filtrelerin kullanımı ile Türkiye’nin sahip olduğı bu zengin rezerv de değerdendirilmiş olacaktır. Genel özellikleri ile zeolitlere ve bir zeolit türü olarak klinoptilolit özelliklerine, tez içinde ayrı bir bölüm olarak yer verilmiştir.

Deneyisel çalışmada kullanılan yöntemler materyal metod kısmında yer almaktadır. Deneyisel çalışmalar kesikli ve sürekli deneylerden oluşmaktadır. Kesikli deneylerde tez kapsamında kullanılacak Bigadiç klinoptilolitinin amonyum izoterm eğrisi belirlenmiş ve böylece amonyum tutma kapasitesi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu tez kapsamında araştırılan amonyum giderimi ve AKM giderimi proseslerinin her ikisi için de önemli bir parametre olan dane boyutunun, amonyum tutma kapasitesi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla farklı dane boyut aralıkları için izotermiler çizilerek karşılaştırılmıştır.

Sürekli deneylerde çeşitli parametrelerin iyon değışimi ve filtrasyon özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bu deneylerde karşılaştırma yapılabilmesi açısından üç değışik düzenek üzerinde çalışılmıştır:

- 1-Bigadiç klinoptilolitinin kullanıldığı iyon değıştirici
- 2-Bigadiç klinoptiloliti+kumun birlikte kullanıldığı çok amaçlı filtre
- 3-Sadece kum kullanılan filtre

Bu üç sistemden birinci sistem olan iyon değışimi için asıl arıtım amacı amonyum giderimi, üçüncü sistem olan filtrasyon için ise asıl amaç askıda katı madde giderimidir. İkinci sistemde ise klinoptilolit ve kum, filtre içinde birlikte kullanılarak çok amaçlı bir filtre oluşturulmuş, amonyum ve AKM giderimi aynı çok amaçlı filtre bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapılan diğerdiki sistemin varlığı, filtrasyon ve iyon değışimi proseslerinin tek tek nasıl işlediğinin incelenmesini

sağlamıştır. Böylece çok amaçlı filtre sistemi içinde iki proses birlikte yürütülürken, birbirleri üzerinde ne gibi etkilerinin olduğu daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır.

Bu bağlamda çalışma kapsamında yukarıda bahsi geçen üç deney düzeneği üzerinde temas süresi, filtrasyon hızı, debi, zeolit/kum oranı, partikül boyutu, zeolit-kum yerleşim şekli gibi farklı parametreler değiştirilerek, sistem verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Her kademedeki yapılan değişiklik, bir önceki kademedeki elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yapılmıştır. Sonuçta farklı parametrelerin sistem üzerindeki etkileri birlikte yorumlanarak, çok amaçlı filtre sistemi için en uygun çalışma koşulları belirlenmeye çalışılmıştır.

Seçilen sistemin amonyum ve AKM giderimindeki performansı, geri yıkama ve rejenerasyon çalışmaları yapılarak incelenmiş, elde edilen performanslar verim ve kolon çalışma süresi bazında karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ve değerlendirmelerin sonucunda, amonyum ve askıda katı maddenin birlikte giderilebileceği bir çok amaçlı filtre sisteminin esasları ortaya konulmuş ve Türkiye'nin önemli bir potansiyeli olan Bigadiç klinoptiloliti, atıksu arıtımı amaçlı kullanım sahasında değerlendirilmiştir.

Bu çalışma, amonyum ve AKM gideriminde daha sıkı standartların sağlanabilmesi konusunda Avrupa Birliği standartlarına uyum çerçevesinde denenebilecek alternatif bir yöntem olarak sunulmuştur. Böyle bir sistemin pratikte kullanımı ile tek bir ünite içinde, varolan sistemlerde ise ilave ekipman ve yer gereksinimi olmadan, sadece varolan filtreye zeolit ilavesiyle amonyum ve AKM'nin birlikte en uygun verimle arıtımı mümkün olabilecektir. Özellikle boyut büyütme konusunda yapılacak geliştirme çalışmaları ile, arıtma sistemlerinin iyileştirilmesinde kullanılacak çok amaçlı sistemlerin amonyum ve askıda katı maddenin birlikte giderimi açısından önemli bir alternatif olacağı düşünülmektedir.

2.İYON DEĞİŞİMİ

2.1 Adsorbsiyon ve İyon Değişimi

İyon değişimi yüzeyde gerçekleşen bir fizikokimyasal proses olup, değişim adsorbsiyonu adı verilen üçüncü tip adsorbsiyon mekanizması ile arıtma sağlanır. Bu yüzden önce adsorbsiyon prosesini tanımlamak gerekir.

Adsorbsiyon, yüzeyler arası veya yüzeyde birikme prosesi olup, sıvı-sıvı, gaz-sıvı, gaz-katı veya sıvı-katı gibi iki faz arasında gerçekleşir. Giderilmesi istenen kirletici, bulunduğu fazdan ayrılarak adsorban adı verilen diğer faz üzerinde birikir (Weber,1972). Bu birikme prosesi üç farklı mekanizma etkisiyle oluşur;

1-Fiziksel adsorbsiyon: Düşük sıcaklıklarda gerçekleşen, düşük enerjili bir adsorbsiyon prosesidir. Adsorbsiyon, Van der Waals kuvvetleri etkisiyle gerçekleşir.

2-Kimyasal adsorbsiyon: Adsorbsiyon sırasında tutunma eğer bir kimyasal reaksiyon sonucu oluşuyorsa bu duruma kimyasal adsorbsiyon adı verilir.

3-Değişim adsorbsiyonu: Birinci faz içindeki belirli yüklü iyonlar, elektrostatik kuvvetler etkisiyle, ikinci faz üzerindeki aynı yüklü iyonlar ile yer değiştirir. Bu tür adsorbsiyona iyon değişimi adı verilir.

Van der Waals çekim kuvvetleri ile gerçekleşen fiziksel adsorbsiyon ve kimyasal reaksiyonlar sonucu gerçekleşen kimyasal adsorbsiyondan farklı olarak iyon değişimi, elektrostatik kuvvetlerle gerçekleşen bir adsorbsiyon türüdür. Bu proses, malzemenin yüzeyindeki fonksiyonel gruptaki yüklü iyon ile içinde bulunduğu çözeltideki aynı yüklü iyonların elektrostatik kuvvetler ile yer değiştirdiği bir yüzey prosesidir (Weber 1972).

Değişimin meydana geldiği fonksiyonel gruplar katının yüzeyindedir ve değişen iyonların çözeltiden katı faza geçerek konsantre olması söz konusu olduğu için iyon değiştirme, yukarıda bahsedilen üç temel adsorbsiyondan birisidir (Weber 1972).

İyon değişimi reaksiyonlarında yer alan klasik işlemler, aktif karbon ile cözeltiden madde adsorbsiyonundaki işlemlere çok benzer. şekil 2.1’de aşağıda belirtilen adımların şematik gösterimi verilmiştir.

İyon değişim hızı;

- Cözeltiden film tabakası yüzeyine geçen iyonların taşınım hızına
- Film tabakasından katı faz yüzeyine taşınım hızına
- İyonların değişim bölgelerine olan gözenek taşınım hızına
- Gerçek değişim işleminin hızına
- Yüzeyden ayrılan iyonların aktif değişim bölgelerinden film tabakasına doğru gözenek taşınım hızına
- Değişim iyonunun cözeltiye doğru taşınım hızına

bağlıdır.

şekil 2.1 Bir doğal zeolit partikölünün, cözelti içindeki katyon değişimi adımları
Noktalı çizgi partiköl üzerindeki sabit su filmini göstermektedir (Semmens, 1984).

İyon değişimi mekanizmasından farklı olarak fiziksel ve kimyasal adsorbsiyonda bu hız kısıtlayıcı adımların ilk dördü sözkonusudur. Bu da adsorbsiyon ile iyon değişimi mekanizmaları arasındaki farkı göstermektedir. Bu adımlardan en yavaş olanı hız kısıtlayıcı adım olmaktadır. Değişim reaksiyonunun denge durumuna yaklaşma hızı, nadiren gerçek değişim işlemine bağlıdır. Tipik su ve atıksu arıtma debisinde işletilen iyi karışımı kesikli bir sistemde ya da bir kolon sisteminde değişim kinetiği genellikle iki farklı hız adımından biriyle belirlenmektedir. Bu hız adımlarının esasını difüzyon oluşturmaktadır. Bunlardan biri, iyonların bir film tabakasından difüzyonu, diğeri ise iyonların zeolit parçacığının iç gözeneklerinden olan difüzyonudur. İlk adım film difüzyonu, ikincisi ise gözenek difüzyonu olarak bilinmektedir. Kolon sistemlerinde genel olarak film difüzyonu etkilidir. Film difüzyonu ve gözenek difüzyonu tarafından kontrol edilen iyon değişimi reaksiyonları arasında uygulamada farklar mevcuttur (Weber 1972).

Film difüzyonu karışım hızı ve debiye bağlıdır. Debi ve karışım hızı arttıkça değişim hızı artar. Gözenek difüzyonu ise karışım hızı ve debiden etkilenmemektedir. Film difüzyonu kontrolündeki iyon değişimlerinde, değişim hızı parçacık büyüklüğüyle, gözenek difüzyonu kontrolündeki değişimlerde ise parçacık büyüklüğünün karesiyle ters orantılıdır. Film difüzyonu, iyonun çözeltideki düşük konsantrasyonlarında, gözenek difüzyonu ise yüksek konsantrasyonlarda baskın olmaktadır. İyon değiştiricinin yapısının, değişim hızı üzerindeki etkisi film difüzyonundan çok, gözenek difüzyonu sırasında geçerlidir.

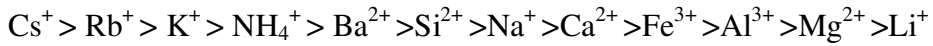
2.2 İyon Değiştirici ve İyon İlişkisi

İyon değişimi esnasında bütün olay, iyon değiştiricinin tutulması istenen iyonu tercih edip etmeyeceğidir. İyon değişiminin belli bir iyonun lehine olup olmadığı, iyon değiştiricinin seçiciliğine bağlı olarak belirlenebilmektedir. Sentetik bir iyon değiştirici, çözeltideki yüksek değerlikli iyonları tercih eder. Doğal iyon değiştirici ise tek değerlikli iyonları birinci derecede tercih eder. Su ve atıksu arıtımında kullanılan iyon değiştiricinin sentetik ve doğal olma özelliği ile katyonik veya anyonik olma özelliğine bağlı olarak iyon tercih sırası oluşmaktadır.

Su gibi polar bir çözücünde, iyon değiştiricideki sabit iyonlar ve serbest iyonlar ile çözeltideki serbest iyonlar, kendilerini su molekülleri ile çevrelemek isterler. Bunun sonucunda iyon değiştiricide şişme basıncı oluşur ve bu da seçiciliği etkileyen önemli bir faktördür.

Seçicilikte önemli olan diğer bir faktör, iyon değiştirici ve çözeltideki iyonların etkileşimidir. Kural olarak iyon değiştirici, sabit iyonik gruplar ile en kuvvetli ilişkideki iyonları tercih eder. Yapıca benzer gruplar özel bir iyonla kompleks oluşturursa iyon değiştirici, o iyonu tercih eder.

İyon değiştiricinin elek özelliği de, iyonların tutulmasında önem taşır. İyon değiştiricinin sahip olduğu gözenek yapısı, değişebilir iyonların hareketini önlemeyecek kadar büyük olmalıdır. İyon değişiminin olabilmesi için iyonlar içeri ve dışarı rahatça difüze olabilmelidir. Bu yüzden organik iyonlar ve inorganik kompleksler, bir değiştiricinin matrisine girebilmek için çok büyük olabilmektedirler. Amonyum iyonu için yüksek seçiciliğe sahip klinoptilolit, çeşitli inorganik katyonlar için seçiciliği Ames tarafından aşağıdaki sırada verilmiştir (SERL Report 1971).



Buna göre klinoptilolit evsel atıksularda bulunan katyonlardan (potasyum hariç) amonyum iyonu için yüksek seçiciliğe sahiptir.

2.3 Su ve Atıksu Arıtımında İyon Değişimi

İyon değişiminin su ve atıksu arıtımında çeşitli uygulamaları bulunmaktadır. Özellikle kalsiyum ve magnezyum sertlik iyonlarının giderilmesi ile demir ve mangan gideriminde kullanılmaktadır. Atıksu arıtımında ise amonyum, nitrat ve fosfat giderimi amaçlı kullanılmaktadır.

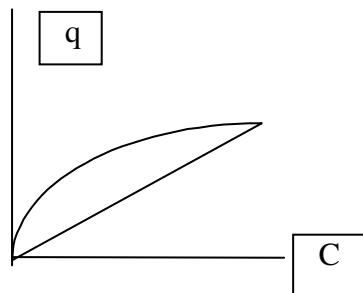
Şehir atıksuları genellikle evsel kaynaklı azot bileşikleri içerir. Evsel kaynaklı azot bileşikleri organik kaynaklı olmalarına rağmen, arıtma tesislerine kadar geçen sürede büyük oranda amonyum haline dönüşürler. Hassas bölgelerde azot arıtımı adımı (nitrifikasyon- denitrifikasyon) genellikle klasik arıtma tesislerinde sağlanır. Azot biyolojik olarak amonyumdan önce nitrite, sonra nitrata ve en sonunda azot gazına dönüştürülür. Bu tip bir arıtma yaklaşımında geri kazanım sözkonusu değildir, amaç sadece azotu sudan uzaklaştırmaktır.

Adsorbsiyon, iyon değişimi gibi yöntemlerde ise tutulan amonyum ile birlikte adsorban veya iyon değiştirici, daha sonra gübre olarak kullanılabilir. İyon değiştirici kolon dolduğunda, tuzlu çözelti kolondan geçirilerek Na^+ iyonları ile amonyum iyonlarının yer değiştirmesi ile kimyasal rejenerasyon sağlanır (Semmens ve diğ. 1977).

Evsel atıksuların arıtılmasında, ticari açıdan bakıldığında iyon değişimi ile amonyum giderimi yaygın değildir. Fakat bu yöntem, özellikle BOI_5/N oranı , atıksu sıcaklığı veya azot konsantrasyonunun düşük olduğu durumlar için konvansiyonel yöntemlere alternatif olarak sürekli araştırılmaktadır (Odegard 1992, Verkerk ve Van der Graf, 1999). Atıksuda nitrifikasyon inhibitörlerinin olması durumunda da bu yöntem önemli bir alternatif olacaktır.

2.4 İyon Değişimi İzotermi;

Sabit sıcaklıkta ve denge halinde katı faz üzerinde adsorbe olan kirletici miktarının çözelti içinde kalan madde miktarına bağlı olarak değişiminin gösterildiği eğrilere adsorbsiyon (iyon değiştirme) izotermi adı verilir. İyon değiştirme izotermi, iyon değiştirici olarak kullanılan malzemenin maksimum kapasitesinin belirlenmesi amacıyla kullanılır.



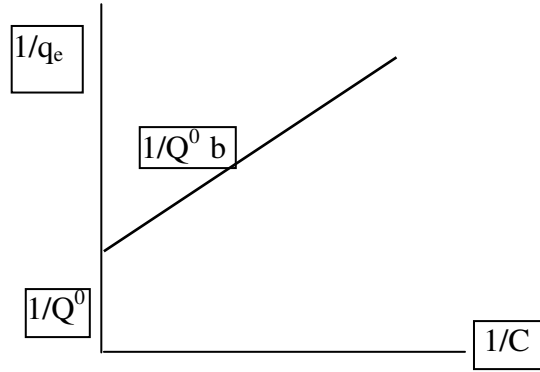
q: Katı faz üzerindeki denge konsantrasyonu
C: Sıvı faz içinde kalan denge konsantrasyonu

Yaygın olarak kullanılan başlıca üç tip izoterm modeli vardır;

1-Langmuir İzoterm Modeli :

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q^0} + \frac{1}{Q^0 \cdot b} \cdot \frac{1}{C}$$

$$q_e = \frac{Q^0 b \cdot C}{1 + bC}$$



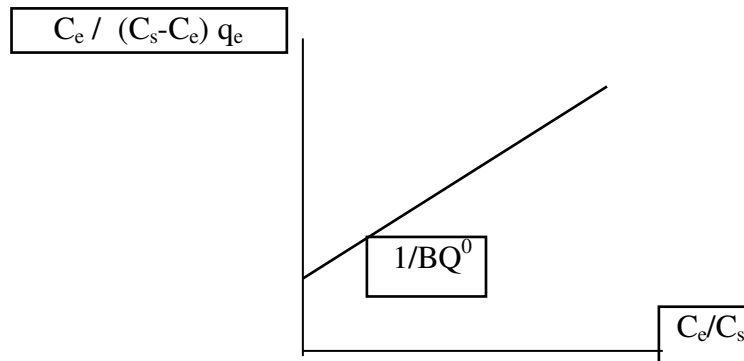
Burada ;

Q^0 : Adsorbanın birim ağırlığı üzerinde adsorblanan kirletici mol sayısı

q_e : Belirli bir C konsantrasyonuna karşılık gelen ,adsorbanın birim ağırlığı üzerinde adsorblanan kirletici mol sayısı

C : Sıvı faz denge konsantrasyonu

2-BET İzoterm Modeli



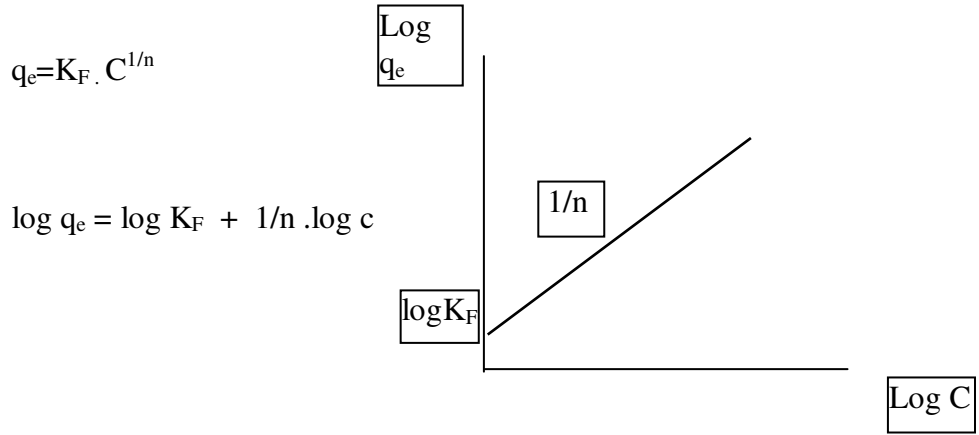
$$q_e = \frac{B \cdot C_e \cdot Q^0}{(C_s - C_e)(1 + (B - 1)(C_e / C_s))}$$

$$C_e / (C_s - C_e) \cdot q_e = 1/BQ^0 + \{(B-1)/BQ^0\} C_e/C_s$$

B :Yüzeysel etkileşim enerjisine bağlı katsayı

C_s :Sıvı faz doygunluk konsantrasyonu

3-Freundlich İzoterm Modeli



K_F :Sorbsiyon kapasitesini gösteren Freundlich katsayısı

1/n :1'den büyük katsayı

2.5 Kırılma Eğrisi (Breakthrough curve) :

Sürekli sistemlerde iyon değiştirme kolonundan çıkış kirlletici konsantrasyonunun (C) başlangıç kirlletici konsantrasyonuna (C₀) oranının (C/C₀) veya sadece C'nin, zamana karşı değişimini gösteren eğrilere kırılma eğrisi adı verilir.

Su ortamında farklı değerlikli birçok iyonun varlığı nedeniyle iyon değişimi oldukça karmaşık bir yapı gösterir. Bu nedenle iyon değiştirme kolonları genelde salt teorik hesaplarla tasarlanamaz. İyon değiştirme kolon özellikleri, laboratuvar ve pilot ölçekli çalışmalarla çıkarılan kırılma eğrileri yardımıyla belirlenir.

Kırılma eğrisi, tasarım ve işletme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılır. Kırılma eğrisini belirleyen önemli faktörler, arıtılan suyun kompozisyonu, kullanılan

iyon değiştiricinin toplam kapasitesi ve hangi iyonları öncelikle tercih ettiğidir. Kolon hacmi hesabında yaygın olarak kullanılan parametre yatak temas süresidir (empty bed contact time,EBCT). EBCT, yatak hacminin giriş debisine oranı olarak verilir.

$$EBCT = (Yatak\ hacmi)/Q \quad (2.1)$$

Kırılma eğrileri kullanılarak EBCT, debi, su hızı, rejenerasyon süresi, yüzeysel yükleme miktarı gibi tasarım ve işletme parametreleri tespit edilebilir.

Özellikle değarj standartlarının ve kontrollerin sıkı olduğu parametreler gideriliyorsa iyon değiştirme kolonları kesinlikle kırılma eğrisi yardımıyla dizayn edilmelidir. Aksi takdirde iyon değiştirici malzeme zamanında rejenere edilemez ve değarj standartları aşılmış olabilir. İyon değiştirme kolonunun tamamen dolarak, çıkış kirletici konsantrasyonunun hızla artmaya başladığı süre, rejenerasyon süresi olarak ifade edilir. Rejenerasyon süresi sonunda, kolon, başlangıçta sahip olduğu, iyon değişimi gerçekleştiren iyonlarla doyurulmalı, yani rejenere edilmelidir.

2.6 İyon Değişimi İle Amonyum Giderimi Konusunda Yapılan Çalışmalar

Giriş akımındaki değişken ve pik yüklere bağlı kararsızlıklar, amonyumun klasik biyolojik sistemlerde arıtımında istenen standartlarda uygun çıkış kalitesine ulaşılmasını engellemektedir. Bu nedenle atıksu arıtımında önemli bir parametre olan amonyumun istenen verimde giderilebilmesi için bugüne kadar pek çok farklı çalışma yapılmıştır. Aşağıda yapılan bu çalışmalar konunun gelişimine bağlı olarak özetlenmiştir.

2.6.1 Amonyumun İyon Değişimine Etki eden Faktörlerin İncelendiği Çalışmalar

1-Zeolitin homoiyonik formu:

Zeolitin şartlandırılması ile homoiyonik bir yapı kazandırılarak, amonyum değişim kapasitesinin arttırılması pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Zeolite homoiyonik yapı vermek için sodyum, magnezyum veya kalsiyum tuzu içeren bir çözelti yüklemesi yapılır. Doygunluk sağlandıktan sonra bir kez distile su ile zeolit yıkanır. Sodyum tuzunun kullanılmasının, magnezyum ve kalsiyum tuzlarından çok daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir (Jorgensen ve diğ. 1979, Booker ve diğ. 1996). Bu durum katyon boyutlarının farklılığı ile açıklanabilir. Sodyum iyonu, kanallara rahatça girerek bağlanacak kadar küçüktür. Eğer rejenerasyon sodyum çözeltisi ile yapılıyorsa şartlandırmaya gerek kalmayabilir. Jorgensen (1976) başlangıçta sodyum ile şartlandırma yaptığı çalışmasında ilk üç rejenerasyonun amonyum değişim kapasitesini arttırdığını saptamıştır.

2-Partikül çapı:

Partikül çapının, amonyumun iyon değişimi ile giderim kapasitesi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Hlavay (1982) partikül çapının etkisini üç farklı aralıkta incelemiş (0.5-1, 0.3-1.6, 1.6-4 mm) ve en küçük partikül boyutunda en yüksek verimi elde edebilmiştir. Ames (1960) 1 mm'den büyük olan partikül boyutunun amonyum giderim kapasitesini düşürdüğünü tespit etmiştir. Bununla beraber düşük partikül boyutunda yük kaybı artmaktadır. Hlavay vd. (1982) ve Odegard (1992) minimum partikül boyutu olarak 0.4-0.5 mm'yi önermişlerdir. Nguyen (1997) düşük yüzey yüklerinde 0.25-0.5 mm gibi düşük boyutlarla, 2-2.8 mm gibi büyük boyutların benzer düzeyde amonyum değişim kapasitesine sahip olduğunu belirlemiştir. Küçük partikül boyutunda, yüksek yüzey yüklerinde, yüksek amonyum değişim kapasitesi elde edilmiştir. Düşük partikül boyutunda yüksek verim elde edilmesinin , yüksek kütleli transfer artışına bağlı olduğu düşünülebilir (Hedström,2001).

3-Hidrolik Bekletme Süresi:

Belir Baykal (1996) temas süresini 0.5-12 dak arasında farklı değerlerde incelemiş ve 3 dakikanın altındaki değerleri kırılma noktası çok kısa sürede oluştuğundan, önermemiştir. 3-10 dak arasındaki bekletme sürelerinin ise kırılma noktasının görülmesi açısından uygun olduğu, ancak 5 dakikadan sonra amonyumun büyük

ölçüde tutulduğu saptanmıştır. Beler Baykal ve Güven (1997), Booker ve diğ. (1996) ise 10 dak içinde hızlı bir amonyum adsorbsiyonu olduğunu, 6 dak'dan küçük bekletme sürelerinde kırılma noktasının belirgin bir şekilde kısaldığını tespit etmiştir.

4-Giriş Amonyum Konsantrasyonu:

Hlavay vd. (1982), giriş amonyum konsantrasyonu etkisini incelemiş (17-45 mg/lit $\text{NH}_4\text{-N}$ /lt arasında) ve yüksek amonyum konsantrasyonlarının daha hızlı kırılma noktasına yol açtığı bulunmuştur. Toplam amonyum tutma kapasitesinin hepsinde yaklaşık olarak aynı olduğu, fakat 45 mg/lit için biraz daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kithome (1998) ve Jorgensen ve diğ. (1979) yaptıkları çalışmalarda yüksek giriş konsantrasyonunun amonyumun iyon değişim oranını arttırdığını belirlemişlerdir.

5- İyonik güç:

Her ne kadar amonyum iyonlarının klinoptilolit için seçiciliği yüksek olsa da, diğer iyonların varlığı, iyon değişim kapasitesi üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Koon ve Kaufmann (1975) iyon değişim kapasitesi ile giriş suyundaki toplam katyon konsantrasyonu arasında bir bağlantı kurmaya çalışmışlardır.

Giriş suyunun distile su yerine musluk suyu ile karıştırılmasının iyon değiştirme kapasitesini düşürdüğü tespit edilmiştir. Buna rağmen farklı iyon etkisinin çok önemli düzeyde olmayacağı söylenebilir, çünkü zeolitlerin iyon seçiciliği vardır ve bu sayede farklı iyonlara karşı farklı tutma kapasiteleri oluşmaktadır. Katyon konsantrasyonu 0.01 mol/lit'ye kadar arttıkça iyon değişim kapasitesi hızla düşer. Bu değerden daha fazla artarsa, düşüş daha yavaş bir hızla devam etmektedir (Jorgensen ve diğ. 1976).

J.Paul Chen ve diğ. (2002) tarafından yapılan çalışmada, iyon değiştirme ile amonyum gideriminde Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} gibi etkileşim yapabilecek iyonların ve hümkik asitin giriş atıksuyu içinde bulunması halinde giderim verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tüm durumlar için denge durumuna aynı zaman içinde ulaşıldığı, maksimum amonyum giderim verimine ulaşılan denge anının ise 4 saatte olduğu tespit edilmiştir.

İyon değiştirici miktarının arttırılması (sadece amonyum içeren giriş suyu için) giderim verimini de arttırmıştır. Verim 1 g/l'tlik miktar için %73 iken, 10 g/l için %96,4'e ulaşmıştır.

Etkileřim yapan iyonların varlığı ise verimi negatif yönde etkilemiştir. Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} iyonlarının hepsini içeren atıksulardan amonyum gideriminde verim %73'ten, %12,4'e dūřmūřtur. pH 5-7 arasında en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada sentetik atıksu ve iyon değiştirici kullanılmıştır (J.Paul Chen ve dię. , 2002).

Michael Green ve dię. (1999), tarafından yapılan çalışma ise, iki aşamadan oluşmuş, birinci aşamada ikincil arıtma atıksuyu iyon değiştirici kolondan geçirilmiş, kolon dolduğunda ise iyon değiştirici malzeme daha kūk kesikli bir reaktöre alınmış, amonyumu desorbe edecek kimyasallar minimum dūzeyde eklenmiş ve burada biyolojik nitrifikasyon ile rejenerasyon sağlanmıştır. İyon değiştirici olarak şabazit kullanılmıştır.

Atıksuda farklı iyonların varlığının kapasiteyi %75 oranında azalttığı ve rejenerasyon için yetiştirilen biyokūtlenin, kolonun iyon değiştirici kapasitesini dūřürmedięi tespit edilmiştir. Amonyumun desorbe olabilmesi için kullanılan tuzlu çözeltide 10000 mg/l Na^+ zeltisi ile 2440 mg/l'tlik çözeltiye göre çok hızlı sonuç alınmıştır. Fakat her iki konsantrasyon için de sınırlayıcı adımın nitrifikasyon aşaması olduğu tespit edilmiştir (Michael Green ve dię. ,1999).

6-pH Etkisi:

Koon & Kaufmann 1975, pH'ın etkisini incelemiřler ve pH 4 ile 10 arasında yūksek amonyum giderim verimleri gerçekleřtięini ve pH 6'da en yūksek verimin elde edildięini belirlemiřlerdir. Bunun nedeni, dūřk pH'larda amonyum iyonlarının hidrojen iyonları ile rekabete girmesi, büyük pH'larda ise amonyumun amonyak gazına dnūřmesidir. (pH 8'in ūstnde amonyum, amonyak gazına dnūřmeye bařlar). Pratikte uygulamalar için yūkleme ařamasında pH 4-8 aralıęında çalıřılması önerilmektedir (Koon ve Kaufmann, 1975). Kithome ve dię. (1998) ise yaptıkları

Çalışmalarda en yüksek verimi pH 7’de elde etmişlerdir. Yüksek pH’da yeni sorbsiyon yerlerinin oluştuğu düşünülmektedir.

7-Sıcaklık:

Koon ve Kaufmann (1975) 10-20 ⁰ C arasında sıcaklığın iyon değişimi ile amonyum giderimi üzerinde etkisinin olmadığını tespit etmiştir.

2.6.2 Tek ve çok Kademeli Sistemlerle Amonyum Giderimi Konusunda Yapılan alışmalar

--Atıksulardan iyon değiştirme yöntemi ile amonyum gideriminde klinoptilolit doğal bir reine olarak kullanılmış ve yüksek verimler elde edilmiştir (EPA, 1971, Weber, 1972, Jorgensen vd. 1976, Crazen vd. 1988 , Gradev vd. 1993).

--Yapılan araştırmalarda klinoptilolit in amonyumla iyon değişimi için Na formunun en uygun form olduğu görülmüştür (Koon ve Kaufmann ,1975).

-- Beler Baykal tarafından 1994 yılında yapılan çalışmada, Bigadiç ve Beli –plast klinoptiloliti amonyum gideriminde iyon değişim kapasitesi açısından değerlendirilmiş, her iki klinoptilolit için izoterm eğrileri çıkartılmış ve Freudlich izotermine uygun oldukları tespit edilmiştir. Beli- plast klinoptilolitinin Bigadiç klinoptilolitinden sadece %14 oranında daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

-- Amonyum piklerinin dengelenmesi konusunda Beler Baykal ve diğerleri tarafından 1994’de yapılan çalışmada, amonyak piklerinin giderilebilmesi için biyolojik aktivitenin olduğu filtre içine klinoptilolit eklenmiş ve çıkış konsantrasyon ortalamasının düştüğü tespit edilmiştir. Bu sayede varolan büyük sistemlerde mevcut filtrelere sadece iyon değiştirici eklenerek pik amonyak konsantrasyonlarının dengelenmesinin mümkün olabileceği görülmüştür. Burada kullanılan üç sistemden birincisi, nitrifikasyon bakterilerinin olduğu havalandırma ile biyolojik gelişim sağlanan filtre, ikincisi biyolojik havalandırma lı filtre+ klinoptilolit, üçüncüsü ise sadece klinoptilolit in kullanıldığı sistemdir.

Çalışma Koşulları;

Su hızı: $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat Debi: 0,54 lt/sn Kolon Çapı: 2,65 cm.

İyon değiştirici miktarı: 40 gr.

Kolon kalınlığı: A-B için 58 cm. C için 8,5 cm.

Bu çalışmada, A ile B'deki yükseklikler aynı, B ile C'deki klinoptilolit miktarları aynı tutulmuş, girişte ve çıkışta çözünmüş oksijen, pH ve amonyum ölçülmüştür. Çalışmada son çöktürme çıkış atıksuyu kullanılmıştır.

Biyolojik aktif filtrele klinoptilolit eklenmesiyle çok yüksek amonyum giderim verimleri elde edilmiştir. Bu sonuca ulaşılmasında eklenen klinoptilolit büyük etkisi olmuştur. Düşük amonyak konsantrasyonlarında ise iyon değiştiricide desorbsiyon meydana gelmiştir. Ancak çift amaçlı filtrede açığa çıkan amonyum, nitrifikasyon bakterileri için bir rejenerasyon vazifesi görmüş ve belli bir süre sonra amonyum konsantrasyonu sabit kalırken, toplam azot ve nitrat konsantrasyonunda artış tespit edilmiştir. Her durumda kimyasal rejenerasyon gereklidir. Önemli olan ne kadar iyon değiştirici ekleneceği ve kırılma noktası zamanıdır. Bunlar da çıkış kalite gereksinimine ve rejenerasyon yöntemine bağlı olarak karar verilmesi gereken kararlardır.

--Atıksu arıtımında kademeli sistemlerin , tek kademeli sistemlere kıyasla avantajları ve dezavantajları yapılan diğer araştırmalarla incelenmiş, bu amaçla bir dizi çalışma yapılmıştır;

Belir Baykal ve diğerleri tarafından 1994 yılında Launburg şehri atıksuları (endüstriyel çamaşırhane ve karton endüstrisi atıksuları da deşarj edilmekte) ile yapılan çalışmada, farklı alternatifler denenerek kademeli sistemlerin verimleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada aşağıda açıklanan farklı durumlar karşılaştırılmıştır.

1.Durum

Tam karışımli aktif çamur sistemi

Toplam bekletme süresi 20 saat

Giderim verimi %80

Çıkış Amonyum konsantrasyonu 15 mg/lt

2. Durum

Tam karışımli aktif çamur + Tam karışımli aktif çamur

Bekletme süresi 14,03 saat + 2,67 saat=Toplam 16,7 saat

Giderim verimi %83

Çıkış Amonyum konsantrasyonu 12,52 mg/lt

3.Durum

TKAÇ+ Piston akışli aktif çamur

14,03 + 2,41=16,44 saat

Giderim verimi %83

Çıkış Amonyum konsantrasyonu 12,33 mg/lt

4.Durum

TKAÇ + Sabit film Reaktörü

14,03 + 0,36=14,39 saat

Giderim verimi %86

Çıkış amonyum konsantrasyonu 10,78 mg/lt

Bu dört farklı durum karşılaştırıldığında en iyi sonucun 4. durumda elde edildiği ve kademeli arıtma ile %30 oranında hacimsel kazanç elde edildiği tespit edilmiştir.

Bir başka çalışmada ise biyolojik arıtmayı takiben ikinci kademe arıtım alternatifleri olarak üç düzenek incelenmiştir ;

1-Sadece klinoptilolit kullanılan iyon değişimi

2-Havalandırma ile biyolojik aktivitenin sağlandığı klinoptilolit+yanmış kil sistemi

3-Sadece yanmış kil kullanılan filtre (Beler Baykal ve dig. 1996).

Bir kez kullanılmış ve 10 kez kullanılmış klinoptilolit için (Klinoptilolit, her bir sefer için sodyum klorür ile rejenere edilmiştir.) karşılaştırma yapıldığında, 10 kez

kullanım için sadece %10'luk bir kapasite düşüşü görülmüştür (Beler Baykal ve Güven ,1997).

--Son olarak dörtlü bir karşılaştırma yapılmış ve;

- 1)Sadece klinoptilolit kullanılan iyon değişimi
- 2-Havalandırma ile biyolojik aktivitenin sağlandığı klinoptilolit+yanmış kil sistemi
- 3-Havalandırma yapılmadan işletilen klinoptilolit+ kum sistemi
- 4- Havalandırma ile biyolojik aktivitenin sağlandığı klinoptilolit+kum sistemi

Bu dört sistem amonyak piklerinin giderilmesinde ikinci arıtma alternatifi olarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. (Beler Baykal 1998)

Tüm bu çalışmaların sonuçları incelendiğinde, sadece iyon değiştirici kullanılan sistem ile iyon değiştirici ve filtrenin birlikte kullanıldığı sistem için amonyum giderimi açısından yaklaşık olarak aynı verimlere ulaşılacağı tespit edilmiştir. Havalandırmanın yapıldığı klinoptilolit+kum filtresi ortak sistemleri için ise daha yüksek amonyum giderim verimleri elde edilmiştir. Havalandırma ile biyolojik aktivitenin sağlandığı kum filtresi ile klinoptilolit'in birlikte kullanıldığı sistem, özellikle ilerleyen zamanla birlikte nitrifikasyon bakterilerinin aktif hale geçmesiyle amonyum piklerinin giderilmesinde çok iyi sonuçlar vermiştir (Beler Baykal,1998). Ancak nitrat oluşumu ve klinoptilolit'in rejenerasyon için filtreden nasıl ayrılacağı veya rejenerasyon süresinin filtrenin geri yıkanması ile nasıl bir ilişki içerisinde olacağı belirsizliğini korumaktadır.

2.6.3 Scale-Up (Boyut Büyütme) ve Rejenerasyon Koşullarının İncelendiği Çalışmalar

İyon Değişimi ile Amonyum giderimi konusunda yapılan bir çalışmada sistem büyültüldüğünde laboratuvar ölçeğinde alınan verimin ancak %60'ı elde edilebilmiştir. Bu durumun kanallaşma oluşumu nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir (Hlavay ve diğ. 1982).

2.6.3.1 Kimyasal Rejenerasyon

Kimyasal rejenerasyon, amonyum iyonlarının iyon değiştiriciden uzaklaştırılarak, yeni katyonlara yer açmak amacıyla yapılır. Bunu takiben genellikle hava ile sıyırma işlemi ile amonyum amonyağa dönüştürülür ve asit içinde tutulur. Zeolit dolduğunda yükleme kesilir ve tuzlu çözelti pompalanır. Yukarı ve aşağı akışlı rejenerasyon yöntemleri denenmiştir. Birçok araştırmada 0.1-0.6 M NaCl zeltisi kullanılmıştır. Gerekli süre, rejenerasyon çözeltisinin pH'ına ve konsantrasyonuna bağlıdır. pH 11.5 ve %2'lik rejenerason çözeltisi için 20 BV (Bed Volume-Yatak hacmi)'luk çözelti 1.3 saatlik uygulama yeterli olabilmektedir (Ori L. Ve Green M. 1997, Miladinovic vd. 2008).

2.6.3.2 Biyolojik Rejenerasyon

Biyolojik rejenerasyon ile ilgili ilk çalışmalar 1975 yılında Semmens ve Goodrich ile başlamıştır. Biyolojik rejenerasyon iyon değişimi (desorbsiyon) ve biyolojik aktivite (nitrifikasyon) olaylarının ardarda ve birlikte gerçekleşmesi ile yapılmaktadır.

Farklı deneysel şartlar altında yapılan çalışmalarda gözlenen genel durum, iyon değişimi ve açığa çıkan amonyağın oksidasyonu mekanizmalarını içermektedir. Ortamda nitrifikasyon bakterileri olmadığında, iyon değişimi denge oluşuncaya kadar devam etmektedir. Nitrifikasyon prosesi amonyum iyonunu tktir ve klinoptilolitteki amonyum iyonu dengeye ulaşabilmek için zeolitten ortama daha fazla amonyumun verilmesine sebep olur. Nitrifikasyon prosesinde oksitlenen her amonyum iyonu için nitrifikasyon bakterileri tarafından iki eşdeğerlikte hidrojen iyonu üretilmektedir. Nitrifikasyon prosesinin hızlı bir şekilde sürebilmesi için ortamın doğal pH seviyesinde olması gerekir. Bu nedenle de ortama pH ayarı için baz ilavesi gerekli olmaktadır (Semmens ve Goodrich,1977).

2.6.3.3 Kimyasal ve Biyolojik Rejenerasyon

Kimyasal ve biyolojik rejenerasyon birarada da yapılabilir. Rejenerasyon fazının sonunda amonyum klorür (kimyasal rejenerasyon) veya sodyum nitrat (biyolojik rejenerasyon) açısından zengin bir geri yıkama suyu elde edilir. Eğer bu su geri

kazanılmak istenirse, amonyak sıyrılması yapılarak açığa çıkan amonyak, sülfürik veya nitrik asit içinde absorbe edilebilir (Liberti vd. , 1981). Biyolojik rejenerasyon suyu ise nitrat içermektedir ve bir buharlaştırıcıda kurutulabilir. Eğer azot geri kazanılmak isteniyorsa, bu adımı denitrifikasyon aşaması izleyebilir (Semmens ve Goodrich 1977).

2.6.4.4 Rejenerasyon Sonrası Azotun Geri Kazanımı

Amonyumun iyon değiştirici ile giderilmesi yönteminde azotun geri kazanımı konusu henüz yeterince araştırılmamıştır. Lahav ve Green (1998) azotlu rejenerasyon suyunun gübre olarak kullanılabilirliğinden bahsetmişlerdir. Liberti vd. (1986) kombine bir anyon-kasyon değiştirici tekniği geliştirmişlerdir ki, bu teknik ile amonyum ve fosfor iyonları ayrılmakta, desorbe olmakta ve magnezyum amonyum fosfat olarak çöktürülmektedir. Bu bileşik, yavaş bozunan bir tür gübre olarak bilinmektedir (Liberti ve diğ. 1986, Dolan ve diğ. 1990).

2.6.4.5 Rejenerasyonun Kapasite Üzerine Etkisi

Rejenerasyonun kapasite üzerine etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiş olup Liberti ve diğ. (1981) 40000 BV atıksuyu, laboratuvarında kurduğu sistemden geçirdiği halde, dikkate değer bir kapasite kaybı saptamamıştır. Booker ve diğ. (1996) aynı şekilde benzer bir çalışmada kapasite kaybı bulamamıştır. Beler Baykal ve Güven (1997) 10 kez rejenerasyondan sonra kapasite kaybı tespit etmiştir. Koon ve Kaufmann (1975) kostik rejenerasyon solusyonlarının klinoptilolit yapısal iskeletine zarar verdiğinden kapasite kaybına yolaştığını, rejenerasyon solusyonunun pH'ının 11.5'dan 12.5'a çıkmasının zeolit ağırlığında önemli ölçüde azalmaya yol açtığı saptanmıştır.

3. FİLTRASYON PROSESİNİN ESASLARI

3.1 Filtrasyon Prosesi

Filtrasyon, su kaynağından gelen veya arıtma işlemleri sırasında oluşan kil ve silt taneleri, mikroorganizmalar, kolloid ve çöken hümitik maddeler, suyun yumuşatılmasında kullanılan kalsiyum karbonat ve magnezyum hidroksit çöktürleri gibi askıda katı parçacıklarının gideriminde yaygın olarak kullanılan temel işlemlerden biridir. Filtrasyon, temiz su arıtımında ana ünitelerden birini oluşturur. Ancak son yıllarda atıksu arıtımında da önem kazanmaktadır. Atıksu arıtımında hem kimyasal hem de biyolojik arıtma için (Partiküler BOI'yi de içeren) askıda katı madde kalıntılarının gideriminde kullanılmaktadır. Atıksu arıtımında filtrasyon bir ileri arıtma yöntemidir. İstenen çıkış suyu kalitesine ve atıksu özelliklerine bağlı olarak birincil arıtmayı ve ikincil arıtmayı takiben kullanılabilir.

Çevre Mühendisliğinde filtrelerin ilk kullanımı içme suyu arıtımı amacıyla olmuştur, çünkü atıksu arıtımı çok daha fazla kirleticiden etkilenir ve kompleks bir sistem dizaynı gerektirir. Genel olarak atıksu filtrelerinde daha büyük, daha ağır ve daha farklı boyutlarda taneler filtre malzemesi olarak kullanılır ve uygulanacak atıksu kompozisyonuna ve yüküne bağlı olarak dizayn edilir.

Su arıtımında filtreler farklı kriterler esas alınarak sınıflandırılırlar; Dolgu malzemesine göre sınıflandırma yapıldığında ince malzemeli, kalın malzemeli, aktif karbon, antrasit ve zeolit gibi farklı malzemelerin kullanıldığı karışık malzemeli filtreler ve diatomit filtreler şeklinde gruplandırılabilirler. Su akış yönüne bağlı olarak ise giriş akımının aşağıdan yukarıya doğru olduğu yukarı akışlı filtreler ve giriş akımının yukarıdan aşağıya doğru olduğu aşağı akışlı filtreler olmak üzere isimlendirilirler. Hidrolik yapı esas alınarak yapılan gruplandırmada ise filtreler, yerçekimi ile çalışan ve basınçlı filtreler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Akım hızı kontrolüne göre ise sabit akımlı ve yük kaybı arttıkça hızın azalmasına izin verilen

azalan hızlı akımlı filtreler olmak üzere ikiye ayrılır. Yüzey yüküne bağlı olarak filtreler, hızlı filtreler ve yavaş filtreler olmak üzere ikiye ayrılır. Tablo 3.1’de su arıtımında kullanılan hızlı ve yavaş filtre özellikleri verilmektedir.

Tablo 3.1 Su Arıtımında Kullanılan Hızlı ve Yavaş Filtre Özellikleri (Eroğlu 1987)

	HIZLI KUM FİLTRELERİ	YAVAŞ KUM FİLTRELERİ
Filtre Hızı, m ³ /m ² .st	5-15	0,1-0,5
Kumun Dane Çapı, mm	0,5-2	0,15-0,35
Malzeme Uniformluk Katsayısı, $u=d_{60}/d_{10}$	<1,5	2~3
Yatak Kalınlığı, m	0,5-2	0,6-1,2
Su Yüksekliği, m	0,25-2	1,0-1,5
Temizleme Şekli	Geri Yıkama	Sıyırma
Temizleme Aralığı, gün	1~3	90-120
Bir Filtrenin En Düşük Yüzey Alanı, m ²	10-20	100-200
Bir Filtrenin En Büyük Yüzey Alanı, m ²	100-200	2000-5000
Filtre Sayısı, n	4~40	-
Filtrenin Tesirli Kısmı	Bütün Hacim	Üst yüzey
İnşa Maliyeti	Düşük	Yüksek
İşletme Masrafları	Yüksek	Düşük
Tesisin Ömrü	Kısa	Uzun
Yetişmiş eleman ihtiyacı	Fazla	Az

Filtrasyon sırasında, koşullara bağlı olarak aktif olan, farklı tutunma mekanizmaları vardır. Mekanik olarak tutunma, çökme, difüzyon, atalet ve hidrodinamik kuvvetler etkisiyle tutunma gibi mekanizmalar, tek tek veya birlikte her bir partikülün tutunma işlemi sırasında etkili olmaktadır (Yao Kuan-Mu vd. 1971, Camp 1964).

3.2 Atıksu Arıtımında Filtrasyon

Atıksu , fiziksel ve kimyasal karakteristikler açısından temiz sudan büyük farklılıklar gösterir. Bu yüzden filtrasyon ile atıksu arıtımı özel dizayn gerektirir. Genel olarak atıksu filtrasyonunda daha büyük daha ağır ve daha değişken partiküller, çok değişken özellik gösteren giriş katı konsantrasyonları ile giderilmeye çalışılmaktadır. Bu yüzden yıllık olarak değişimlerin izlenmesi gerekir. Bu da filtrasyon mekanizmasını çok daha kompleks hale getirir. Bu yüzden özellikle sıkı

ıkış konsantrasyonlarının sağlanması gereken yerlerde pilot çalışmalar gerekli olmaktadır.

Atıksu filtrasyonunda dikkate alınacak parametrelerin en önemlileri şunlardır;

- 1) Giriş atıksu zellikleri
- 2) Filtre malzemesinin zellikleri
- 3) Filtrasyon hızı

Giriş konsantrasyonunun artması ile filtrenin tıkanma süresi kısalır. Düşük giriş konsantrasyonlarında çalışılması ise filtre işletim süresini ve buna bağlı olarak maliyeti arttırır. Filtre malzemesi özelliklerinden en önemli iki tanesi, malzeme boyutu ve porozitesidir. Filtre boyutu küçüldükçe filtrasyon verimi artmaktadır. Fakat yük kayıpları da artacağından filtre çabuk tıkanır. Büyük boyutlu filtre malzemesi kullanıldığında ise filtrenin tutma kapasitesi düşer, fakat işletim süresi artar. Filtre malzemesi hem temiz filtre yük kaybına etki eder, hem de filtre doldukça oluşan yük kaybı artışını belirler. Ayrıca ıkış suyu kalitesini de belirler.

Filtrelerde filtrasyon hızı filtreye giriş debisinin filtre yüzey alanına oranıdır. Filtrasyon hızı arttıkça suyun filtreden geçmesi zorlaşır. Düşük hızlarda su kolayca filtreden geçer ve yük kayıpları daha yavaş meydana gelir. Görüldüğü gibi filtre dizaynı pek çok farklı parametreye bağlı olup, bu parameteler de birbirleri ile sürekli ilişki içindedir. Bu nedenle filtrasyon uygulamalarında pilot ölçekli ön çalışmalar yapılmalıdır. Pilot ölçekli çalışmalarla tüm değişkenlerin birbirleriyle ilişkileri incelenerek, filtrasyon için en uygun çalışma koşulları belirlenebilir (Yao Kuan Mu, 1971).

Giriş karakterizasyonu yapabilmek için,

- Giriş AKM konsantrasyonunun değişim aralığı (ki bu değer aktif çamur arıtma tesisleri çıkışında 6-30 mg/lit arasında değişir.)
- Partikül boyutu ve dağılımı (AKM'deki partiküller)
- Yumak dayanıklılığı belirlenmelidir.

Genellikle çökmüş bir atıksuda partikül boyutu 0-15 µm ile 50-150 µm arasında değişir. Ama 500 µm'den büyük partiküllerde bulunabilmektedir (Koning vd. 2008).

Partikül boyutu değıştikçe tutulma mekanizması da değışir. Verilen bir filtre uygulamasında filtre hızı yumak dayanıklılığına ve filtre malzemesinin boyutuna bağıdır. Eğer yumaklar güçsüzse yüksek hızda sürüklenme oluşur. Filtre hızlarının 80 ile 320 lt/m² dak (5-20 m³/m²saat) arasında olmasının çıkış kalitesine zarar vermediğı tespit edilmiştir (Metcalf & Eddy, 2003).

3.3 Filtrasyon Esnasında Oluşan Reaksiyon Çeşitleri

Kimyasal reaksiyon: Filtrasyon sırasında ortam koşullarına bağı olarak bazı kimyasal reaksiyonlar gerçekleşebilir. Demir ve mangan oksidasyonu filtrasyon sırasında oluşan kimyasal reaksiyonlara örnek olarak verilebilir.

Biyolojik Reaksiyon: Filtre yatağında yaşayan mikroorganizmalar biyolojik faaliyet gösterirler. Besin maddesi olarak atıksudaki organik maddeleri kullanan mikroorganizma, kazandığı enerjinin bir kısmını asimilasyon (bünyeye alma), bir kısmını ise disimilasyon (enerji temini) amacıyla kullanır. Amonyum da nitrifikasyon bakterilerinin yardımıyla okside olarak önce nitrit ve sonra nitrata dönüşür (Butturini vd. 2000), (Fitch ,1999).

3.4 Filtrelerde Yük Kaybı

Filtrasyon sırasında filtre malzemesi arasındaki boşluklardan geçen su belirli miktarda hidrolik yük kaybına yol açar. Filtre operasyonu sırasında giderilen askıda katı madde parçacıklarının tane yüzeylerinde ve/veya tane aralıklarındaki boşluklarda birikmesi sonucu, suyun geçeceği boşluklar daralacak ve hidrolik yük kaybı artacaktır.

Hidrolik yük kaybı hesabı için genellikle Carman-Kozeny denklemi kullanılır:

$$H_o = \frac{180\nu}{g} \cdot \frac{(1 - p_o)^2}{p_o^3} \cdot \frac{V}{d_h^2} \cdot L \quad (3.1)$$

Carman-Kozeny denklemi ancak laminar akım için geçerlidir. Kumun dane çapı 0.5 mm ile 1.0 mm arasında değışen ve normal filtre hızlarında çalışan filtreler için

başlangıçtaki temiz filtre yük kaybının bulunması için yukarıdaki denklem kullanılabilir (Camp 1964), (Camp vd.1971).

Burada

- H_0 :Filtre yatağının başlangıçtaki yük kaybı, m
 ν :Kinematik viskozite, m^2/sn
 p_o :Temiz filtre yatağının porozitesi
 V :Filtrasyon hızı, m/sn
 d_h :Filtre malzemesinin hidrolik çapı, m
 L :Yatak derinliği, m

$d_h = \phi \cdot d_s$ = Malzemenin hidrolik çapı

d_s :Spesifik dane çapı,

ϕ :Şekil katsayısı

Atıksu arıtımında ise genellikle büyük çaplı filtre malzemesi kullanılır ve filtre yıkanması sırasında büyük hızlar oluşur. Bu durumda akım laminar bölgeden çıkar ve laminar bölge ile türbülanslı bölge arasındaki geçiş bölgesine girer. Bu durumda yük kaybı hesabı için Sabri Ergun denkleminin kullanılması uygun olur. Bu denklem laminar bölge, geçiş bölgesi ve türbülanslı bölgeyi içine alan bir denklemdir.

$$\frac{H}{L} = 150 \cdot \frac{\mu}{\rho \cdot g} \cdot \frac{(1 - p_o)^2}{p_o^3} \cdot \left[\frac{S_v}{6} \right]^2 \cdot V + 1,75 \cdot \frac{(1 - p_o)}{p_o^3} \cdot \frac{S_v}{6} \cdot \frac{V^2}{g} \quad (3.2)$$

S_v , spesifik yüzey alanı olup birim hacme düşen dane yüzey alanını ifade etmektedir.

H , yatak boyunca değişen yük kaybını gösterirken $\mu/\rho = \nu$ =kinematik viskozitedir.

3.5 Filtrasyon Teorisi

3.5.1.Filtrasyonu açıklayan teorik modeller

1-Küresel Tane Modeli (Muslu 1976)

$$\frac{S}{S_o} = \left(\frac{V}{V_o} \right)^{2/3} = (1 + \beta_y \sigma_v / f_o)^{2/3} \quad (3.3)$$

S : Kullanım sırasındaki özgül yüzeyi

S_o : Başlangıçtaki özgül yüzey

f_o : Temiz filtre porozitesi

β_y : Malzeme yerleşme sabiti

σ_v : Özgül birikinti (hacimsel olarak)

(σ_v - V_o) / (1-f_o): Bir tane başına düşen birikinti hacmi

Özgül yüzey S=A_f/V_f

A_f: Filtre yatağındaki tüm tanelerin yüzey alanı

V_f: Filtrenin toplam hacmi

2-Kapiler Model(Muslu 1976)

Bu modelde filtrenin birim yüzey alanında, yarıçapı r olan n adet kapiler borunun bulunduğu göze alınır. Filtrenin birim derinliği başına bu boruların uzunluğu l kabul edilirse;

$$f_o = \pi . r^2 . n . l$$

$$S_o = 2 . \pi . r . n . l \text{ olur. Bu durumda } \frac{S}{S_o} = (1 - \frac{\sigma_v}{f_o})^{1/2} \quad (3.4)$$

3-Başlangıçta küresel , daha sonra kapiler olan model :

$$S = S_o (1 + \beta \gamma \sigma_v / f_o)^{2/3} (1 - \sigma_v / f_o)^{1/2} \quad (3.5)$$

Boşluklar tamamen dolduğunda $\sigma_v = f_o$ (Bu pratikte mümkün olmaz)

Filtrenin birim derinliğinde, sudan uzaklaştırılan süspansiyon madde konsantrasyonu su içinde o anda mevcut konsantrasyonla orantılıdır.

$$-\frac{\partial c}{\partial l} = -\lambda c \quad (3.6)$$

Kozeny-Carmen denkleminde göre, filtre çalışmasının başlangıcındaki hidrolik eğim;

$$j_o = \frac{180v}{g} \cdot \frac{(1-f_o)^2}{f_o^3} \cdot \frac{V}{d_o} \text{ olup, burada } S_o = 6/d_o (1-f_o) \text{ formülü yerine konursa;}$$

$$j_o = \frac{180v}{g} \cdot \frac{(1-f_o)^2}{f_o^3} \cdot \frac{VS_o^2}{36(1-f_o)^2} \quad \text{ifadesi elde edilmektedir. Bu formül}$$

$$\text{düzenlenerek, } j_o = \frac{5v}{g} \cdot \frac{S_o^2}{f_o^3} V \quad \text{ifadesi elde edilir.} \quad (3.7)$$

$$\sigma_v = \gamma^l \sigma$$

σ_v = Hacimsel özgül birikinti

σ = Gravimetrik özgül birikinti

Herhangibir t anında filtrenin toplam L derinliğindeki H yük kaybı;

$$H = \int_0^L j \cdot dl$$

$$\alpha = \frac{\gamma' v \lambda_o C_o}{f_o} \text{ olmak üzere,} \quad (3.8)$$

$$H = \frac{j_o}{\lambda_o} \left[\frac{\alpha t}{1 - \alpha t} \cdot \frac{e^{doL} - 1}{e^{\lambda_o L} - \alpha t} + \ln \left(\frac{e^{\lambda_o L} - \alpha t}{1 - \alpha t} \right) \right] \quad \text{bulunur.} \quad (3.9)$$

λ_o : Temiz filtre katsayısı

λ : Filtre katsayısı

3.5.2 Filtre Verimini Etkileyen Faktörler;

Filtrelerde, derinlikle giderimin artması istenir, ancak bu şekilde giderim yapabilmek için filtre verimini etkileyen faktörleri bilmek gerekir.

Filtre içinden süspansiyon madde geçirildiğinde, genellikle (filtrasyon işlemine bağlı olarak) süspansiyon madde miktarı derinlikle azalır. Eğer filtre taneleri ve süspansiyon parçacıkları uniform ise azalma derinliğe bağlı ve logaritmik olacaktır.

Filtre verimini etkileyen faktörler;

1-Özgül Yüzey:

Özgül yüzey alanı, filtrenin birim hacmindeki tane yüzey alanıdır.

$$S = \frac{6(1-f)}{\psi \cdot d} \quad \psi : \text{Küresellik faktörü} \quad f: \text{Porozite} \quad d: \text{Dane çapı}$$

Daha köşeli malzemede porozite daha büyüktür. Küresellik faktörü arttıkça porozite azalır. Kum ve antrasit için porozite ve küresellik faktörü değerleri tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Kum ve antrasit için porozite ve küresellik faktörü değerleri

	Porozite (f)	Küresellik Faktörü (ψ)
Kum için	0,85	0,4
Antrasit için	0,7	0,5

Özgül yüzey formülünden görülebileceği gibi d azaldıkça S büyüyecektir, bu da verimin artması demektir. Sonuç olarak birbirini takip eden her tabakada daha küçük malzeme kullanmak, özgül yüzey alanını, dolayısıyla da giderim verimini arttıracaktır.

2-Filtre hızı:

Verimi arttırmanın diğer bir yolu da akım doğrultusundaki filtre hızını azaltmaktır. Filtre hızını inceleyebilmek için Yılmaz Muslu tarafından 1976 yılında yapılan çalışmada istif Edilmiş Malzeme Yığınları ve Yatakları Üzerindeki Akıma Tesir Eden Temel Faktörler araştırılmıştır. Bu faktörler şu şekilde özetlenebilir;

*Küresel Yüzey Üzerinde Akım Zamanı

$$t=2,6. \left(\frac{3\nu}{g}\right)^{1/3} \frac{(2\pi)^{2/3} a^{5/3}}{Q^{2/3}} \quad (3.10)$$

a: Kürenin yarıçapı

ν :Suyun kinematik viskozitesi

g:Yerçekimi ivmesi

- Üstüste n tane küre üzerinde akım zamanı;

$$t = 6,5263.10^{-2}.n. \frac{a^{5/3}}{Q^{2/3}} \quad (3.11)$$

*Dikdörtgensel düzende dizilmiş kürelerden oluşan bir silindirik yatakta akım zamanı;

$$t = \frac{1,295.10^{-2}}{a^{2/3}} \cdot \frac{H}{Q_A^{2/3}} \quad (3.12)$$

Q_A :Hidrolik yükleme ($m^3/m^2/dak$)

a :Kürenin yarıçapı,

H :Yatak kalınlığı, m

*Karışık olarak dizilmiş küreler için akım zamanı

$$t = 0,312H \left(\frac{S}{Q_A} \right)^{2/3} \quad (3.13)$$

Biyolojik arıtım istenen filtrelerde akımın dispersiyonu giderim üzerinde önemli bir rol oynar. Bu çalışmada dispersiyon eğrileri çizilerek, dispersiyonu karakterize eden parametreler değerlendirilmiştir. Bu amaçla üç farklı zaman tanımlanmıştır.

T_G : Ortalama kalış süresi

T_P :Model süresi

T_D :Teorik bekletme süresi

Bu zamanları

- 1) Sıvının yüzey gerilimine bağlı
- 2) Partikül boyutu, porozite ve yatakla ilgili diğer fiziksel özelliklere bağlı
- 3) Hidrolik değerlere bağlı olarak ifade edilebilecek matematiksel ifadeler geliştirilmiştir.

Model gelişigüzel dizilmiş küreler üzerindeki doymamış akımı inceler. Akım, küreler arasındaki dikey alanlarda ince bir film tabakası şeklinde ilerler. Küreler arasındaki akımın belli bir düzeyin üstünde olması halinde, üst kürelerden kopan akım, alt kürelere doğru jetler halinde ulaşır.

Jet oluşumu yüzey gerilimine bağlıdır. Burada kritik bir debi (veya akış hızı) sözkonusudur. Kritik hızın altında kalındığında jet bölünür, su damlalar halinde diğer küre katmanına ulaşır. Bu teorem ile filtrelerde doymamış akım ifadesi açıklanabilir.

Bütün olay, suyun bir küreden diğer küreye damlacık mı, yoksa jet şeklinde mi geçtiğiyle ilgilidir.

Bir küre üzerindeki akımın hız profili yatay yönde uniform olan bir paraboldür. Bu sayede, akım mekanizmasını karakterize etmek mümkün olur ve çözeltinin filtre yatağı içindeki dispersiyonunu etkileyen dolgu malzemesine ve sıvı özelliklerine bağlı parametreler ifade edilebilir.

t_G zamanı, ortalama akım hızı esas alındığında çizilen eğrinin altında kalan alanın ağırlık merkezini gösterir ve küresel yüzey üzerindeki akış süresi t_s ile jet halinde akış süresinin t_j 'nin toplamından oluşur.

$$T_G = t_s + t_j \quad (3.14)$$

Bir de model zamanı (model time) vardır ki küre üzerindeki laminar akımın max hızının $2/3$ 'ü ile orantılıdır. Bu sırada jetin yatay hızı uniform kabul edilir. Bu durumda model zamanı;

$$T_p = 2/3 t_s + t_i \text{ dir.} \quad (3.15)$$

Eğer $S \gg 1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ gibi çok küçük malzeme söz konusuysa veya $S=0$ ise $t_G=t_s$ olmaktadır.

3.6 Filtrasyon Süresi ve Geri Yıkama

Bir hızlı filtrenin temizlenmesi, tüm yatağı akışkanlaştırmaya yetecek bir hızla sürekliliği olan yukarı akışlı geri yıkama ile yapılır. Akışkanlaşmanın sağlandığı anda geri yıkama akımın tanecik üzerinde oluşturduğu sürtünme kuvveti, taneciğin ağırlığına eşittir ve akım içinde askıda kalmasını sağlar.

Sabit yatak yük kaybı, minimum akışkanlaştırma hızı ve yatağın genleşme miktarı, filtrelerin geri yıkanmasında dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir.

Filtrasyon operasyonu iki ana fazdan oluşur; filtrasyon ve geri yıkama. Geri yıkama filtrasyon işleminin sürekli veya yarı sürekli oluşuna göre değişir. Adından da anlaşılacağı gibi yarı kesikli sistemde filtrasyon ve geri yıkama birbirini takibeder. Sürekli sistemde ise her ikisi aynı anda oluşur. Filtrasyon operasyonunda filtrasyon fazı ile geri yıkama fazı arasındaki ilişki pek çok farklı parametreye bağlıdır. Aşağıda bu ilişki açıklanmaya çalışılacaktır.

Bir hızlı kum filtresinde filtre malzemesi arasında tutulan madde miktarı arttıkça porozite ve dane çapı değişir, yük kaybı artar. Hızlı bir kum filtresi için iki zaman çok önemlidir;

--Çıkış suyu kalitesinin standartları sağladığı T_q filtre süresi

--Filtrede yük kaybının müsaade edilen en büyük değere eşit olduğu filtre süresi, T_r

Bu iki değer birbirine uygun olacak şekilde filtre dizayn edilmelidir. Bu değerler ,

a)Arıtılacak suyun fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerine,

b)Filtre hızı ve filtre yatağının özelliklerine (yatak kalınlığı, malzeme dane çapı, büyüklük dağılımı gibi) bağlıdır (Berruti vd. 1987, Bhargava vd. 1989, François vd. 1985, Cleasby vd. 1975).

Filtre özellikleri öyle seçilmelidir ki $T_q > T_r$ ve T_r =Geri yıkama süresi olmalıdır. Çünkü filtre çıkış suyu özelliklerini ölçmek, filtrede oluşan yük kaybını ölçmekten daha zordur ve filtrede yük kaybı izin verilen maksimum değere ulaştığında geri yıkama yapılmalıdır (Amirtharajah Appiah 1978).

Geri yıkama esnasında su ile birlikte hava da verilebilir. Geri yıkama suyu ön çöktürme havuzuna veya biyolojik arıtma ünitesine verilebilir.

****Filtrelerde Geri Yıkama Konusunda yapılan Çalışmalar;***

Bir filtreyi etkili olarak yıkamak için yatak bütün taneleriyle birlikte akışkan hale gelerek süspansiyon haline geçmelidir (Camp, 1964). Bu esnada tanelerden ayrılan birikintilerin yıkama kanallarına gidecek kadar da zaman olmalıdır. Bu halde filtre

tanelerinin etrafındaki akımda sürtünme sebebiyle basınç kaybı, tanelerin su içindeki ağırlığına eşittir.

Geri yıkama sırasında dle boyundaki sürtünme kaybı, γ_{dhe} olursa, geri yıkama sırasındaki birim uzunluktaki yük kaybı,

$$dhe/dle = j = (\rho_t - \rho) / \rho \cdot (1-f_e) \quad (1) \quad (3.16)$$

dhe, dle kalınlığındaki yük kaybıdır.

Geri yıkama suyunun v_w hızı, taneli malzeme içindeki bir boyutlu akıma ait yük kaybını veren Kozeny-Carman ifadesi (1) formülüne eşitlenerek bulunur.

$$j = \frac{i \cdot \psi^2 v}{g} \cdot \frac{(1-f_e)^2}{f_e^3} \cdot \frac{v_w}{d_o^2} = \frac{\rho_t - \rho}{\rho} \cdot (1-f_e) \quad (3.17)$$

Ancak $i \cdot \psi^2$ lineer olmayan akım bölgesinde Reynolds sayısının fonksiyonudur ve v_w bilinmedikçe bulunamaz. Ayrıca f_e , taneler tam olarak süspansiyon hale geçinceye kadar bilinmeyen olarak kalır.

Huisman, geri yıkamada $30 \cdot 10^{-3}$ m/sn'yeye kadar büyük hızların kullanıldığını ve bu hız sınırlarında akımın laminar ve türbülanslı bölge arasında, yani geçiş bölgesinde bulunduğunu belirtmiştir. Bu bilgilerden yararlanılarak yük kaybı için şu amprik ifadeyi geliştirmiştir;

$$H = 150 \frac{v^{0,8}}{g} \cdot \frac{(1-f)^{1,8}}{f^3} \cdot \frac{v^{1/2}}{d^{1,8}} \cdot L \quad (3.18)$$

Geri yıkama esnasında belli bir hızdan sonra yük kaybı sabit kalacaktır. Bu durum, H yük kaybının tanelerin sudaki ağırlığına eşit olması halinde meydana gelir.

Huisman'a göre genişmiş yatağın porozitesi;

$$fe = 3,07 \cdot \frac{v^{1/4,5}}{g^{1/3,6}} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_t - \rho} \right)^{1/3,6} \frac{V_w^{1/3}}{d^{1/2}} \text{ dir.} \quad (3.19)$$

$$v^{1/4,5} \cong \frac{1}{20,2(0,94 + 0,006t)} \quad (3.20)$$

Huisman'a göre su sıcaklığı ile kinematik viskozite arasındaki ilişki 3.20 formülü ile verilmektedir. Su sıcaklığı arttıkça aynı miktar yatak genişmesi için daha büyük yıkama hızları gerekir.

$$F_b = V_p \cdot g \cdot \rho_m \quad (3.21)$$

$$\text{Camp'e göre } \rho_m = (1-f_e) \cdot 2,65 + f_e \cdot 1 = 1,5 - (3M^2/4 \cdot l \cdot g d^3) C_D \cdot Re^2 \quad (3.22)$$

Su sıcaklığı 20°C

$\mu / \rho = 0,01 \text{ cm}^2/\text{sn}$ (Stokes)

$Re \leq 0,5$ ise $C_D = 24/Re$ ve kömür parçacıklarının $d \leq 1 \text{ mm}$ olduğu kabul edilirse, $f_e \sim 0,7$ bulunur.

$d \leq 1 \text{ mm}$ olduğu kabul edilirse $f_e \geq 0,7$ elde edilir. Yani kömür parçacıklarının kum ile karışarak akışkan hale gelmesi için genişmiş yatağın porozitesi bu değerden büyük olmalıdır.

Farklı malzemelerden meydana gelmiş bir filtrenin akışkan hale gelmesi durumunda porozitenin f olduğu seviyede genişmiş yatağa ait özgül kütle

$$P_m = p_1 \cdot \rho_1 + p_2 \cdot \rho_2 + f_e \cdot P \quad \text{olur.} \quad (3.23)$$

p_1 :Özgül kütlesi ρ_1 olan ağır tanelerin hacim oranı

p_2 :” “ ρ_2 “ “ “

ρ :Sıvı özgül kütlesi

****Partikül Boyutunun ve Diziliminin Filtre Giderim Verimine Etkisinin İncelendiği Çalışmalar***

Yılmaz Muslu tarafından 1987 yılında yapılan çalışmada şekil faktörü ve sıkıştırma miktarının, filtrasyon kapasitesi üzerindeki etkisi bir matematik model üzerinde açıklanmıştır.

Bu çalışmada adı geçen parametrelerin tahmini için bir matematik model oluşturulmaktadır. Model ile sıkıştırma derecesi ve küresellik oranının etkisi, iki sabit ile belirlenmeye çalışılmıştır. Model, akışkan içindeki belirli bir katı hacmin etrafından geçen paralel akımı inceleyen, sınır tabaka teorisi üzerinde kurulmuştur. Bu sayede akışkanlaşma sırasındaki akımın fiziği ve yuvarlaklığının akışkanlaştırma üzerindeki etkisi daha iyi anlaşılacaktır.

Küresel taneciklerin başlı başına iki önemli dizilimi vardır;

1-Ortogonal veya kübik (Max boşluk alanı)

2-Rombik veya rombohedral (Min boşluk alanı)

Aslında filtre içinde çok karmaşık ve farklı dizilimler vardır. Ancak yapılan çalışmalarda çoğunlukla rombik kolonilere rastlanmıştır. Bu nedenle modelde küre merkezleri arasındaki uzaklığın, gözlenen poroziteye göre belirlendiği rombik dizilim kabul edilmiştir. Rombik bir dizilim ele alındığında, akım, küreler arasındaki boşluklardan oluşacaktır. Bu durumda toplam debi, bu geçilebilir boşluklardaki Q akımlarının toplamıdır ve şöyle ifade edilebilir.

$$Q_t = w^1 \cdot n \cdot Q$$

w^1 : Boşluk sabiti (0-2)

n : Bir katmandaki tanecik sayısı

Sıkıştırma oranı, poroziteyi büyük oranda etkiler. Boşluk yapısı bu esnada Şekil 1'dekinden çok farklı da olabilir. Örneğin taneciklerin kendi halinde düşüme bırakıldığı, gevşek bir sıkıştırma durumunda akışkanlaştırma halinde w^1 , 1 ile 2 arasında değerler alır. Buna rağmen eğer yatak mekanik olarak vibrasyon ile yerleştirilirse veya geri yıkama vanası yavaş yavaş açılarak taneciklerin yavaş hareketi sağlanırsa, daha düşük poroziteler elde edilecektir. Bu durumda 1'den küçük w^1 değerleri elde edilir. İdeal dizilim hali kabul edildiğinde w^1 , 1'den küçüktür. Küresel olmayan , uniform olmayan , çok küçük çaplı tanecikler için w^1 , 1'den küçüktür.

Her bir boşluk içindeki debi Q şöyle ifade edilebilir;

$$Q = 3 \int_{r=0}^{r=r_e} v\left(\frac{\pi}{3}\right) r dr + 3 \int_{r=r_e}^{r=r_l} v(2r\phi) dr \quad (3.24)$$

$$r_l/r_e = 2/(3)^{1/2}$$

v = Yerel hız (Tanımlanan düzlemin herhangi bir yerinde)

$r_e = d_e/2$ (Kürenin yarıçapı)

Eğer komşu taneciklerin etkisini simgeleyen sabiti dikkate alırsak; v , basit bir küre etrafındaki akımın hızı da bulunabilir. Lineer akım rejimi için Stokes Kanunu kullanılarak hesaplanan hız, yerine konularak yukarıdaki integral alınabilir.

Yüksek hızlı akımlar için ise Scholkemeier'in sınır tabaka teorisi kullanılarak 4 nolu formül integre edilirse, Toplam debi;

$$Q_t = w_n F_l V_\infty a^2 \quad (3.25)$$

şeklinde ifade edilebilir.

F : Porozitenin bir fonksiyonudur.

V_∞ : Sonsuz akım içinde basit bir küre etrafındaki paralel akıma ait durağan hız

R : Reynolds sayısı $(2 V_\infty a / (\mu/\rho))$

μ : Dinamik viskozite

ρ : Akışkanın kütleli yoğunluğu

w :Burada hem boşluğu simgeleyen, hem de komşu taneciklerin etkisini simgeleyen ortak bir sabit

Toplam yük kaybı Δh_t ise $j = \Delta h_t / s$ hidrolik dağılımını verir. Burada s, yatak kalınlığıdır. Sürtünme nedeniyle birim uzunluk başına basınç düşümü $\Delta p / s = \gamma \cdot j$ olur. Toplam dayanım kuvveti

$$F_R = (\Delta P) A = \psi_R n D \quad (3.26)$$

Burada ψ_R :Yuvarlaklık faktörü n :tanecik sayısıdır.

D ise sonsuz bir sıvı içindeki küresel taneciğe etki eden kaldırma kuvvetidir.

$$D = C_D \rho \pi a^2 \frac{V_\infty^2}{2} \quad (3.27)$$

C_D :Kaldırma kuvveti katsayısı

ψ_R : Partikülün çevresindeki akımın şekli, dolayısıyla Reynolds sayısına bağlı katsayıdır. Deneysel çalışmalara göre küresel tanecik için

$6 \leq Re \leq 125$ için $\psi_R = 1$ dir. Doğal malzeme kullanıldığında bu formül şu şekilde değişir.

$$D = C_D \rho \psi_R \pi a_{eq}^2 \frac{V_\infty^2}{2} \quad (3.28)$$

Burada a_{eq} :Küresel tanenin eşdeğer hacminin yarıçapı

Burada ψ_R , küreselliğe bağlı bir katsayı, ψ ise şekil faktörü olarak verilmiştir. Bu iki değer arasında için $\psi_R = \psi \cdot F_2$ gibi bir oran vardır. F_2 , Reynolds sayısının bir fonksiyonudur.

$Re \leq 125$ ise için $\psi_R = \psi = 1$ dir.

$$\text{Hidrolik eğim } j = \frac{\lambda V_f^2}{d 2g} \quad (3.29)$$

$$j = \frac{\psi}{w^2} \frac{12,06.F_2 C_D}{(1-\varepsilon)^{1/3} F_1^2} \quad (3.30)$$

C_D :Küresel tanecik için kaldırma kuvveti katsayısı

V_f :Filtre hızı

g :Yerçekimi ivmesi

λ :Sürtünme kuvveti faktörü

Aynı yol izlenerek lineer akım için aşağıdaki denklemler oluşturulabilir.

$$V_f = \rho g \frac{w}{\psi} k_i \frac{d^2}{\mu} j \quad (3.31) \quad k_i = 10^{-4} f(\varepsilon) \quad (3.32)$$

$$\lambda = \frac{2}{\frac{w}{\psi}} k_i R \quad (3.33) \quad R = \frac{2aV_f}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)} \quad (3.34)$$

3.7 Atıksu Arıtımında Filtrasyon Uygulamaları

Atıksu arıtımında filtrasyonun en çok kullanıldığı durum ikincil arıtma çöktürme havuzlarından sonra kalıntı biyolojik flokların tutulması işlemidir. Çıkış suyu kalitesi oldukça yüksek olduğundan bitki yetiştirme, park ve bahçe sulama gibi çeşitli alanlarda atıksuyun geri kazanımı da mümkün olmaktadır.

Filtreleri dizayn edebilmek ve performanslarını belirleyebilmek için

- 1) Prosesi kontrol eden değişkenler anlaşılmalı,
- 2) Partiküler maddenin giderilmesinde esas olan prosesler tespit edilmelidir.

Filtre malzemesi olarak aktif karbon da kullanılabilir. Tek malzemeli, üniform 2-3 mm çapında malzemesi olan 2 m uzunluğunda filtreler de pilot çalışmalarda kullanılmaktadır. Filtre malzemesi seçerken etkin çap, uniformluk katsayısı, yoğunluk, çözünabilirlik, sertlik gibi filtrasyon açısından önem taşıyan malzeme özellikleri belirlenmelidir.

Aşağıda ham evsel atıksu özellikleri ve filtrasyondan sonra elde edilen çıkış konsantrasyonları tablolarla karşılaştırılarak, filtrasyon uygulamalarında elde edilen giderim verimleri hakkında bilgi verilmiştir. Arıtma uygulanmamış tipik bir evsel atıksuya ait özellikler Tablo 3.3’de verilmiştir;

Tablo 3.3 Ham Evsel Atıksu Özellikleri (Metcalf & Eddy ,2003)

Kirletici Parametre	Birim	Konsantrasyon		
		Düşük	Orta	Yüksek
TAKM	mg/lt	100	220	350
Kalıcı	mg/lt	20	55	75
Uçucu	mg/lt	80	165	275
Toplam Azot	mg/lt	20	40	85
Organik Azot	mg/lt	8	15	35
Serbest Amonyak	mg/lt	12	25	50
Nitrit	mg/lt	0	0	0
Nitrat	mg/lt	0	0	0

İkinci kademe arıtmayı takiben filtrasyon kullanıldığında beklenen çıkış konsantrasyonları Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4 Aktif Çamur+ filtrasyon sistemiyle elde edilen çıkış konsantrasyonları (Metcalf ve Eddy ,2003)

Arıtma Prosesi	AKM (mg/lt)	BOI ₅ (mg/lt)	KOI (mg/lt)	Toplam Azot (mg/lt)	NH ₃ -N (mg/lt)	PO ₄ (mg/lt)	Bulanıklık (mg/lt)
Aktif Çamur+ Filtrasyon	4-6	<5-10	30-70	15-35	15-25	4-10	3-5

Yukarıda verilen evsel atıksuya ait kirletici parametrelerin pek çoğu ön arıtma, birinci kademe arıtma ve ikinci kademe arıtma kademeleri sonunda büyük ölçüde giderilmektedir. Ancak ikinci kademe arıtma sonuna gelindiğinde hedeflenen arıtma veriminin tüm parametreler için sağlanması bazı durumlarda mümkün olamamaktadır. Özellikle amonyum için giriş akımındaki ani değişimler ve pik yüklemeler çıkış konsantrasyonlarına yansımaktadır. Tablo 3.3’de görüleceği gibi ham evsel atıksu için serbest amonyak parametresi toplam azot parametresinin yaklaşık %60’ını oluşturmaktadır. Bu çok yüksek bir orandır ve çıkış amonyak konsantrasyonunun kontrol altında tutulması konusunda gösterilmesi gereken hassasiyeti vurgulamaktadır.

Tablo 3.4’de görüldüğü gibi sadece aktif çamur+filtrasyon sistemi için çıkış amonyak konsantrasyonu 15-25 mg/lt arasında değişmektedir. Ham evsel atıksu için amonyak konsantrasyonunun ortalama değerinin 25 mg/lt olduğu düşünülürse amonyak gideriminin çok az olduğu görülmektedir. Fakat AKM için filtrasyon sonunda ham evsel atıksuda 220 mg/lt olan ortalama AKM konsantrasyonu, birinci kademe arıtma sonunda 120 mg/lt civarına düşerken, aktif çamur çıkışında 30-40 mg/lt olmaktadır. Tablo 3.4’de belirtildiği gibi, filtrasyona tabii tutulduktan sonra ise AKM konsantrasyonunun 4-6 mg/lt’ye kadar düştüğü görülmektedir. İyon değişimi ve filtrasyonun birlikte gerçekleştiği çok amaçlı filtrenin, istenen düzeyde amonyum giderim verimi sağlarken, AKM giderimi konusunda da beklenen düzeyde verim sağlaması gerekir. Bu yüzden oluşturulacak çok amaçlı filtre sistemi içinde etkin

olan proseslerin karşılıklı etkileşimleri dikkatle takip edilmeli, hem amonyumun, hem de AKM'nin en etkin gideriminin sağlandığı ortak koşullar belirlenmelidir.

Atıksu filtrasyonu konusunda yapılan çalışmalarda atıksu özelliklerine, kullanım amacına ve filtre malzemesi özelliklerine bağlı olarak çok farklı işletim parametreleri kullanılmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalar tablo 3.5'de kısaca özetlenmiştir.

Tablo 3.5 Literatürde Filtrasyon ile Atıksu Arıtımı Konusunda Yapılan Çalışmalar

Referans	Atıksu Özellikleri	Malzeme Özellikleri	Filtre Özellikleri	Filtrasyon Hızı
Williams 2007	2-15 μ m Patojen içeren atıksu	$d_{10}=1,22$ antrasit $d_{10}=0,62$ kum	1,2 m antrasit + 0,3 m kum filtre	12 m/saat
Adou 2007	Atıksu	2,8-3,5 mm	40-80 cm yükseklik, 3 cm çaplı kolon	0,5-3,5 l/saat
Tebbutt 1970	Giriş AKM 30-40 mg/lt	1-2 mm ve 2-4 mm dane çapı	0,6 m	100-500 m/gün
Petala 2006	23 NTU Giriş atıksu kons.	0,6-1,2 mm kum	Çap 2,5 m Yükseklik 2 m	10 m/saat
Jimenez 2000	Giriş AKM Kons 20 mg/lt	1,2 mm kum		10 m/saat
Ellis 2003		0,3 mm kum	Çap 14 cm Yükseklik 0,95 m	3-7 m/gün
Salgot 1996			1,5 m derinlik 565 m ² yüzey alanı	0,16-0,35 m/gün
Li Xiao Ming 2007		0,3-0,9 mm	Yükseklik 0,5m Çap 4 cm	0,5-3 m/saat

Biyolojik havalandırılmalı filtreler, özellikle yer sınırlı olduğunda tercih edilebilecek etkin proseslerdir. Kombine BOI, AKM ve amonyum giderimi bu filtreler sayesinde sağlanabilir. Bu filtrelerde verimi etkileyen önemli faktörlerden biri tane boyutudur. Moore ve diğ. (2001) tarafından yapılan çalışmada 1,5-3,5 ve 2,5-4,5 mm'lik iki farklı boyut aralığında tane dağılımı denenmiştir. Kullanılan malzeme starlight-C

isimli bir tür kildir. Her iki boyut aralığı için de 12 kg/m^3 .gün KOI ve 4 kg/m^3 .gün AKM yüklemelerine kadar iyi sonuçlar vermiştir. En kararlı çıkış suyu kalitesi düşük boyutlu kısımda $0,41 \text{ lt/dak}$ 'nın üzerindeki debilerde elde edilmiştir.

Büyük partiküllü filtre için geri yıkamadan 30 dak sonra çıkış suyu kalitesi kararlı hale gelmiştir. Büyük boyutlu partikül kullanılan filtrede, küçük boyutluya göre %70 daha uzun zamanda limit yük kaybı değerine gelinmiştir. Küçük taneli filtrede basınç artışı lineer değil, logaritmik olmuştur. Filtrelerin 2-3 m'den daha derin yapılmasının AKM giderimi üzerinde etkisinin olmadığı görülmüştür. Küçük boyutlu filtre için $1,7 \pm 0,3$ m'lik derinlik, büyük boyutlu için $2,1 \pm 0,3$ m'lik derinlik, optimum olarak tespit edilmiştir. AKM giderim verimi ve yük kaybı açısından değerlendirildiğinde, küçük boyutlu filtrenin daha az performansa sahip olduğu tespit edilmiştir (Moore, 2001).

Gerçeğe uygun bir scale-up çalışması olması için filtrasyonda duvar etkisinin minimuma indirilmesi gerekir (Stevenson, 1997). Duvar etkisini minimuma indirmek için partikül boyutu ile kolon çapı arasında uygun bir oran olması gerekir. Bu oranın doğru olarak saptanması konusunda yapılmış bir çalışma incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı özellikle pilot ölçekli çalışmalarda istenen verimin sağlanacağı minimum kolon çapını belirleyerek pilot çalışma maliyetini düşürmektir. Çünkü pilot çalışma da oldukça yüksek maliyet gerektirir.

Verilen bir yükleme hızının, temiz bir filtredeki yük kaybını karşılaması, ancak şu engelleri aşarak mümkün olmaktadır; Filtrasyon ortamının geometrisi, malzemenin etkin çapı, şekli, boyut dağılımı, akışkan viskozitesi, yatak yüksekliği, yatak porozitesi ve D/d oranı(Filtre çapı/malzeme çapı) (Lang 1993, Ghosh 1967).

Geri yıkamada D/d oranı küçüldükçe geri yıkama zorlaşır. Çünkü kolon çapı daraldıkça geri yıkama sırasında malzeme tek tek tanecikler halinde değil, bir piston gibi yukarı itilir. Geri yıkama musluğunun tek bir seferde hızla kapatılması da malzemenin eski haline dönmesini güçleştirir. Çünkü porozite artar. Yavaş kapama ile malzeme daha iyi yerleşerek oturur.

4. ZEOLİTLER VE ÖZELLİKLERİ

Tez kapsamında iyon değiştirici malzeme olarak doğal bir zeolit türü olan klinoptilolit kullanılacaktır. Bu bölümde çok farklı özellikleri olan zeolitlerin fiziksel ve kimyasal yapıları ve kullanım alanları açıklanmış, klinoptilolit ayrıntılı olarak ele alınarak iyon değişimi özellikleri vurgulanmıştır.

4.1 Zeolitler, Yapıları ve zellikleri

Doğal zeolitler, yüksek katyon değiştirme kapasiteleri olan alümino silikat mineralleridir. Elliden fazla zeolit türü mineral grubu tanımlanmıştır (Tsitsishuili ve diğ. 1992). Bir zeolit mineralinin özellikleri , orijinine dayanır ve oluşumu esnasında meydana gelen proseslerin bir sonucudur (Mondale ve diğ. 1995).

İyon değiştiricilerde reğine olarak genellikle sentetik reğineler, dayanıklılıkları nedeniyle tercih edilirler. Ancak özellikle atıksulardan amonyak gideriminde zeolitler doğal reğine olarak kullanılmaktadır. Çünkü zeolitler, yüksek giderim verimlerinin yanında çok ekonomiktirler. Birçok farklı çeşit doğal zeolit atıksu arıtımında amonyum gideriminde kullanılmaktadır. Farklı zeolitlerin amonyum değişim kapasiteleri incelendiğinde klinoptilolitin en yüksek değişim kapasitesine sahip olduğu belirlenmiş, diğerleri için ise çok farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Doğal zeolitler, değişik türde jeolojik yapılar ve kayaçlarda oluşmakta ve özellikle volkanik bölgelerde, bunun yanısıra tortul kayaçlarda bulunmaktadır. Türlerin oluşumları kayanın yapı ve bileşimine, çatlaklardaki suyun kompozisyonuna, sıcaklığına ve zamana bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Genellikle gözenek suyunun, katı almnosilikatlarla (volkanik cam, feldispat, kil mineralleri vb) reaksiyona girmesi sonucu meydana gelmektedir. Oluşumunu tamamlayan bir zeolit, bir başka tür zeolit oluşumuna yardımcı olabilmekte ve fiziksel ve kimyasal çevrenin değişimi sonucunda veya daha kararlı bir zeolit oluşumu için yeter sürenin

bulunması ile ortaya çıkmaktadır (Aydos, 1994). Zeolitler genellikle sedimenter kayalardan ve volkanik sedimentlerden oluşurlar. Zeolitlerin gram başına 3-4 meq'a kadar çıkabilen çok iyi iyon değiştirme kapasitelerine sahip oldukları bugüne kadar yapılan çalışmalarla belirlenmiştir (Hedström, 2001).

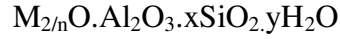
Tuzluluk, pH, suda çözünmüş iyon konsantrasyonu, basınç ve sıcaklık zeolit oluşumu sırasında mineral içeriğini etkilemektedir. Doğada bulunan 40'a yakın zeolit mineralinin yaklaşık yedi tanesi; mordenit, klinoptilolit, ferrit, şabazit, eriyonit, flipsit ve analsim sedimenter kayalarda yeteri kadar saflıkta ve miktarda bulunmaktadır.

Bunun yanında son kırk yılda yaklaşık olarak 150'nin üzerinde zeolit çeşidi yapay olarak sentezlenmiştir. Endüstriyel alanda kullanımı olan doğal ve sentetik zeolitler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Endüstriyel kullanımı olan zeolitler ve özellikleri (Barrer, 1978)

Zeolit Türleri	Gözenek Boyutu	Si/Al Oranı
<i>Doğal Zeolitler</i>		
Modernit	6.7x7.0	4.1-5
Şabazit	3.6x3.7	1.6-3
Eriyonit	3.6x5.2	2.9-5.25
Klinoptilolit	4.4x7.2, 4.1x4.7	4.25-5.25
<i>Yapay Zeolitler</i>		
KA	3	1
NaA	4	1
CaA	5	1
X	7.4	1-1.5
Y	7.4	1.3-3
Mordenit	6.7x7	5
ZSM-5	5.4x5.6	15
Omega	-	3-4

Zeolitler, kristal yapılı, hidrate olmuş alkali ve toprak alkali alüminosilikatlardır. Kristal yapıları üç boyutlu atomik yapılardan oluşmaktadır. Zeolitler kristal yapılarını bozmadan su adsorblayıp desorplayabilirler ve yapıdaki bazı atomları değiştirebilirler. Zeolitler SiO_4 tetrahedrasının üç boyutlu yapılanmasıdır ve bu yapılanmanın dört köşesinin her birindeki oksijen atomu, bitişik tetrahedranın köşesi ile paylaşılmaktadır. Yapıdaki tetrahedronların her birindeki silis merkezde yeralıyorsa, zeolit, kuvarsta (SiO_2) olduğu gibi elektriksel açıdan nötr'dür. Zeolit yapılarda dört değerlikli silis, üç değerlikli alüminyumla değiştirilmiş olabilir. Bu takdirde pozitif yük eksikliği söz konusudur. Bu eksik bir veya iki değerlikli Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} gibi atomların yapıda yer alması ile giderilir. Bu görüşler ışığında ampirik bir zeolit formülü aşağıdaki gibi yazılabilir,



Burada “M” bir alkali veya toprak alkali atomunu, “n” söz konusu atomun yükünü göstermektedir. $x = 2-10$ arasında, $y = 2-7$ arasında değişen bir rakamdır. En yaygın doğal zeolitlerden birisi olan klinoptilolit’ in formülü

$(\text{Na}_3\text{K}_3)(\text{Al}_6\text{Si}_{40})\text{O}_{96}.24\text{H}_2\text{O}$ şeklindedir. Oksijenle birlikte zeolit yapısının rijit omurgasını oluşturmaları nedeni ile ikinci parantez içindeki atomlara “yapı atomları” denilmektedir.

Zeolitler, kompozisyonları açısından killere benzetilebilir. Her ikisi de hidrate alüminosilikatlardır. Fakat kristal yapıları çok farklıdır. Doğal zeolitler simetrik alümina ve silika tetrahedra yapılarıyla üç boyutlu bal peteklerine benzer yapıdadır. Negatif değerlikli açık ve boş gözeneklere sahiptirler. Killer ise çok küçük parçacıklı kristallerden oluşur ve bu özellikleri nedeniyle su ile temas edince kabarırlar ve adsorbsiyon yüzeyi artar (M. Rozic ve diğ. 2000).

Zeolitlerin kristal yapısının temel ögesi, Si ve Al dörtyüzlülerinin oluşturduğu birincil yapı üniteleridir. Birincil yapı ünitelerinin birleşmesi ile tek veya çift dörtlü, beşli, altılı dörtyüzlülerden oluşmuş halkalı ikincil yapı üniteleri ve ikincil yapı birimlerinin bir araya gelmesi ile çeşitli çok yüzlüler (polieder) meydana gelmektedir. Bu polieder ve ikincil yapı ünitelerinin üç boyutta değişik şekillerde

dizilmesi sonucu mikro gözeneklere sahip zeolit iskeleti ortaya çıkmaktadır. Polieder ve ikincil yapı ünitelerinin farklılığı veya aynı yapı ünitelerinin üç boyutlu farklı şekillerde bağlanmaları, değişik kristal yapısına sahip zeolit türlerinin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Kristal yapının değişmesi ise benzer kristal kimyasına sahip zeolit minerallerinin fizikokimyasal özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır (Esenli, 1999; Yücel, 1987).

4.2 Dünyada ve Türkiye’de Zeolit Rezervleri

Zeolit yatakları dünyanın pek çok yerinde bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak, Güneydoğu Avrupa, A.B.D, Avustralya, Yeni Zelanda, Rusya, Kore, Çin, Meksika, Güney Afrika, Tanzania, Moğolistan ve Kenya verilebilir. Dünya zeolit oluşumları Tablo 4.2’de özetlenmiştir.

Ülkemiz doğal zeolitler açısından ideal jeolojik ortamlara sahip olmasına rağmen, ilk defa 1971 yılında Gölpazarı-Göynük civarında analsim oluşumları saptanmıştır. Daha sonra Ankara’nın batısında analsim ve klinoptilolit yatakları bulunmuştur. Volcano tortul oluşumlarının gözlenebildiği ülkemizde daha çok klinoptilolit ve analsim türleri çoğunlukta olup, diğer türlere çok az rastlanmıştır. Türkiye’de detaylı etüdü yapılmış tek zeolit sahası Manisa Gördes civarındaki MTA ruhsatlı sahadır. Sahada 18 milyon ton görünür zeolit rezervi ve 20 milyon ton zeolitik tüf rezervi tespit edilmiştir. Balıkesir Bigadiç bölgesinde ise, Türkiye’nin en büyük zeolit yataklanmaları tespit edilmiş olup, kolaylıkla işletilebilir nitelikte yaklaşık 500 milyon ton rezerv 1995 yılı itibariyle tahmin edilmektedir. Diğer bölgelerde detaylı bir çalışma yapılmamış olup ülkemiz genelinde toplam rezervin 50 milyar ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. Ülkemizde kesin doğal zeolit rezervi çalışması bulunmamaktadır. Bunun başlıca nedeni, henüz bilinen zeolit oluşumlarının birçoğunda volkanikler içerisindeki zeolitik zonların sınırlarının belirlenmemiş olmasıdır. Ancak Gördes, Bigadiç , Emet, Kırka ve Karamürsel gibi bazı bölgeler için gerek zeolitli zonlar, gerekse kayalık içerisindeki zeolit oranları ile ilgili yapılan ayrıntılı çalışmalar, milyarlarca ton zeolitli tüf rezervini ortaya koymuştur. Özellikle Gördes ve Bigadiç’de kayalık içerisindeki zeolit oranı ortalama %80 civarındadır.

Tablo 4.2 Dünya zeolit oluşumları (DPT,1996)

ÜLKE	TÜRÜ	MADEN	OLUŞUM SAYISI	ÜLKE	TÜRÜ	MADEN	OLUŞUM SAYISI
Avrupa				Asya ve Avusturalya			
Belçika	Lamontit		1	İran	Klinoptilolit	1	
Bulgaristan	Klinoptilolit, Mordenit Analsim Natrolit	2	3 1 1 1	İsrail	Klinoptilolit		2
Çekoslovakya	Klinoptilolit	1	1	Pakistan	Analsim		1
Danimarka	Klinoptilolit		1	Avusturalya	Klinoptilolit Analsim		2 1
Finlandiya	Lamontit		1	Çin	Klinoptilolit	2	1
Fransa	Klinoptilolit		3	Formoza	Klinoptilolit Lamontit Analsim	1	1 1 1
Almanya	Şabazit	2		Japonya	Klinoptiloli Mordenit Analsim lamontitt	3 3	3 3 2 3
İngiltere	Analsim Klinoptilolit			Kore	Klinoptilolit	2	2
Macaristan	Lamonit Klinoptilolit Mordenit	2	1 1	Yeni Zelanda	Analsim Klinoptilolit Mordenit Lamontit Erionit	2 1 1 1	2 2 2 2 1
İtalya	Şabazit Filipsit Analsim	3 3	3 3 1	Okyanusya	Lamontit Klinoptilolit		1 1
Polonya	Klinotilolit	2		Güney Amerika			
Romanya	Klinoptilolit	2		Arjantin	Klinotilolit Analsim Lamontit	2	2 2 1
Eski Rusya	Klinoptilolit Mordenit Şabazit Analsim Lamontit	3 2	3 2 1 1 2	Şili	Klinoptilolit		1
İspanya	Klinoptilolit Mordenit		1 1	Kuzey Amerika			
İsviçre	Klinoptilolit		1 1	ABD	Klinoptilolit Şabazit Erionit Mordenit	12 4 2 1	
Yugoslavya	Klinoptilolit Analsim Mordenit Erionit	3 1 1	2 1 1 1	Kanada	Lamontit Klinoptilolit		2 1
Afrika				Küba	Klinoptilolit Mordenit	2 1	1
Angola	Klinoptilolit		1	Guatemala	Klinoptilolit	1	1
Botswana	Klinoptilolit		1	Meksika	Klinoptilolit Mordenit Analsim Erionit Filipsit	2 1	3 1 1 1 1
Kongo	Analsim	1		Panama	Klinoptilolit	1	1
Mısır	Hölandit		1	Batı hint adaları	Warakit Klinoptilolit		1 1
Kenya	Filipsit Erionit	1 1	1 1	Antartika			
K. Afrika	Analsim Mordenit Klinoptilolit	1 1	1		Lamontit filipsit		1 1
G. Afrika	Klinoptilolit Analsim	2	1				

Türkiye’de bilinen zeolit yöreleri ve bileşimleri ile ilgili detaylı bir çalışma, “Türkiye’nin Doğal Zeolit Kaynaklarının Teknolojik Değerlendirmesi” başlığı altında TÜBİTAK-DPT desteği ile yapılmıştır. Bu çalışmada genellikle yerbilimleri ağırlıklı çalışmalarda, zeolit karakterizasyonu ve uygulamaya yönelik çalışmalar derlenmiştir. 1995 yılına kadar Türkiye’de doğal zeolit üretiminin 1000 ton/yılın altında olduğu belirlenmiştir. Doğal zeolit yatakları rezervlerinin 50 milyon ton civarında olduğu düşünülürse, tüketimin bu derece düşük olmasının nedenlerinin, bilgi akışındaki eksiklikler ve zeolitlerin hangi amaçla üretilip pazarlanacağını iyi belirlenmemiş olduğu raporda belirtilmiştir. Tablo 4.3 de Türkiye’de tespit edilmiş zeolit yatakları ve türleri verilmektedir.

Tablo 4.3 Türkiye de tespit edilmiş zeolit yatakları (Esenli,1999;DPT,1996)

YÖRE	ZEOLİT TÜRÜ
Gördes,Manisa	Hoylandit,klinoptilolit,analsim
Bigadiç,Balıkesir	Klinoptilolit,analsim
Emet,Kütahya	Klinoptilolit,analsim
Kırka,Eskişehir	Hoylandit,klinoptilolit,flipsit
Mustafakemalpaşa,Bursa	Hoylandit,klinoptilolit
Keşan-Enez,Edirne	Mordenit,klinoptilolit
Keşan-Uzunköprü,Edirne	Klinoptilolit
Gelibolu,Çanakkale	Klinoptilolit
Şile,İstanbul	Mordenit
Karamürsel-Yalova,Yalova	Klinoptilolit
Beypazarı,Ankara	Analsim,klinoptilolit,şabazit
Gediz,Kütahya	Analsim,klinoptilolit
Şarphane,Kütahya	Klinoptilolit
Urla,İzmir	Analsim
Ürgüp,Nevşehir	Analsim,klinoptilolit,şabazit,eriyonit,mordenit
Çankırı-Çorum-Şabanözü	Analsim
Kalecik,Ankara	Analsim
Polatlı-Ayaş-Nallıhan-Çayırhan	Analsim
Sandıklı,afyon	Şabazit,analsim,klinoptilolit

Uygulamaya ve pazar geliştirmeye yönelik çalışmalarda doğal zeolit in iyi karakterize edilmiş, yeterli miktarlarda ve aynı özelliği taşıyan bir kaynaktan alınması çok önem taşımaktadır. Aynı mineral adını taşıyan zeolit fiziksel ve kimyasal açıdan iyi karakterize edilemez ise uygulama alanında sorunlara neden olabilecektir.

Türkiye’deki yatakların büyüklüğü, kalitesi, işletilebilirliği ve kullanım alanları üzerindeki bilgilerin azlığı, zeolit kaynaklarının değerlendirilmesine engel olmaktadır. Ancak Etibank Bigadiç Koleanit işletmesi’nde alttaki boratlı birimler üzerinde örtü tabakası olarak bulunan zeolitli st tüfler, dekapaj yapılırken alınmakta ve üretici şirket tarafından rdevans karşılığı alınan bu malzeme, Balıkesir ve Söke imento fabrikalarına ve bazı özel şirketlere satılmaktadır. Bu tez kapsamında kullanılan klinoptilolit de bu özel şirketlerden Zafer Madencilik aracılığıyla temin edilmiştir.

4.3. Klinoptilolit in Yapısı ve zellikleri

Klinoptilolit, yüksek iyon seçiciliğine sahip, katyon değişim kapasitesi yüksek ve amonyum için özel seçicilik gösteren bir zeolittir. Adı Shaller tarafından 1932 yılında konulan klinoptilolit zeoliti , hlandit grubundan olup, gerek Si/Al oranıyla , gerekse ısı kararlılığıyla hlanditten farklılık göstermektedir (Gottardi ve Galli 1985, Mumpton, 1969).

Klinoptilolit, camsı maddelerin kristal malzemelere dönüşmesi (devitrification) şeklinde, volkanik cam ve tüflerden oluşmaktadır. Tüfler volkanik küllerdir. Camsı yapılar, sıcakta tuzlu sularla reaksiyona girince devitrifikasyon oluşumu gerçekleşir. Klinoptilolit volkanik kayalar içinde de basalt, riliyoit ve andesit şeklinde oluşmaktadır. Derin denizlerde değişik bir şekli olan filipsit şeklinde , çökelti halinde borat mineralleri ile birlikte oluşmaktadır. Klinoptilolit’in Latince anlamı eğik hafif taştır. Çünkü monoklinik yapıda eğik düzlemler halinde kristallenmektedir .

Şekil 4.1. Klinoptilolit Mineralinin Şematik Görünümleri

Klinoptilolit, heulandit ile çok yakın iki mineral türüdür ve birbirlerine karıştırılmaktadır. Farklılıkları, klinoptilolit potasyum miktarının bir miktar daha yüksek, silis miktarının ise çok az fazla olmasıdır. Bazı mineraloglar bu ikisini aynı mineral olarak değerlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır. Klinoptilolit yapısı heulandite çok benzemekte ve tabakalı yapıdadır. Her ikisi de tektosilikat yapısındadır ve her oksijen ya silis veya alüminyum iyonu ile çevrilmiştir. $[Al+Si] = \frac{1}{2}$ 'dir. Tabakalı yapı gösterir. Tabakalar birbirlerine birkaç yerinden bağlıdır ve araları oldukça açıktır. Tabakalar 8-10 kenarlı açık halkalardan oluşmaktadır. Bu halkalar, istiflenerek tabakalar oluşturur, tabakalar da istiflenerek kristal içinde kanal ve boşluklar oluşturur. Kanalların boyutları, bazı molekülleri geçirip bazılarını geçirmediği için kimyasal elek görevi görmektedir. Zeolitin yapısı bir evin yapısı gibidir. Evin yapısındaki gibi zeolitin yapısında da kapılar, pencereler, duvarlar ve tavan vardır. Evin içindeki eşyalar ve insanların yerini de su ve iyonları almıştır. Bunlar zaman zaman yapıdan çıkar ve tekrar yapıya girerler.

Klinoptilolit üç boyutlu kristal yapısı Şekil 4.2'de gösterilmiş olup ön yüzden bakıldığında birbirine paralel konumda bulunan $8(3,3 \times 4,6 \text{ Å})$ T ve $10(3,0 \times 7,6 \text{ Å})$ T'li halkalardan, yan yüzden bakıldığında ise $8(2,6 \times 4,7 \text{ Å})$ T'li halkalardan oluşan kanallar sistemi şeklindedir. Klinoptilolit yapısı içinde Na^+, K^+, Ca^{2+} ve Mg^{2+} katyonlarının konumları ise M.W. Ackley ve arkadaşları tarafından ortaya konulmuş

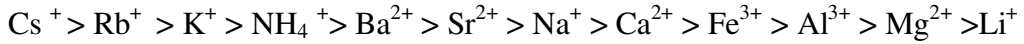
olup, ön yüzden bakıldığında Mg^{2+} ve Na^+ katyonları 10T'li yapının içinde, Ca^{2+} katyonu 8T'li yapının içinde, K^+ katyonu ise 8 ve 10T'li yapının birleştiği konumda bulunduğu saptanmıştır (Ackley ve diğ. , 1992).

Şekil 4.2 Klinoptilolit mineralinin SEM Görüntüleri

Klinoptilolit zeolitinin iki farklı gözenek boyutu, onu çeşitli gazların tutulması ve ayrıştırılmasında adsorblayıcı madde ve moleküler elek olarak kullanılmasını, değişebilir katyonları sayesinde de iyon değiştirici olarak kullanılmasını sağlamaktadır.

Kimyasal formülü $(Na_4K_4)(Al_8Si_{40})O_{96} \cdot 24 H_2O$ (Vaughan 1978) olan klinoptilolit, kanallardan oluşan yapısı, iyon tutma yeteneğini artırır. İç kanallarının çapı 3-8 Å arasında değişir, porozitesi %34 civarındadır (Ming and Mumpton 1989). Si^{4+} nin Al^{3+} ile birleşmesi sonucu negatif bir kimyasal yapı doğar ve bu yapı sodyum, kalsiyum, potasyum gibi değişebilir katyonlarla dengelenir (Curkovic et al 1997). Diğer zeolitlerin amonyum adsorblama kapasitesi yapısal olup klinoptilolite benzer, ancak kimyasal olarak benzer bir yapı söz konusu değildir (Vaughan, 1978) .

Ames'e (1967) göre klinoptilolitin iyon seçiciliği;



şeklindedir.

Bazı araştırmacılar, ağır metal gideriminde de zeolitlerin verimliliğini incelemişler ve kurşun, krom, kadmiyum, çinko ve bakır için klinoptilolit, şabazit ve filipsit ile yaptıkları çalışmalarda kayda değer giderim kapasiteleri tespit etmişlerdir (Semmens ve Seyforth 1978, Collella 1993, Mondale ve diğ., 1995).

Klinoptilolitin ve genel olarak zeolitlerin iyon değişim kapasiteleri, toplam katyon değişim kapasitesi olarak verilebilir ki, bu ifade birim iyon değiştirici üzerinde sabitlenen iyon eşdeğerini gösterir. Bu teorik bir değerdir (Bolto ve Pawlowski 1987). Farklı çalışmalar sonunda bu miktar 1-2.27 meq/gr yani 14-32 mg NH_4 -N/gr olarak tespit edilmiştir. Nguyen (1997), bu kapasitenin ancak %50'sinin pratikte sağlanabilir olduğunu tespit etmişlerdir. Townsend ve Loizidou (1984), toplam CEC(Katyon değişim kapasitesi)'in %76'sına çıkan bir kapasite elde etse de, yapılan farklı çalışmalarda (Semmens ve Porter, 1979; Jorgensen vd., 1979; Hlavay vd., 1982; Townsend ve Loizidou 1984; Haralambous vd., 1992; Booker vd., 1996; Beler Baykal ve Güven, 1997; Nguyen, 1997) genel olarak 1-7 mg NH_4 -N/gr arasında kapasiteler elde edilmiştir. Ayrıca sadece amonyum iyonu içeren bir atıksuyla farklı katyonlar içeren bir atıksu karşılaştırıldığında, iyon seçiciliği konusunda rekabet olduğu, farklı katyonların amonyumun tutulma kapasitesini düşürdüğü belirlenmiştir (Koon ve Kaufmann 1975).

4.4 Bigadiç Klinoptiloliti

Zeolit türleri içinde ticari açıdan en önemli olanı yüksek amonyum seçicilik kapasitesine sahip olması nedeniyle klinoptilolittir ve birçok ülke bu mineralin rezervine sahiptir. Türkiye de zengin klinoptilolit yataklarına sahiptir. Bunlardan en önemlisi Balıkesir'in Bigadiç ilçesinde bulunan zengin klinoptilolit yataklarıdır. Bu çalışma çerçevesinde, ülkemizde bulunan bu büyük rezervin gelecekte daha faydalı kullanımının sağlanabilmesi için Bigadiç bölgesi klinoptiloliti kullanılmıştır. Bu

nedenle Bigadiç klinoptilolitinin yapısı ve özellikleri hakkında ayrıntılı bilgi vermek faydalı olacaktır.

Bigadiç yöresinin Neojen formasyonları ile ilgili ayrıntılı çalışmalar borat yataklarının ortaya çıkarılması ile başlamış olup zeolit oluşumları ile ilgili ilk bilgiler 1977 yılında Ataman tarafından verilmiştir; 2 milyar ton rezerv olduğu tahmin edilen Balıkesir – Bigadiç zeolit yatağı yüksek klinoptilolit içeriği ile Türkiye'nin en önemli zeolit kaynağı durumundadır. Bigadiç'te iki borat katmanı arasında bulunan klinoptilolitçe zengin, yer yer 250 m kalınlığa ulaşan zeolit oluşumları, danecik boyutu farklılaşması göstermektedir. Bu bölgedeki volkanosedimenter tabakada üstte ince taneli, camsı toz tuf ve altta kaba taneli camsı kül tuf bulunur.

Bigadiç bölgesinden alınan zeolit örneklerinde yapılan analizler sonucunda, ince taneli tüflerin kalsiyum açısından, kaba taneli tüflerin ise potasyum açısından zengin olduğu belirlenmiştir. Katyon içeriklerindeki bu farklılık, zeolitlerin ısı kararlılığında da kendini göstermektedir. İnce taneli tüfler ancak 550⁰C'e kadar kristal yapılarını korurken, kaba taneli tüfler 700⁰C'e kadar kristal yapılarını muhafaza etmektedir (Göktekin,1989, Sirkecioğlu,1990, Sirkecioğlu,1993).

Erdem-Şenatalar ve diğerlerinin (1992) saf amonyum çözeltisi kullanarak yaptığı çalışmada, Bigadiç'in farklı bölgelerinden ince ve kaba taneli bölgelerden temin edilen numunelerin farklı sıcaklık ve farklı konsantrasyonlardaki HCl ve NaCl ile yapılan şartlandırmalarda amonyum değişim kapasitelerinin 0.8-2.21 meq/g aralığında değiştiği belirlenmiştir. Kalsiyumca zengin ince taneli zonun, potasyumca zengin kaba taneli zona göre daha yüksek iyon değişimine sahip olduğu ve bu nedenle iyon değiştirici olarak kullanımının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Ülkemizde Bigadiç yöresinde 500 milyon ton rezerve sahip olan Bigadiç klinoptiloliti için yapılan bir çalışma ile birinde iyon değiştirici olarak Bulgaristan'ın Beli-plast klinoptilolitinin, diğerinde ise Balıkesir Bigadiç klinoptilolitinin kullanıldığı iki ayrı iyon değiştirme sistemi incelenmiş ve Amonyum gideriminde Bigadiç klinoptilolitinin kapasitesinin Beli-plast klinoptilolitine çok yakın olduğu tespit edilmiştir (Beler Baykal vd. 1994).

Ünaldı ve arkadaşları tarafından 1999 yılında yapılan çalışmada Bigadiç yöresi doğal klinoptilolitinin başlıca değişebilir katyonlarından olan Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} katyonlarının 0,1 N, 0,5 N ve 1 N'lik formları ısıtmalı ve ısıtmasız yığın (batch) yöntemleriyle hazırlanmıştır.

Doğal formula birlikte iki yöntemle farklı normalitelerde ve farklı formlarda elde edilmiş toplam 25 numunenin kimyasal analizleri XRF ile yapılmış, elde edilen sonuçlardan hareketle, klinoptilolit birim hücresinin 72 oksijen atomu içerdiği kabul edilerek birim hücredeki atom sayıları elde edilmiştir. Birim hücredeki atom sayılarından hareketle, iyon değişim ve seçicilik yüzdeleri belirlenerek bunların karşılaştırmaları yapılmıştır.

Karşılaştırmalar sonucunda değişebilir katyon formlarında normalitenin artmasıyla, iyon değişim ve seçicilik yüzdelerinin arttığı, iyon değişim ve seçicilik yüzdelerinin birbirini destekler nitelikte olduğu, özellikle değişebilir katyon formlarında XRF yönteminin bu katyon formlarındaki yüzde cinsinden miktarlarının verilmiş olmasının avantajını kullanarak iyon seçicilik yüzdelerinin bulunabileceği ve bu verilerin de iyon değişim izotermi çizilerek bulunan iyon seçiciliklerini doğruladığı görülmüştür.

4.5. Doğal Zeolitlerin Kullanım Alanları

İlk çağlardan beri doğal zeolitler yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Doğal zeolitlerin sedimenter kayalarda yaygın olarak bulunması ve kolay çıkarılıp işlenebilen bir maden olması özelliği ile avantajları vardır. Doğal zeolitler ,yapay zeolitlere göre oldukça ucuzdur. Ancak bu zeolitlerin bugüne kadar yaygın olarak kullanılamamasının sebepleri arasında istenilen saflık ve gözenek çapında olmaması ve aynı rezervde bu özelliklerin değişim gösterebilmesi sayılabilir. Bu nedenle dünya pazarında tam yerini alamamış ve yapay zeolite doğru yönelim olmuştur. Son yıllarda ise önemli endüstriyel hammadde durumuna gelen doğal zeolitlerin kullanım alanları giderek artmıştır.

Türkiye’de zeolit tüketimi ile ilgili yeterli veri elde edilememiştir. Ancak Bigadiç ve Lalapaşa yörelerinden elde edilen zeolitik tüfler, tras olarak çimento fabrikalarında kullanılmaktadır.

Doğal zeolit minerallerinden özellikle klinoptilolit, mordenit, şabazit ve analsim gün geçtikçe daha fazla aranan endüstriyel hammadde durumundadır. Klinoptilolit en yararlı doğal zeolittir. Klinoptilolit kullanımıyla ilgili olarak, farklı disiplinlerde araştırma çalışmaları devam etmekle birlikte, gaz absorplayıcı , yem katkı maddesi , koku kontrol malzemesi ve su filtresi olarak içme ve akvaryum sularında hali hazırda kullanılmaktadır. Klinoptilolit, büyük gözenek hacmi, uçtaki sıcaklıklara dayanıklılığı, kimyasal olarak nötral anayapısı nedeni ile yukardaki uygulama alanlarında kullanıma uygundur. Klinoptilolit uzun yıllardan beri yem katkısı olarak, büyükbaş, domuz, at ve kümes hayvanlarında kullanılmaktadır. Yem içindeki mikroplar, küller ve mikroskopik parazitler tarafından üretilen toksinleri adsorblayarak yemlerin daha verimli olmasını sağlar. Aynı şekilde gerçek yiyeceklerde de denenmektedir. Klinoptilolit, amonyak ve diğer toksik tarzları sudan ve havadan kolaylıkla adsorblamaktadır. Bu nedenle sağlık nedenleri veya kokudan kurtulmak amacıyla filtre görevi görmektedir.

Zeolitler genel olarak gerek bilimsel çalışmalar gerekse ticari uygulamalar açısından yer-bilimleri, fizik, kimya, ziraat, hayvancılık, inşaat disiplinlerinin ve hatta tıbbın ilgi alanındadır. Doğal zeolitlerin başlıca dört fonksiyonel özelliğinden yararlanılarak çeşitli alanlarda kullanılmaları sağlanmaktadır. Bunlar; gaz adsorbsiyonu, koku giderme ve kontrol, endüstriyel gaz seperasyonları, su adsorbsiyonu, desorbsiyonu, ısı depolama ve solar soğutma, desikant uygulamaları, tarım ve hayvancılık, iyon değişimi özellikleri, su arıtma ve hazırlama, su işletmeciliği, tarım ve hayvancılık katalitik özellikleri, reaksiyon mühendisliği, üretim ve arıtım olarak sıralanabilir.

Yukarıdaki özellikler kullanılarak doğal zeolitlerin pek çok farklı alanda kullanımı sözkonusudur. Bu kullanım alanları, kirlilik kontrolü, enerji, tarım-hayvancılık, maden-metalurji ve diğer alanlarda olmak üzere çok geniş bir yelpaze oluşturmaktadır. Aşağıda doğal zeolitlerin kullanım alanları özetlenecek, daha sonra en yaygın kullanım alanları açıklanacaktır.

Doğal zeolitlerin başlıca kullanım alanları şu şekilde özetlenebilir;

--Doğal zeolitler kullanılarak nükleer santral atıklarında bulunan bazı radyoaktif izotoplar tutulabilmektedir (Mercer ve Ames,1978; DPT,1996, Esenli 1999).

--Amonyum azotunun doğal zeolit tarafından iyon değişimi ile tutulabildiği ve ABD’de evsel atıksu arıtımında zeolit kullanılarak %99'lara varan yüksek verimde amonyum azotu giderilebildiği görülmüştür (Mclaren ve Farquhar, 1973; Koon ve Kaufman, 1975; EPA,1975).

--Özellikle endüstriyel atıksuların arıtımında Pb, Cd, Ni, Ag gibi bazı ağır metallerin doğal zeolit ile giderilmesi sağlanabilmektedir.

--Çevre kirliliği nedeniyle deterjan üretiminde fosfat yerine zeolitler kullanılabilmektedir.

--Zeolitlerin adsorblayıcı özelliği sayesinde yakıt petrol ve kömür kullanan endüstri baca gazlarında bulunan Karbondioksit ve diğer kirletici gazların tutulması mümkün olabilmektedir. Klinoptilolit ve mordenit ile bu konuda çok başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

--Doğal zeolitler aynı zamanda beslenme zincirlerinde istenmeyen bazı ağır metallerin tutulmasında kullanılabilir (Weber vd, 1984)

--Toprak kirliliği kontrolünde, klinoptilolit kirliliğin sözkonusu olduğu topraklara ilave edilerek bitki tarafından alınan radyoaktif maddenin büyük ölçüde azaldığı da tespit edilmiştir (Leppert,1990).

--Madencilik ve metalurji faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atıksular çevre sağlığı açısından tehlikeli olabilen ağır metal katyonları içerebilmektedir. Bu atıksular zeolitlerin (özellikle klinoptilolit) katyon değiştirme özellikleri ile arıtılabilir.

--Zeolitli tüfler gübrenin kötü kokusunu gidermek amacıyla ve asit volkanik toprakların pH'ının yükseltilmesi amacıyla uzun yıllardan beri kullanılmaktadır (DPT Raporu ,1996). Çoğunlukla kil bakımından fakir topraklar için yüksek iyon değiştirme ve su tutma özellikleri nedeniyle doğal zeolitler kullanılmaktadır. Ayrıca yüksek amonyum seçiciliği nedeniyle, gübre hazırlanmasında taşıyıcı olarak klinoptilolit kullanımıyla amonyumun bitkiler tarafından daha etkin bir biçimde kullanılması sağlanmakta ve böylece gübre tasarrufu yapılmış olmaktadır. Klinoptilolit nem fazlasını adsorbladığı için gübrelerde depolama sırasında oluşan pişme ve sertleşmeyi de önlemektedir (Desborough, 1996).

--Zeolitlerin sıcaklığına bağlı olarak su verip alma özelliğinden faydalanılarak, güneş enerjisinin transferinde ısı değiştirici olarak kullanılması mümkün olabilmektedir.

--Volkanik malzemenin hidrolizi sonucu oluşan zeolitler cevher yataklarının oluşumlarının aramalarında kullanılabilir. Örneğin Balıkesir-Bigadiç yöresindeki zeolitler Borat katmanları ile bir arada bulunmaktadır (Baysal vd.,1986).

--Kağıt endüstrisinde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır.

--Florürlü diş macunlarında katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

--Puzzolan çimento ve beton malzemesi olarak ve hafif agrega olarak inşaat sektöründe kullanılmaktadır (DPT,1996; Baysal vd.,1986).

--Toksik atıkların tutulması amacıyla kullanılmaktadır.

--Büyük ve küçük baş hayvan ağıllarının temiz ve sağlıklı tutulması (koku ve nem kontrolü) amacıyla kullanılmaktadır.

--Golf , futbol vb . çim sahalarının oluşturulması , bakımı ve üstün kaliteli olmasının sağlanması amacıyla kullanılmaktadır.

--Park vb . alanların ıslahı ve kalitesinin artırılması amacıyla kullanılmaktadır.

--Kültür balıkçılığında kullanılmaktadır.

--Seçici gaz adsorpsiyonu ile doğal gaz ve metanın, SO₂ gibi istenmeyen gazlardan temizlenmesi ve zenginleştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

--Havadan azot tutularak , havuzların havalandırılmasında oksijence zengin hava elde edilmesinde kullanılmaktadır

--Hayvan yemi katkısı olarak kullanılmaktadır.

Görüldüğü gibi doğal zeolitlerin onlarca kullanım alanı bulunmaktadır. Aşağıda bu kullanım alanlarından bazıları için ayrıntılı bilgi verilmiştir.

4.5.1 Gaz Adsorbsiyonu

Aktive edilmiş doğal zeolitlerin çeşitli gazları adsorplayabilme özellikleri, büyüklükleri zeolit türüne göre 2,5 – 4,3 Å arasında değişen, yapılarındaki kanallardan kaynaklanmaktadır. Bir zeolit türünden diğerine değişen bu spesifik kanal boyutu, zeolitlerin moleküler elek gibi davranarak çeşitli gazları seçici olarak adsorplamasına yol açmaktadır. Aktive edilmiş doğal zeolitlerin bazılarında, zeolitlerin %47'si bu kanallardan oluşan gözenekler oluşturabilmekte ve bu zeolitlerin yüzey alanları 500 m²/g değerine kadar ulaşabilmektedir. Böylece oldukça yüksek gaz adsorplama değerleri elde edilebilmektedir . Bu özellikleri sayesinde zeolitler koku giderilmesi ve kontrolünde ve bazı gazların, gaz karışımlarından seçici olarak ayrılmasında kullanılmaktadır.

Tuvaletlerde , büyükbaş ve küçükbaş hayvan ağıllarında, çöp tenekelerinde ve çöp döküm sahalarında, ev hayvanlarının tuvalet ihtiyacını giderdiği bölgelerde meydana gelen istenmeyen kokuların başlıca nedeni, bozulmadan kaynaklanan amonyum ve hidrojen sülfür gazlarıdır. Bu gazların, kötü kokuları yanında gözler ve solunum sistemi üzerinde de olumsuz etkileri bulunmaktadır. Gıda atıklarının bozulmasından ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan başka bazı gazlar da istenmeyen kokularının oluşumuna yol açabilmektedir. Aktive edilmiş doğal zeolitler bu tür kokuların giderilmesinde etkin bir biçimde kullanılabilir. Ayrıca hayvan

ağıllarında kullanılan zeolitlerin adsorpladığı esas olarak amonyum olduğundan, koku giderme amacı ile kullanıldıktan sonra amonyum ile doymuş hale gelmiş olan zeolit, kontrollü NH_4^+ salımı veren etkin bir gübre olarak yeni bir kullanım alanı da bulabilmektedir. Hayvan ağıllarında bu amaçla kullanılan zeolit miktarı ağıldaki hayvan nüfusuna göre değişmekle birlikte genel olarak yaklaşık 1000 cm^2 ye $0.25 - 1.0 \text{ kg}$ aktive edilmiş zeolit kullanılmaktadır. Gıda depolama mekanları gibi yerlerde oluşabilecek istenmeyen kokuların giderilmesi ise havalandırma hattına yerleştirilen aktive edilmiş zeolitler aracılığı ile istenmeyen kokular tutulabilmektedir.

Gaz karışımlarından belirli bir gazın seçici olarak adsorplanması işlemi iyi tasarlanmış özel sistemler aracılığı ile yapılmaktadır . Yukarda belirtilen gazların gaz karışımlarından seçici olarak ayrılmaları en yaygın uygulamalar arasında yer almaktadır. Uygun ekipmanlar ve uygun zeolit türü kullanılarak gerçekleştirilen sistemlerde seçici olarak ayırma işlemleri başarı ile gerçekleştirilmektedir. Böylece SO_2 gibi istenmeyen bazı gazlar içinde bulundukları gaz karışımlarından başarı ile uzaklaştırılmaktadır. Örneğin bu amaçla kurulan “ pressure swing adsorption”(PSA) ünitelerinde aktive edilmiş doğal zeolitler, adsorban olarak kullanılarak doğal gaz ve metan istenmeyen safsızlıklardan temizlenmektedir . Kullanılan zeolitler genellikle SO_2 ve H_2S yanında H_2O , CO_2 ve CO 'i de zenginleştirildiğinden de söz edilebilmektedir . Ayrıca, doğalgaz ve metandan adsorplanan SO_2 ve H_2S daha sonra desorplanarak “Claus” prosesi ile kükürde dönüştürülmekte ve böylece istenmeyen safsızlıklardan faydalı bir hammadde elde edilmektedir .

4.5.2 Hububat Ambarlarında Nem ve Haşare kontrolü ;

Özel olarak hazırlanmış olan klinoptilolit ve diatome toprağı karışımları hububat ambarlarında nem ve haşare kontrolü amacı ile pazarlanmaktadır.

Depolama sırasında hububata karıştırılarak nem ve haşare kontrolü sağlanmaktadır. Hububatin içerdiği zeolit nem adsorplayarak gerek hububat taneciklerindeki gerekse hububatin içinde bulunduğu ortamdaki (silo, kamyon, vagon, değirmen, gemi ambarı gibi) nem kontrol etmektedir. Böylece haşare üremesi için gerekli olan nem ortamdan uzaklaştırılmaktadır. Ayrıca; zeolit bu nem çekme özelliği diatome toprağı ile birlikte çalışarak oluşan haşerenin ilaç kullanılmadan yok edilmesini de

sağlamaktadır. Zira diatome toprağı jilet gibi keskin kenarları olan deniz kabuğuna benzer bir yapıya sahiptir. Hububat üzerinde veya içindeki haşere hareket ettiğinde diatome toprağının keskin kenarları haşerenin dış yüzeyindeki vaksımsı yumuşak koruyucu tabakayı keserek tahrip eder. Bu tabaka bir kez tahrip edildikten sonra zeolit nem çekme özelliğinin de katkısı ile haşere dehidrate edilerek öldürölür. Gerek zeolit gerekse diatome toprağı % 100 doğal ve insan sağlığına zararsız olduklarından herhangi bir tarım ilacı veya başka bir zararlı kimyasal madde kullanılmadan istenilen sonuçlar elde edilmiş olmaktadır. Ayrıca herhangi bir tarım ilacı kullanılmadığı için haşerenin tarım ilacına bağışıklık kazanması gibi bir husus da söz konusu değildir.

Söz konusu ürün haşereleer yanında küf, mantar vb. oluşumları ve bunlardan kaynaklanan ve diğer kokuları da gidermektedir. Zeolit, yapısı nedeni ile kekleşmeyi de önlemekte, hububatın daha kolay akar hale gelmesini sağlamaktadır.

Zeolit–diatome toprağı karışımı toz, hububat siloya yüklenirken hububata karışmaktadır. Karıştırılan miktar hububatın içerdiği nem miktarına göre değişmekle birlikte alışılmış miktarlar bir ton hububata 2.5-3.5 kg zeolit-diatome toprağı karışımı katılmasıdır.

4.5.3 Çim Saha ve Alan Uygulamaları

Zeolitler yeni çim sahalar oluşturulurken ve/veya mevcut çim sahaların ıslahında başarı ile kullanılmaktadır. Çim sahalar oluşturulurken toprağın havalandırılması aşamasında çimin köklerinin bulunacağı derinliğe maksimum miktarda zeolit karıştırılır. Mevcut çim sahalarda ise daha ince tanecikli zeolit yüzeyden uygulanır . Uygulanan bu zeolit çimlerin köklerinde biriktikçe toprağı ilave edilen besi maddelerinin daha etken kullanımını sağlamaya başlar.

Topraktaki azot ve potasyumun uzaklaştırılması azalır ve topraktaki suyun çimin kök bölgesinde birikmesi ve besi maddelerinin kontrollü salınımı sağlanır.

Zeolit kullanılarak ve kullanılmadan hazırlanan çim sahalarda yapılan incelemelerde, zeolit içeren sahalarda çimin köklerini 7-14 cm derinlikte, çok kuvvetli ve pek çok besleme kökü içerecek şekilde geliştiği, buna karşılık zeolit içermeyen sahalardaki çimlerin köklerinin 1.5-5 cm derinlikte, oldukça zayıf ve yetersiz sayıda besleme kökü içerecek şekilde geliştiği belirlenmiştir. Zeolit kullanımı özellikle eğimli yamaçların çimlendirilmesinde daha da yararlı olmaktadır. Zira zeolitin kullanılmadığı durumlarda, kullanılan gübre, sulama ve yağmur sularıyla yıkanarak yamacın yüksek bölümlerinden alçak bölümlerine taşınabilmektedir. Bunun sonucu olarak yamacın yüksek bölümleri kötü bir şekilde çimlenmiş gözükrken alçak bölümleri daha yeşil ve sağlıklı çimlerle kaplanmış bir görüntü vermektedir.

4.5.4 Doğal Zeolitlerin Günlük Hayatta ve Ev-içi Uygulamaları

Doğal Zeolitlerin Günlük Hayatta ve ev-içi uygulamaları üç ana kategoride toplanabilmektedir;

Koku giderme

Nem Tutma

İstenmeyen sıvıları adsorblama

Bu üç ana kategori altında birçok ticari ürün çeşitli uygulama alanları için pazarlanmaktadır. Bu kategorilere ait kullanım alanları ile ilgili örnekler tablo 4.4’de özetlenmiştir.

Tablo 4.4: Doğal Zeolitlerin Günlük Hayatta ve Ev-İçi Kullanımları

Kullanım Yeri	Kullanım Şekli ve Amacı
Ev ve Ofis Odaları:Sigara dumanı, yemek, ev hayvanı,parfüm, boya ve kimyasal madde kokularının giderilmesi	Oda veya ofisin normal hava sirkülasyonunu bozmayacak şekilde içi zeolit dolu hava geçirgen torbalar istenilen yerlere asılır.
Isıtma ve Havalandırma Kanallarının Çıkışlarında	Bir odadan diğerine hava transferini havalandırma kanallarına hava geçirgen torbalar konulur.
Halılar ve Döşemelik Eşya	Halı koku gidericisi olarak problemlili alanın üzerine toz zeolit serpilir. En az bir saat bekledikten sonra elektrik süpürgesi ile süpürülür.
Gardroplar, çekmeceler, depolar	Koku ve nem giderilmesi için hava geçirgen zeolit dolu torbalar, dolap içindeki hava akımını engellemeyecek şekilde yerleştirilir.
Buzdolapları ve Dondurucular	Buzdolabı içinde en fazla hava sirkülasyonu olan yere, genelde ikinci rafın arkasına yerleştirildiğinde nem ve koku kontrolü, sebze ve meyvaların daha uzun dayanımını sağlar.
Çöp kutuları ve kompozit yığınları	Koku giderir ,sineklenmeyi önler,daha iyi kompozit oluşumunu sağlar. Çöp kutularının dibine ve çöp toplama alanlarının altına toz zeolit serpilir.
Deri giyecekler	Deri giyecekler içine hava geçirgen torbalarla konulan zeolit aşırı nemi tutar, küf oluşumunu önler.

5. MATERYAL METOD

Bu çalışma ile amonyum ve askıda katı madde parametrelerinin bir arada maksimum verimle giderilebileceği bir çok amaçlı filtre sisteminin en uygun çalışma koşulları belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla üç kolondan oluşan ve şekil 5.1’de gösterilen deney düzeneği hazırlanmıştır. Deneylerde iyon değiştirici malzeme olarak kullanılan klinoptilolit Balıkesir’in Bigadiç yöresinden ve filtrasyonda kullanılacak malzeme olan kuars kumu Kağıthane içmesuyu arıtma tesislerinden temin edilmiştir. Bu malzemeler için ayrıntıları aşağıda açıklanan ön hazırlık çalışmaları yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan atıksu, Bahçeşehir Atıksu Arıtma Tesisinden temin edilmiş ve atıksu karakterizasyonu yapılmıştır, bu atıksuya ait karakterizasyon Tablo 5.1’de gösterilmektedir.

Deneysel çalışma kesikli ve sürekli deneylerden oluşmaktadır. Kesikli deneyler farklı dane çaplarında klinoptilolit kullanılarak yapılan izoterm çalışmalarından oluşmaktadır. Kesikli deneyler ile bu tez kapsamında kullanılan Bigadiç klinoptilolitinin amonyum tutma kapasitesi belirlenmiştir.

Sürekli deneyler, deney düzeneği kısmında açıklandığı şekilde üçlü kolon sistemleri üzerinde yürütülmüş ve farklı koşulların değiştirilmesiyle , askıda katı madde ve amonyum giderim verimlerinin nasıl değiştiği izlenmiştir. Farklı deneysel yaklaşımlar oluşturularak çok amaçlı bir filtre sisteminin en uygun çalışma koşulları belirlenmeye çalışılmıştır.

Her deneysel yaklaşım aşaması sonunda edinilen veriler, bir sonraki aşama için yapılacak değişikliklerin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu bölümde deneysel çalışma adımları ve uygulanan yöntemler ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

5.1. Numune Alma ve Ölçüm Yöntemleri

5.1.1 Numune Alma

Sürekli sistem kolon çalışmalarında , kolon çıkış suları 200 ml hacimli numune alma ünitesinden geçirilerek laboratuvar pis su çıkış hattına verilmiştir. Numune haznesinden numuneler 1 veya 2 saatlik aralarla çalışma saatlerinde el ile , çalışma saatleri dışında ise otomatik numune alıcı ile 100 ml'lik renkli cam numune şişelerine alınmıştır. El ile alınan numuneler birkaç saat içinde , otomatik numune alıcı ile alınan numuneler ise 24 saat içinde analiz edilmiş, analiz edilemeyecekse derişik H₂SO₄ kullanılarak pH 2'nin altında saklanmış ve en geç bir hafta içinde analiz edilmiştir (Standard Methods, 1995).

5.1.2. Analiz Yöntemleri

Deneyisel çalışma esnasında atıksu karakterizasyonu amacıyla KOI, BOI₅, pH vb. gibi farklı analizler yapılmıştır. Ancak AKM ve amonyum analizleri sürekli olarak gerçekleştirilmiştir. AKM analizleri süzme seti ve cam elyaf filtreler, Amonyum analizleri ise ± 0.1 mV doğruluğunda ve -700 mV ile +700 mV arasında ölçüm yapabilen pH metre ve Jenway 924 328 model amonyak elektrodu kullanılarak yapılmıştır. Tüm analizlerde, standart metodlar esas alınmıştır (Standart Methods, 1995).

5.2 Atıksu Temin Edilen Arıtma Tesisi Özellikleri

Bu tez kapsamında atıksu olarak Bahçeşehir evsel atıksu arıtma tesisine ait son çöktürme havuzu çıkış suyu kullanılmıştır. Atıksuyun özelliklerini daha iyi yorumlayabilmek için tesis özelliklerini açıklamak faydalı olacaktır. Bahçeşehir evsel atıksu arıtma tesisine ait bilgiler aşağıda özetlenmektedir;

Bahçeşehir Atıksu Arıtma Tesisi, Bahçeşehir yerleşim bölgesi toplu konut alanından kaynaklanan evsel nitelikli atıksuların arıtılması amacıyla kurulmuştur. 1994 yılında

işletmeye alınan tesis 21000 eşdeğer nüfus kapasiteli , uzun havalandırılmalı bir aktif çamur tesisidir. Tesis tam kapasite ile çalıştığında 66 lt/sn'lik atıksu debisini arıtmaktadır.

5.3 Atıksu Karakterizasyonu

Bu tez kapsamında hedeflenen filtrasyon ve iyon değişiminin etkin olarak gerçekleştiği bir çok amaçlı filtrenin çalışma koşullarının belirlenmesidir. Bu nedenle üzerinde çalışılan bu çok amaçlı filtre sisteminin arıtma tesisinin hangi noktasında devreye gireceği, giriş ve çıkıştaki atıksu özellikleri ve hedeflenen arıtma verimi iyi tespit edilmelidir. Bu tez kapsamında kullanılacak atıksu karakterizasyonu Tablo 5.1'de gösterilmektedir. Bahçeşehir atıksu arıtma tesisi girişinden ve son çöktürme havuzları çıkışından alınan atıksu numuneleri üzerinde çeşitli parametreler standart metodlar esas alınarak ölçülmüştür (Standard Methods 1995). Yapılan ölçümlerin atıksuyu tam karakterize edebilmesi açısından farklı zamanlarda alınan 6 farklı numune ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre yapılan atıksu karakterizasyonu Tablo 5.2'de özetlenmektedir.

Tablo 5.1:Atıksu Karakterizasyonu

Parametre	Tesis giriş suyu kalitesi	Tesis Yetkililerince verilen değerler	Tesis çıkış suyu kalitesi	Tesis Yetkililerince verilen değerler
NH ₄ (mg/lt)	50-85	-	19-24	22
Toplam Kjeldal Azotu(mg/lt)	80-114	-	30-43	-
NO ₃ -N (mg/lt)	0	0	16-20	5-8
KOI	400-800	480	40-58	34
BOI ₅	180-455	230	25-35	15
AKM	230-300	215	40-97	8
pH	7-8	-	7-7,5	6-9

Tablo 5.2.Numune Alım Tarihleri ve Ölçüm Sonuçları

Parametre	03.02.2006		14.02.2006		24.05.2006		26.05.2006		01.06.2006		06.06.2006	
	Tesis Giriş	Tesis Çıkış	Tesis Giriş	Tesis Çıkış	Tesis Giriş	Tesis Çıkış	Tesis Giriş	Tesis Çıkış	Tesis Giriş	Tesis Çıkış	Tesis Giriş	Tesis Çıkış
NH ₄ -N (mg/l)	50	19	64	21	71	24	85	22	75	20	88	23
Toplam Kjeldal Azotu (mg/l)	82	31	80	32	85	34	100	42	114	45	106	43
KOI (mg/l)	450	42	400	41	550	56	680	50	720	55	725	58
BOI ₅ (mg/l)	205	26	210	28	240	35	342	33	420	35	443	34
AKM (mg/l)	300	97	230	40	287	75	294	80	285	78	300	65
pH	7,33	7,22	7,5	7,33	7,12	7,30	7,23	7,20	8	7,31	7,7	7,5

31.12.2004 tarihli Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre nüfusu 10.000'den büyük yerleşim alanları için verilen evsel nitelikli atıksu deşarj kriterleri ise Tablo 5.3'de verilmiştir (Tez kapsamında kullanılan atıksu 21000 eşdeğer nüfus kapasiteli Bahçeşehir Arıtma Tesisinden temin edildiğinden bu tablo dikkate alınmıştır).

Tablo 5.3 Sektör: Evsel Nitelikli Atıksular (Sınıf 3: Kirlilik Yükü Ham BOİ Olarak 600-6000 Kg/Gün'den Büyük, Nüfus=10000-100000)

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ ₅)	(mg/L)	50	45
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	140	100
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	45	30
pH	-	6-9	6-9

Bu tez kapsamında esas olarak incelenmekte olan AKM ve amonyum parametreleri incelendiğinde tesis tarafından verilen değerlerle tez kapsamında alınan tekil numuneler için bulunan değerler amonyum parametresi için uyum sağlamaktayken, AKM parametresi için oldukça yüksek ve değişken değerler söz konusu olmaktadır. Bu durumun sebebi ile ilgili tesis yetkilileri ile görüşüldüğünde, son çöktürme

havuzları savaklarından kaçak olduğu, sorunu gidermek için çalışmaların sürdüğü öğrenilmiştir.

Genel olarak incelendiğinde arıtma tesisi çıkış suyu kalitesinin Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne uygun olduğu görülmektedir. Ancak özellikle AKM için standart değer sağlanamamaktadır. Ayrıca hassas bölgelere deşarj sözkonusu olduğunda, amonyum ve AKM giderimi özellikle büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliğinde, hassas alanlara deşarjlarla ilgili esasların belirlendiği Tablo 5.4 ve Tablo 5.5 aşağıda verilmiştir; (Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği ve hassas alan tanımı ve madde 8(c) ile ilgili ayrıntılı bilgi EK-A'da verilmiştir.

Tablo 5.4: Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ikincil arıtıma ilişkin deşarj limitleri(*Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Ek 4-Tablo 1)

Parametreler	Konsantrasyon (mg/l)	Minimum verimi(%)	Referans ölçüm metodu
Nitrifikasyonsuz ¹ Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (20°C'de BOİ ₅)	25	70-90 40 Madde 8 (c)	Homojen, filtre edilmemiş, çökeltilmemiş ham örnek. Tamamen karanlık ortamda 20°C ±1°C'de beş günlük inkübasyondan önce ve sonra çözünmüş oksijenin ölçülmesi. Bir nitrifikasyon inhibitörünün ilavesi
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	125	75	Homojen, filtre edilmemiş, çökeltilmemiş ham örnek. potasyum dikromat yöntemi.
Toplam askıda katı madde (TAKM)	35 35 Madde 8 (c) (10000 E.N.'den fazla) 60 Madde 8 (c) (2000-10000E.N.)	90 ² 90 Madde 8 (c) (10000 E.N.'den fazla) 70 Madde 8 (c) (2000-10000 E.N.)	-Temsili örneğin 0,45 µm membran ile filtrasyonu. 105 °C'de kurutulması ve tartılması. - Temsili örneğin santrifüj edilmesi (ortalama 2800-3200 g.lık ivme ile en az beş dakika kadar),105 °C'de kurutulması ve tartılması.

* Konsantrasyon değerleri veya arıtma verimleri uygulanacaktır.

¹ Eğer BOİ₅ ile yerine kullanılan parametre arasında korelasyon kurulabilirse, bu parametre bir başka parametre ile değiştirilebilir: toplam organik karbon (TOK) yada toplam oksijen ihtiyacı (TOİ) gibi.

² Bu şart yerleşim biriminin büyüklüğüne bağlıdır.

Lagünlerden deşarjlara ilişkin analizler filtre edilmiş örnekler üzerinde yapılmakla birlikte; filtre edilmemiş su örneklerinde toplam askıda katı madde konsantrasyonu 150 mg/l'yi aşmamalıdır.

Tablo 5.5: Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ikincil arıtmaya ilişkin deşarj limitleri(*Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Ek 4-Tablo 2)

Parametreler	Konsantrasyon	Minimum arıtma verimi(%)	Referans Ölçüm Metodu
Toplam fosfor	2 mg/l P (10000-100000 E.N.) 1 mg/l P (100 000 E.N.'den fazla)	80	Moleküler absorpsiyon spektrofotometre
Toplam azot ¹	15 mg/l N (10000-100000 E.N.) 10 mg/l N (100 000 E.N.'den fazla) ²	70-80	Moleküler absorpsiyon spektrofotometre

*Yerel şartlara bağlı olarak parametrelerin biri veya ikisi birden uygulanabilir.Konsantrasyon değerleri veya arıtma verimleri uygulanacaktır.

Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Tablo 5.4 ve Tablo 5.5 incelendiğinde bu tez kapsamında kullanılan atıksuya benzer bir atıksuyun hassas alanlara deşarj edilmesi durumunda Toplam azot olarak 15 mg/lt, TAKM için ise 35 mg/lt sınır değerlerinin sağlanması gerektiği görülmektedir. Bu değerler göstermektedir ki, tez kapsamında kullanılmakta olan Bahçeşehir atıksu arıtma tesisinin ve benzeri tesislerin amonyum ve askıda katı madde konusunda ileri arıtma yapmaları gerekmektedir. Bu tez ile önerilen çok amaçlı filtre sistemleri hassas bölgelere deşarj yapılan atıksu arıtma tesisleri için çok fonksiyonel bir ileri arıtma alternatifi olacaktır.

5.4. Deney Düzenegi

Sürekli deneyler, Şekil 5.1'de gösterilen üç kolon sistemi üzerinde gerçekleştirilecektir.

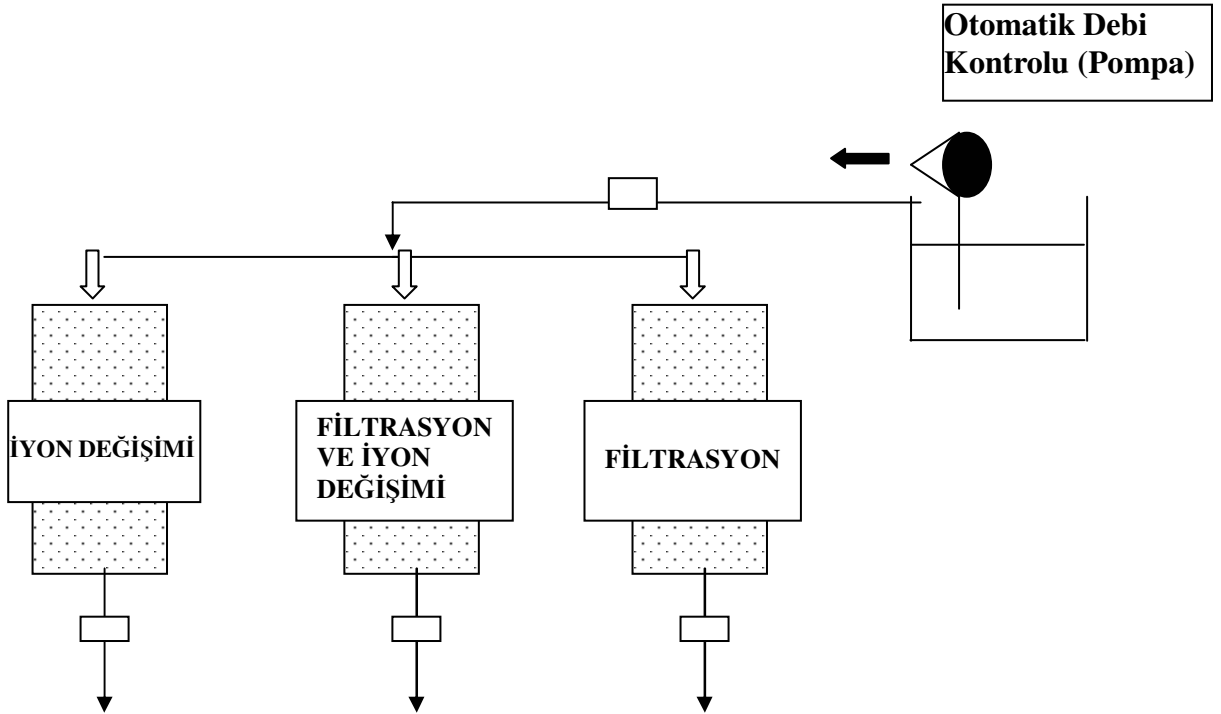
Kolon 1 :İyon değişimi (Sadece klinoptilolit kullanımı)

Kolon 2 :Klinoptilolit ile filtre malzemesinin birlikte kullanıldığı çok amaçlı filtre

Kolon 3 :Filtre (Sadece filtre malzemesi kullanımı)

Kırılma analizleri için 3 adet cam kolon, 1 adet 3 çıkışlı peristaltik pompa, manometre tüpleri ve besleme tanklarından oluşan bir sistem kurulacaktır. Sistem gece de çalışmaya devam edeceğinden bir adet otomatik numune alma cihazı (auto-sampler) kullanılacaktır.

Sistemin basit bir şeması Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Deney Düzenegi

□→Numuneleme noktalarını göstermektedir. Bu noktalarda giriş ve çıkış amonyum ve AKM konsantrasyonları iki saatlik periyotlarla sürekli olarak ölçülmüştür.

Deney düzenegi şu kısımlardan oluşmaktadır:

- 1) Peristaltik pompa; Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere 1 adet üç çıkışlı Masterflex marka peristaltik pompa kullanılmıştır. Pompanın her çıkışı 1 –100 ml/dak arasında debi basabilmektedir.
- 2) Üç adet cam kolon; Her biri 5 cm iç çapında ve 1 metre yüksekliğinde olup, üzerleri dolum miktarının kolay belirlenebilmesi açısından derecelendirilmiştir.
- 3) Kolon giriş ve çıkış tertibatları; Her kolon için aside ve kimyasallara dayanıklı sert plastikten su giriş ve çıkış tertibatları dizayn edilmiştir. Tertibatlarda su girişi ve çıkışı, meyilli bir yüzeyden tam ortada toplanarak yapılmaktadır.
- 4) Vanalar; Tüm kolonlar giriş ve çıkış teçhizatı ile donatılmıştır. Akımı gerektiğinde durdurabilmek için tüm giriş ve çıkışlara vanalar yerleştirilmiştir.
- 5) Bağlantı boruları; Pompanın giriş ve çıkışında verimli ve istikrarlı debi sağlanabilmesi açısından pompa üretici firması tarafından tavsiye edilen yüksek esneklik ve dayanıklılık kapasitesine sahip orjinal silikon hortumlar (Tygon marka) kullanılmıştır.
- 6) Su depolama sistemi; Su giriş ve çıkışları için 35 lt'lik 6 adet dayanıklı plastik bidon temin edilmiştir.
- 7) Kolon tutma aksamı; Kolonlar 1.00 m. eninde 1.20 m boyunda arkadan dayanaklı ahşap aksam üzerinde esnek metal kelepçelerce tutulmaktadır.

5.5. İyon Değiştirici Malzeme Hazırlık Aşamaları

Deneylerde iyon değiştirici olarak Bigadiç klinoptiloliti kullanılmıştır. Deneyler farklı boyutlarda malzeme kullanılarak tekrarlanacağından, malzeme kırma ve eleme işlemleri ile boyutlandırma çalışmaları yapılmıştır. Balıkesir Bigadiç yöresinden Bigadiç ETİBOR İşletmelerinden Zafer Madencilik Ltd.şirketi aracılığıyla temin edilen 120 kg ağırlığındaki klinoptilolit, çeneli, konik kırıcı ve merdaneli kırıcı gibi kırıcılar kullanılarak boyutları 4 mm'nin altına indirilmiştir. Elek analizi, elek sarsma

aleti ve 0,5,1,2 ve 4 mm'lik standart elekler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 15 dakikalık sarsma periyotlarının ardından klinoptilolit için, 0,5-1, 1-2 ve 2-4 mm aralıklarında dane boyutları elde edilmiştir. Temin edilen klinoptilolit için Maden Mühendisliği'nden yardım alınarak XRD diyagramı çıkarılmıştır.

Klinoptilolit in doğal hali dışında değişik formlarda kullanımı mümkündür. Yapılan literatür araştırmalarında klinoptilolit in amonyakla iyon değişimi için Na formunun en uygun olduğu görülmüştür. (Koon ve Kaufman 1975, Jorgensen ve diğ. 1979, Booker ve diğ. , 1996). Bunun için laboratuvar çalışmalarında klinoptilolit 1 M NaCl çözeltisi ile şartlandırılarak pH 7-8 aralığında Na formuna getirilmiştir.

Şartlandırma: Şartlandırma amacıyla ilk olarak malzeme 6-8 kez saf su ile yıkanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Daha sonra distile su ile hazırlanan 1M NaCl çözeltisi 48 saat süreyle 1 BV /saat debi ile (Yani bir saatte basılan toplam su hacmi yatak hacmine eşit olacak kadar debi ile) şartlandırma kolonlarına beslenerek klinoptilolit in şartlandırması gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin sonunda kolonlardan alınan klinoptilolit, üzerinde tuz kalmayınca kadar 6-8 kere saf su ile yıkanmış, oda şartlarında serilerek kurutulmuş ve daha sonraki kolon çalışmalarında kullanılmak üzere saklanmıştır.

Bu tez kapsamında iyon değiştirici olarak kullanılacak olan klinoptilolite ait XRD sonucu Şekil 5.2 de görülmektedir. Bu analiz sonucu pek çok klinoptilolit pik noktası tespit edilmiştir. Bu durum elde edilen Bigadiç klinoptilolit inin çok iyi bir kristal yapısı olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.2 Bu tez kapsamında kullanılacak olan Bigadiç klinoptilolitine ait XRD analizi

5.6 Filtrasyon Malzemesi Hazırlık Aşamaları

Filtre kumu genel olarak üzerinde fazla durulmayan, filtre ve arıtım giderleri arasında yüksek bir meblağ oluşturmeyen ve en önemlisi çalışan bir tesiste son kullanıcının müdahale edemeyeceği bir malzemedir. Tesiste filtreler içerisine yerleştirildikten sonra elle tutulup gözle görülmediği için filtre malzemesinden kaynaklanan aksaklıkların tesbiti de kolay olmamaktadır.

Filtre malzemesinde kaynaklı sorunlar pek çok zaman kaybına sebep olmakta, işletim maliyetini arttırmaktadır. Filtre malzemesinden kaynaklı sıkıntılara son verebilmek için, en başta doğru ham madde ile üretilmiş ve uygun teknik özellikler taşıyan filtre malzemesinin kullanımı yeterlidir. Uygun teknik özellikler taşıyan filtre malzemelerinin kullanımı ile tesis ve ekipmanın uzun süre sorunsuz hizmet etmesi sağlanır.

Kuars kumları, içme suyu arıtımı ve evsel/endüstriyel kullanılmış suyun yeniden arıtımı sektörlerinde filtre malzemesi olarak kullanılmaktadır. Pek çok avantajı bulunan doğal kuvars kumları, madenlerden çıkarıldıktan sonra yıkama, zenginleştirme ve sulu eleme işlemlerine tabi tutulmaktadır. Sulu eleme işlemleri kum tanelerin şeklinin yuvarlak olmasını sağlamakta, bu da filtrasyonda çok daha iyi yerleşim imkanı sağlamaktadır.

İçerisinde organik malzeme bulundurmeyen ve suda eriyebilen hiç bir tuz içermeyen standartlara uygun olarak hazırlanmış kuars kumları, tüm kum filtrelerinin en önemli girdisi durumundadır. Doğal kuvars kumu, filtre malzemesi olarak yurt içerisinde üretilmesi, düşük maliyetle tüketicilere ulaştırılması ve yüksek fayda/maliyet oranı ile en dikkat çekici filtre malzemeleri arasında başta gelmektedir.

Filtre malzemesi olarak üretilen kuars kumları “Türk Standartları Enstitüsü’nün” TS 4081 ve “Avrupa Birliği Normu” olan EN 12904 standartlarına uymak zorundadır. Bu standartlara göre filtre malzemesi olarak üretilen kuars kumları için dane büyüklüğü dağılımı analizleri, kimyasal analizler, asitte çözünürlük ve kırılgenlik

testleri yapılmalıdır. Dane büyüklüğü dağılımına bakılmadan, kimyasal maddeler ile ne reaksiyon vereceği bilinmeden kullanılan malzemeler filtrasyon sisteminde onarımı güç sorunlara yol açabilmekte, filtrasyon verimini düşürmektedir.

Bu tez kapsamında kullanılan kuars kumu Terkos ve Alibey Barajlarından alınan içme suyunu arıtan, İSKİ Kağıthane İçme Suyu Arıtma Tesislerinden elde edilmiştir. Tesise ait filtrelerde kullanılmakta olan standartlara uygun olarak üretilmiş kuars kumu, 0,5 ve 0,8-1,25 mm aralığında bulunmaktadır.

5.6.1 Kum Özgöl Ağırlığının Bulunması

Filtre malzemesi yoğunluğu, belirli su sıcaklığında geri yıkamada istenilen genleşmeyi sağlamak için gerekli olan debiyi belirlemede önemli bir parametredir. Ayrıca, geri yıkamadan sonra filtre malzemesinin çökelme hızını etkileyen en önemli parametrelerden biridir (Logsdon ve diğ., 2002). Bu nedenle kum yoğunluğunun bulunması büyük önem taşır. Burada kum yoğunluğunun genel olarak nasıl bulunduğu hakkında bilgi verilecektir.

Saf suyla temizlenip 105 °C’de kurutulan 50 veya 100 ml’lik piknometre şişelerinde, suyun filtre malzemesi ile yer değiştirmesi prensibine göre yoğunluk ölçümü yapılmıştır. Yoğunluğu belirlenecek numune deneyden önce 2 saat süreyle 110 °C ± 5°C’de bekletilmiştir. Yoğunluk ölçümü sırasında cam piknometre şişesinin cidarlarına kum danelerinin yapışmadığı ve filtre malzemesi arasında hava kabarcıkları kalmadığı gözlemlendikten sonra tartımlar yapılarak hesaplama işlemine geçilmiştir. Piknometrede filtre malzemesinin su ile yer değiştirmesi prensibine göre yoğunluk ölçümü Cleasby (1973) tarafından belirlenen 13 adımlı yöntemle yapılmıştır. Özgöl ağırlık ölçümü beş kez tekrarlanarak ortalaması alınmıştır. Bu deneysel işlemler sonunda kumun bu tez kapsamında kullanılan kumun ortalama özgöl ağırlığı 2,54 gr/cm³, zeolitin ortalama özgöl ağırlığı 2.32 gr/ cm³ bulunmuştur.

5.6.2 Porozite Tayini

Kum, filtre kolonuna doldurulmadan önce kuru ağırlığı tartılmıştır. Daha sonra, içi suyla dolu filtre kolonuna L yatak kalınlığı kadar kum doldurulmuştur. Derin yataklı

filtre kolonunun çapı belli olduğundan kumun doldurulduğu hacim hesaplanmıştır. Filtrenin hacmi;

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} = Aa * L \quad (5.1)$$

Kolondaki kumun hacmi;

$$V_k = (1 - \varepsilon) * Aa * L \quad (5.2)$$

şeklindedir.

- V : Filtre yatağı hacmi
- D : Kolonun iç çapı
- Aa : Kolonun kesit alanı
- L : Filtre yatak yüksekliği
- V_k : Kolondaki kumun hacmi
- ε : Porozite
- μ : Suyun dinamik viskozitesi

Aynı sonucu, tarttığımız kumun kuru ağırlığını (G_k) kumun özgül ağırlığına (γ) bölerekte bulabilmek mümkündür, (Kumun özgül ağırlığı (γ_s) 2544 kg/m³ bulunmuştur).

$$V_k = \frac{G_k}{\gamma_s} \quad (5.3)$$

Bu denklemle bulunan değeri, denklem 5.3'de yerine yazıp tek bilinmeyenli denkleme dönüştürmek mümkündür. Buradan ε çekilirse porozite tayin edilebilir.

5.7. Deneysel Çalışma

Deneysel çalışma kesikli ve sürekli deneylerden oluşmaktadır. Kesikli çalışmalarda tez kapsamında kullanılacak Bigadiç klinoptilolitinin orjinal amonyum izoterm eğrisi belirlenmiş ve böylece amonyum tutma kapasitesi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu

tez kapsamında araştırılan adsorbsiyon ile amonyum giderimi ve filtrasyon ile AKM giderimi proseslerinin her ikisi için de önemli bir parametre olan dane boyutunun, amonyum tutma kapasitesi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla farklı dane boyut aralıkları için izotermeler çizilerek karşılaştırılmıştır. Sürekli deneyler çeşitli parametrelerin iyon değişimi özelliklerine etkisinin incelendiği kırılma noktası deneylerinden oluşmaktadır. Şekil 6.1’de deneylerde kullanılan deney düzeneği gösterilmiştir. Şekil 6.1’de gösterilen deney düzeneği, sürekli deneylerin gerçekleştirildiği farklı kademelerde, malzeme boyutu, malzeme cinsi, kolon yatak yüksekliği, temas süresi, kolon çapı gibi parametreler değiştirilerek farklı amaçlar için yeniden düzenlenmiştir. Her kademede, bir önceki kademede elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak değişiklik yapılmıştır. Filtreler her zaman üçlü sistem şeklinde değil, ikili ve tekli sistemler şeklinde de çalışılmıştır.

5.7.1.Kesikli Deneyler

Bigadiç klinoptilolit in amonyak değişim kapasitesinin belirlenmesi için kesikli sistem çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda deiyonize su ve Amonyum klorür kullanılarak farklı amonyum konsantrasyonuna sahip çözeltiler hazırlandı ve 0,5-1 ve 1-2 mm dane boyutunun kullanıldığı ön izoterm çalışmaları yapıldı. İzoterm çalışması sırasında şu işlemler yapıldı:

Belirli $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonunda hazırlanan çözeltilerden 100 ml hacminde alınarak 125 ml’lik şilifli kapaklı erlenlere konulmuş, Bigadiç klinoptiloliti 0,1-5 gr aralığında farklı ağırlıklarda tartılarak erlenlere ilave edilerek, 25°C ’lik sabit sıcaklıkta çalkalayıcıda 150 dev/dakikalık çalkalama hızı ile 24 saat çalkalanmış ve erlendeki amonyumun denge konsantrasyonunun ölçümü yapılmıştır. Literatürde bu tür izoterm çalışmalarında dengeye gelme süresi olarak 24 saatlik sürenin yeterli olduğu görülmüştür (Komorowski ve Yu, 1997; Beler Baykal vd, 1996). Çalkalama işlemi sonunda sıvı ve katı faz ayrılarak çözeltideki amonyum denge konsantrasyonları (C_e) ölçülmüştür. Çözeltinin başlangıç ve son amonyum konsantrasyonları farkından birim ağırlıktaki klinoptilolit tarafından adsorblanan amonyum miktarı (q_e) hesaplanmıştır.

$$q_e = ((C_o - C_e)V)/M$$

q_e : Birim ağırlıktaki zeolitin adsorbladığı amonyum kütlesi (mg/g)

C_o : Başlangıç amonyum konsantrasyonu (mg/lt)

C_e :Çalkalama süreci sonunda ölçülen amonyum denge konsantrasyonu (mg/lt)

V : Erlene konan atıksu hacmi(L)

M :Erlene konan zeolit mktarı (g)

Bulunan q_e değerleri çıkış konsantrasyonu C' 'ye karşı gösterilerek izoterm eğrileri çizildi.

5.7.2 Sürekli Deneyler

Sürekli deneyler kapsamında iyon değişimi prosesi ile amonyum gideriminde kullanılan klinoptilolit ile filtrasyon prosesi ile AKM gideriminde kullanılan kumun, çok amaçlı bir filtre sistemi içinde birlikte kullanılarak, amonyum ve AKM gideriminin aynı sistem içinde gerçekleştirilebileceği en uygun koşullar sürekli deneylerle araştırılmıştır.

Kırılma noktası deneyleri kapsamında yapılan çalışmalarda Bahçeşehir Atıksu Arıtma Tesisi çıkışından alınan atıksu kullanılmıştır. Kullanılan atıksu karakterizasyonu Tablo 5.1'de verilmiştir. Çalışma süresince, deney düzeneği çıkışlarından 1-2 saat arayla numune alınarak amonyum ve AKM konsantrasyonları ölçülmüştür. Kademeli olarak çalışılmış ve her kademedede elde edilen sonuçlar diğer kademedeki değişimler yapılırken dikkate alınmıştır. Böylece hedeflenen çok amaçlı filtre sistemi için optimum koşulların belirlenmesinde deneysel çalışmanın doğru yönlendirilmesinin mümkün olacağı düşünülmüştür.

5.7.2.1 Dane Boyutunun ve Malzeme Özelliklerinin Sistem Verimine Etkisinin İncelenmesi (1.Aşama)

Bu tez kapsamında yapılan ilk grup çalışmada;

a)Kolon temas süreleri eşit tutularak farklı dane boyutlarının amonyum tutma ve AKM giderim kapasiteleri üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Tablo 5.6’da birinci aşama çalışma koşulları verilmektedir.

Tablo 5.6 Birinci Aşama Çalışma Koşulları

$T_h=10$ dak (Tüm kolonlar hidrolik bekletme süresi)
$T_c=10$ dak (Zeolit kolonlar için temas süresi)
Kolon Çapı:5 cm
Yatak yüksekliği:50 cm
Giriş Amonyum Konsantrasyonu:20 mg/lt
Giriş AKM Konsantrasyonu:97 mg/lt
Debi:9.82 ml/dak
Yatak hacmi: 982 ml
Yatak yüzey alanı:19.63 cm ²
Yükleme hızı: 0,3 m ³ /m ² saat
0,5-1 mm zeolit porozite: 0,45 Cu:1,9
1-2 mm zeolit porozite: 0,51 Cu:1,6
2-4 mm zeolit porozite: 0,64 (Daha sonraki aşamalarda bu boyut kullanılmamıştır)
1-2 mm kum porozite : 0,42 Cu:1,8

Kolonlar , 1-2 mm kum ve 1-2 mm zeolit kolon olarak ikili olarak çalıştırılmış, daha sonra zeolit dane çapının etkisinin belirlenebilmesi için 0,5-1 mm zeolit ve 2-4 mm zeolit kolonlar ikili olarak çalıştırılmıştır.

5.7.2.2 Dane Boyutu-Kolon Çapı İlişkisinin Sistem Verimine Etkilerinin İncelenmesi (2. Aşama)

Bu çalışmada daha küçük dane boyutu kullanılarak, kolon çapı -dane boyutu oranının yükseltilmesi hedeflenmiştir. Bu aşamada kolon çapı 3 cm’e düşürülmüştür. Tablo 5.7’de ikinci aşama çalışma koşulları verilmektedir.

Tablo 5.7 İkinci Aşama Çalışma Koşulları

$T_h=8$ dak (Kum kolon), $T_c=8$ dak (Zeolit Kolon), $T_c=4$ dak (Kum+Zeolit kolon)	
Kolon çapı:3 cm	Yatak Yüksekliği:50 cm
Debi:44 ml/dak	
(Kum porozite 0,36 Cu:1,34), (Zeolit kolon porozite 0,45 Cu:1,9)	
Giriş Amonyum Kons:20 mg/lt	
Giriş AKM: 68mg/lt	
Kolon hacmi:353 ml	
Yüzey alanı: 7,07 cm ²	
Yükleme hızı :3,73 m ³ /m ² saat	

5.7.2.3 Kolon Hidrolik Bekletme Süresinin Sistem Verimine Etkilerinin İncelenmesi (3.Aşama)

Bu aşamada 2. grup çalışmada kum filtre ve kum+ zeolit filtre için oluşan kısa işletim süresinin arttırılması, AKM açısından daha iyi çıkış suyu kalitesi elde edilebilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla kolon hidrolik bekletme süresi 30 dakikaya çıkarılmıştır. Tablo 5.8’de üçüncü aşama çalışma koşulları verilmektedir.

Tablo 5.8 Üçüncü Aşama Çalışma Koşulları

$T_h=30$ dak(Kum kolon) , $T_c=30$ dak (Zeolit Kolon), $T_c=15$ dak (Kum+Zeolit kolon)	
Kolon çapı:3 cm	
Yatak Yüksekliği:50 cm	
Çok amaçlı filtrede klinoptilolit yatak yüksekliği: 25 cm	
(Klinoptilolit için $T_c =15$ dak)	
Debi: 11.78 ml/dak	
(Kum porozite 0,36 Cu:1,34), (Zeolit kolon porozite 0,45 Cu:1,9)	
Giriş Amonyum Kons:20 mg/lt	
Giriş AKM: 68mg/lt	
Yüzey alanı:7,07 cm ²	
Yatak hacmi: 353 ml	
Yükleme hızı : 1 m ³ /m ² saat	

5.7.2.4 Klinoptilolit Miktarı ve Yerleştirilme Şeklinin Sistem Verimine Etkilerinin İncelenmesi (4.Aşama)

Bu aşamada debi, yüzey yükü, kolon çapı, kolon hacmi, giriş amonyum ve AKM konsantrasyonları gibi tüm başlangıç koşulları üçüncü kademe ile aynı tutulmuş, sadece çok amaçlı filtre içindeki klinoptilolit miktarı azaltılarak, filtre içinde farklı konumlara yerleştirilmiştir. Filtre içine 10 cm yüksekliğinde klinoptilolit, üstte, altta ve karışık olarak yerleştirilmiştir. Böylece çok amaçlı filtre içinde kullanılabilecek en uygun klinoptilolit miktarı ve yerleştirilme konumu belirlenmeye çalışılmıştır. Tablo 5.9’da dördüncü aşama çalışma koşulları verilmektedir.

Tablo 5.9 Dördüncü Aşama Çalışma Koşulları

$T_h=30$ dak(Kum kolon) , $T_c=30$ dak (Zeolit Kolon), $T_c=15$ dak (Kum+Zeolit kolon)
Kolon çapı:3 cm
Yatak Yüksekliği:50 cm
Klinoptilolit yatak yüksekliği: 10 cm (Klinoptilolit için $T_c:6$ dak.)
Debi: 11.78 ml/dak
(Kum porozite 0,36 Cu:1,34), (Zeolit kolon porozite 0,45 Cu:1,9)
Giriş Amonyum Kons:20 mg/l
Giriş AKM: 68mg/l
Yüzey alanı:7,07 cm ²
Yatak hacmi: 353 ml
Yükleme hızı : 1 m ³ /m ² saat

5.7.2.5 Temas Süresi ve Filtrasyon Hızının Çok Amaçlı Filtre Sistemi İçinde Gerçekleşen Prosesler Üzerindeki Etkisinin İncelendiği Çalışma Aşaması (5.Aşama)

Bu aşamada farklı T_h ve S değerleri için 0,5-1 mm kum kolon, zeolit kolon ve kum+zeolit kolon için AKM ve amonyum giderim verimleri önce geri yıkama yapılmadan karşılaştırılmıştır. 5. Aşama çalışma koşulları:

Tablo 5.10'da beşinci aşama çalışma koşulları verilmektedir.

Tablo 5.10 Beşinci Aşama Çalışma Koşulları

$T_h=10$ dak	$S=2,95 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=20$ dak	$S=1,49 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=25$ dak	$S=1,19 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=30$ dak	$S=1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm

(Kum porozite 0,36 , Cu:1,34) , (Zeolit kolon porozite 0,45, Cu:1,9)

5.7.3 Farklı Temas Süresi ve Yüzey Yüklerinde Kum Kolon, Zeolit Kolon ve Çok Amaçlı Kolon Çalışma Koşullarının Geri Yıkama Yapılarak İncelenmesi

Geri yıkama yapılırken önce sistemin çalışması durdurulmuştur. Geri yıkama vanası önce yavaş açılarak yatak kabartılmış, geri yıkama hızı göreceli olarak arttırılmıştır. Geri yıkmaya 10 dak süreyle devam edilmiştir. Geri yıkama bitiminde vana yine yavaşça kapatılmış, yatağın daha iyi oturması için su hızı göreceli olarak azaltılmıştır. Kum + zeolitten oluşan çok amaçlı sistemde geri oturma sırasında kum ve zeolit birbiri karışmayarak zeolit düşük özgül ağırlığı nedeniyle yine üste oturması önemli bir deneysel bulgu olmuştur.

Deneyler, aşağıda verilen dört farklı temas süresi ve filtrasyon hızı için kum kolon, zeolit kolon ve kum+zeolitten oluşan çok amaçlı kolon sistemleri üzerinde yürütülmüştür. Tablo 5.11'de geri yıkama yapılan çalışma koşulları verilmektedir.

Tablo 5.11 Geri Yıkamalı Deneyler Çalışma Koşulları

$T_h=10$ dak	$S=2,95 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=20$ dak	$S=1,49 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=25$ dak	$S=1,19 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=30$ dak	$S=1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm

Kullanılan Dane apları İçin Geri Yıkama Hızları

0,5-1 mm Zeolit kolon için geri yıkama hızı: 10,28 m/saat

0,5-1 mm Kum+Zeolit kolon için geri yıkama hızı: 13,71 m/saat

0,5-1 mm kum kolon için geri yıkama hızı: 17,2 m/saat

Giriş NH₄-N: 20 mg/lt

Giriş AKM: 72 mg/lt

(Kum porozite 0,36 , Cu:1,34) , (Zeolit kolon porozite 0,45, Cu:1,9)

5.7.4. Farklı Temas Süresi ve Yüzey Yüklerinde Kum Kolon, Zeolit Kolon ve Çok Amaçlı Kolon Yük Kayıpları

Yük kaybı oluşumu filtrasyon bölümünde de açıklandığı gibi geri yıkamanın belirlenmesi aşamasında büyük önem taşır. Bu kısımda aşağıda verilen bekletme süreleri ve yüzey yükleri için kum kolon, zeolit kolon ve kum+zeolit kolon için yük kayıpları ölçülmüştür. Tablo 5.12’de yük kaybı ölçümlerinin yapıldığı çalışma koşulları verilmektedir.

Kolon yüksekliği 1 m olduğundan tüm kolonlar için maksimum yük kaybı 80 cm kabul edilmiştir, (Seçilen tıkanma sınır değeri).

Tablo 5.12 Yük Kaybı Ölçümleri Deney Koşulları

T _h =10 dak	S=2,95 m ³ /m ² saat	hyatak=50 cm	Kolon apı:3 cm
T _h =20 dak	S=1,49 m ³ /m ² saat	hyatak=50 cm	Kolon apı:3 cm
T _h =25 dak	S=1,19 m ³ /m ² saat	hyatak=50 cm	Kolon apı:3 cm
T _h =30 dak	S=1 m ³ /m ² saat	hyatak=50 cm	Kolon apı:3 cm

Kullanılan Dane apları İçin Geri Yıkama Hızları

0,5-1 mm Zeolit kolon için geri yıkama hızı: 10,28 m/saat

0,5-1 mm Kum+Zeolit kolon için geri yıkama hızı: 13,71 m/saat

0,5-1 mm kum kolon için geri yıkama hızı: 17,2 m/saat

(Kum porozite 0,36 , Cu:1,34) , (Zeolit kolon porozite 0,45, Cu:1,9)

5.7.5 Seçilen Çok Amaçlı Filtre Sistemi için Rejenerasyon+ Geri Yıkama ile Birlikte Amonyum ve AKM Giderimlerinin İncelenmesi

Tüm deneysel çalışma sonunda, %50 zeolitin üstte kullanıldığı, $T_h= 20$ dak, $T_c=10$ dak (Kum+zeolit kolon) olan sistem en uygun sistem olarak belirlenmiş ve bu sistem üzerinde geri yıkama ve rejenerasyon birlikte gerçekleştirilmiştir.

Bu deneme esnasında amonyum için dönüm noktası oluşmasını takiben yük kaybı artışı da başladığından geri yıkama ve rejenerasyonun birlikte gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Önce 10 dak geri yıkamanın ardından 5 BV/saat yükleme ile 1M NaCl sisteme 4 saat boyunca beslenerek rejenerasyon yapılmış, bunu takiben 10 dak süreyle tuzu atmak amacıyla tekrar geri yıkama yapılmıştır.

Geri yıkama ile ilgili araştırmalar incelendiğinde hepsinde geri yıkama süreleri farklı olmakla birlikte hepsinde yaklaşık olarak 20 BV suyun geri yıkama esnasında yataktan geçirildiği görülmüştür (Liberti ve diğ. 1981, Booker ve diğ. 1996, Baykal ve Güven 1997, Turan ve diğ. 2003). Bu nedenle bu tez kapsamında kullanılan malzeme geçirimsizliği dikkate alınarak 20 BV geri yıkama suyu 4 saat sürede sisteme verilmiştir.

6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

6.1 Kesikli Deneyler

Deneysel çalışma aşamasında öncelikle kesikli sistemler oluşturularak izoterm çalışmaları yapılmıştır. Bigadiç klinoptilolitinin farklı boyutlarının, izotermelerini belirleyebilmek için farklı boyutsal gruplandırmalar yapılmış klinoptilolit örnekleri, başlangıç konsantrasyonları önceden bilinen belirli hacimde atıksu numuneleri ile sabit sıcaklıkta çalkalayıcıda (shaker) denge hali oluşana kadar temas ettirilmiştir. Daha sonra numuneler çalkalayıcıdan çıkarılarak, çözelti ve klinoptilolit fazları birbirinden ayrılmış ve çözeltideki amonyum konsantrasyonları amonyum probu ve iyonmetre yardımıyla ölçülmüştür. Çözeltideki başlangıç ve son amonyum konsantrasyonları farkından katı fazdaki amonyum miktarı hesaplanmıştır. Bulunan değerler kullanılarak izoterm eğrileri çizilmiştir.

6.1.1 Denge ve Adsorbsiyon İzotermi

Sabit sıcaklıkta ve denge halinde adsorbe olan kirletici miktarının, çözelti içinde kalan madde miktarına bağlı olarak değişiminin gösterildiği eğrilere adsorbsiyon (iyon değiştirme) izotermi adı verilir. Genel olarak birim ağırlıktaki adsorblayıcı malzeme tarafından adsorblanan madde miktarı, bu maddenin çözeltideki konsantrasyonunun artması ile artmaktadır. İyon değişimi prosesi, adsorbsiyon türlerinden biri olduğu için, iyon değiştirici fazı ve çözelti fazı arasındaki iyonların denge halindeki dağılımı, geleneksel adsorbsiyon ifadelerinden biri ile tanımlanabilir. Bu denge durumundaki dağılımı ifade etmek için Bölüm 2’ de açıklanan Langmuir ve Freudlich izoterm modelleri kullanılmaktadır.

İyon değiştirme izotermi, iyon değiştirici olarak kullanılan malzemenin (Bu tez için klinoptilolit) maksimum kapasitesinin belirlenmesi amacıyla kullanılır, (İyon değişimi izotermi ile ilgili ayrıntılı bilgi beşinci bölümde verilmektedir). Bu kısımda tez kapsamında iyon değiştirici malzeme olarak kullanılan klinoptilolit

iyon değiştirme kapasitesinin Freundlich ve Langmuir izoterm modellerinden hangisine uygunluk gösterdiği araştırılacaktır. Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine ait form  lleri özetleyecek olursak;

1-Langmuir İzotermi:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q^0} + \frac{1}{Q^0 \cdot b} \cdot \frac{1}{C} \quad q_e = \frac{Q^0 \cdot b \cdot C}{1 + bC}$$

Burada ;

Q^0 :Adsorbanın birim ağırlığı üzerinde adsorblanan kirletici mol sayısı

q_e :Belirli bir C konsantrasyonuna karşılık gelen ,adsorbanın birim ağırlığı üzerinde adsorblanan kirletici mol sayısı

C :  zelti içindeki kirletici konsantrasyonunu göstermektedir.

2-Freudlich İzotermi

$$q_e = K_F \cdot C^{1/n} \quad \log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \cdot \log c$$

K_F :Adsorbsiyon kapasitesini gösteren Freudlich katsayısı,

$1/n$:1'den büyük katsayıdır.

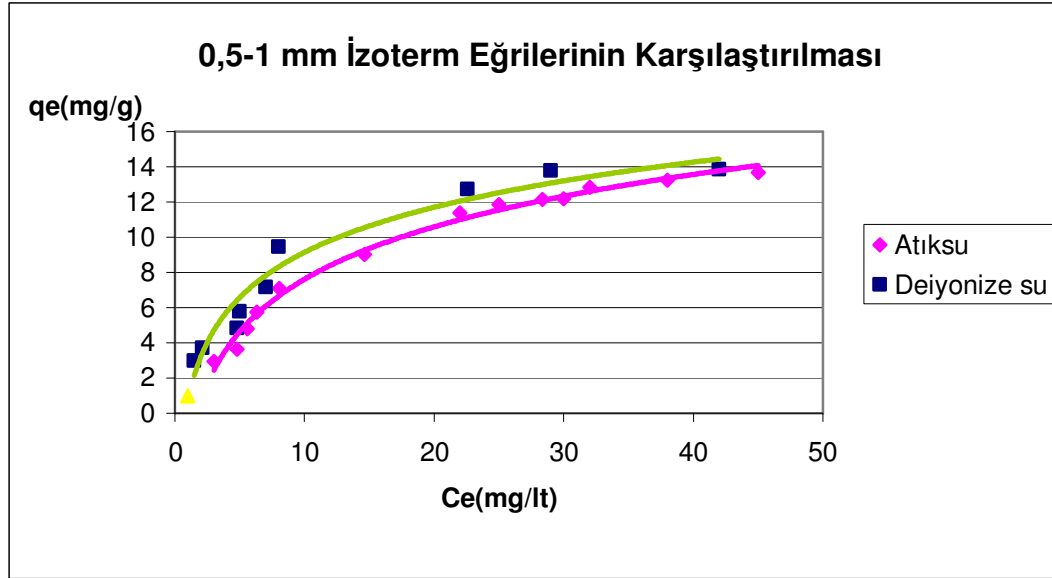
Bigadiç klinoptilolitinin amonyum değişim kapasitesinin yukarıdaki form  llerle özetlenen Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uygun olup olmadığının belirlenebilmesi için kesikli sistem çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda amonyum klorürün deiyonize su içinde çözündürülmesi ile elde edilen farklı amonyum konsantrasyonuna sahip   zeltiller ile amonyumu doğal olarak ihtiva eden gerçek atıksu kullanılmıştır.

6.1.2 İzoterm Eğrilerinin Karşılaştırılması

şekil 6.1 ve 6.2'de kesikli deney sonuçları kullanılarak çizilen izoterm eğrileri gösterilmektedir. İzoterm eğrileri atıksu ve deiyonize su kullanılarak iki farklı koşulda çizilmiş, atıksudaki yarışan iyon etkisi bu şekilde tespit edilmeye çalışılmıştır. İzotermelerde kullanılan klinoptilolit boyutlarının 0,5-1 ve 1-2 arasında seçilmesi, bu boyutlarda amonyum giderim kapasitesinin yüksek olmasının yanı sıra, filtrelerde danecik boyutu/filtre çapı ilişkisinin dikkate alınmasından kaynaklanmaktadır. Bu oranın (filtre çapı/danecik boyutu) 40'ın üzerinde olması filtrasyon verimi açısından olumlu sonuçlar vermektedir (Ghosh vd.1967). Bu tez

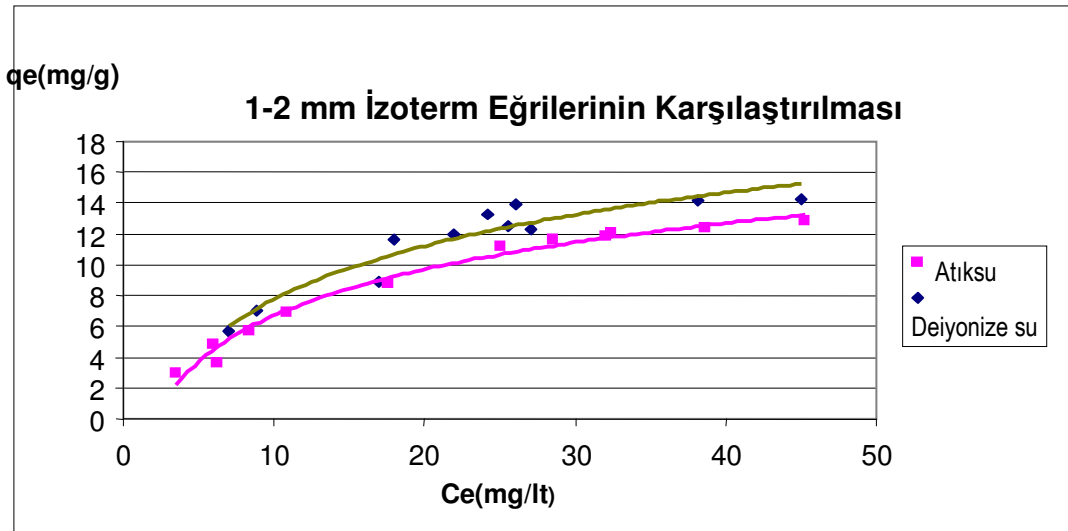
kapsamında yapılan sürekli deneylerde 5 ve 3 cm çapında kolon kullanıldığından malzeme çapı bu aralıkta seçilmiştir, (5 cm/1 mm=50, 3 cm/0,5 mm=60).

Şekil 6.1’de 0,5-1 mm klinoptilolit için deiyonize su ve atıksu kullanılarak çizilen izoterm eğrileri karşılaştırılmıştır.



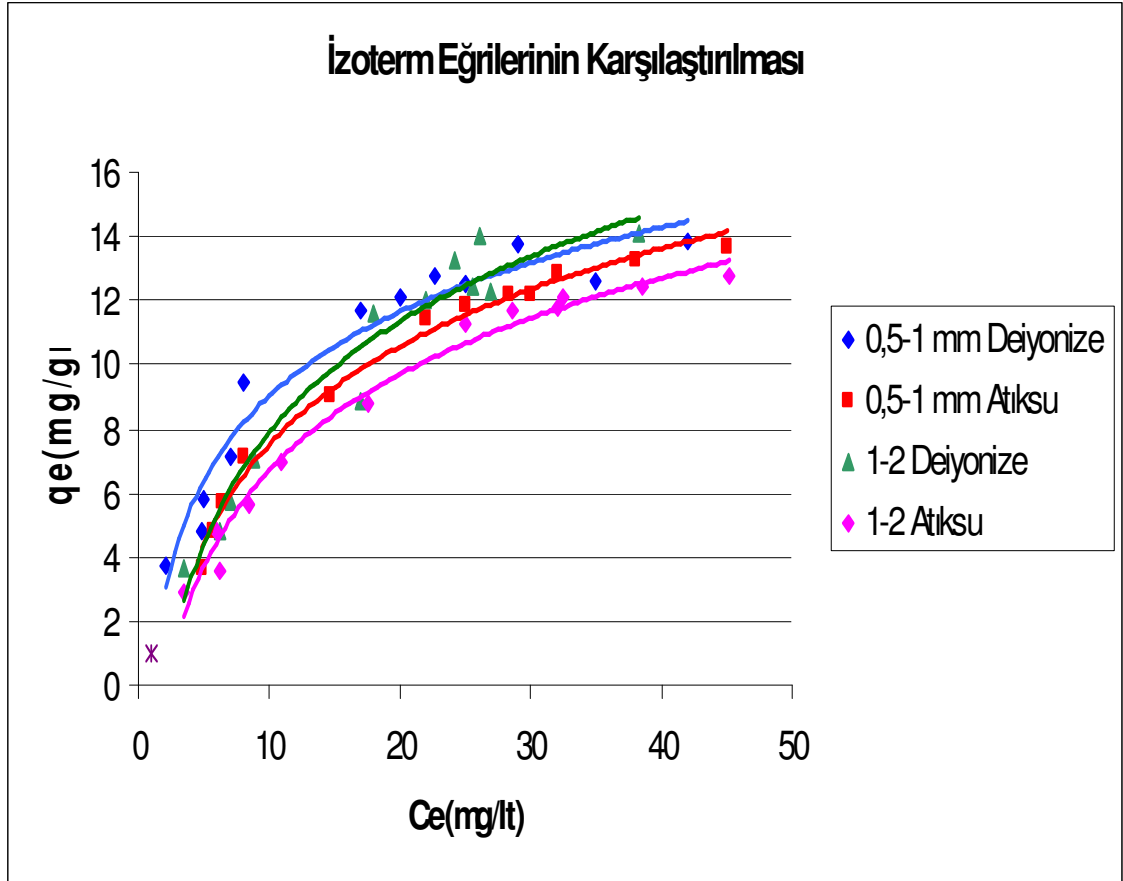
Şekil 6.1 0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı kullanılarak oluşturulan izoterm eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 6.2’de ise 1-2 mm klinoptilolit için deiyonize su ve atıksu kullanılarak çizilen izoterm eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 6.2 1-2 mm aralığında klinoptilolit dane çapı kullanılarak oluşturulan izoterm eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de gösterilmekte olan izoterm eğrileri incelendiğinde her iki dane çapı için de deiyonize su ile yapılan denemelerde daha yüksek amonyum giderimi elde edildiği gözlenmektedir. Bu durum, atıksuda bulunan yarışan iyonların varlığından kaynaklanmaktadır. Deiyonize suda klinoptilolitın amonyum yerine tutabileceği farklı iyonlar bulunmadığından klinoptilolitın tüm tutma kapasitesi amonyum iyonları için kullanılmakta, bu da amonyum giderim kapasitesini arttırmaktadır.



Şekil 6.3 0,5-1 ve 1-2 mm aralığında klinoptilolit dane çapı kullanılarak oluşturulan tüm izoterm eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 6.3 'de 0,5-1 mm ve 1-2 mm dane boyutları için çizilen tüm izoterm eğrileri karşılaştırılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi 0,5-1 mm dane çapındaki klinoptilolit için atıksu ve deiyonize su için çizilen izoterm eğrileri için, 1-2 mm'e karşı gelen aynı kategorideki eğrilere göre daha yüksek tutma kapasiteleri elde edilmiştir. Bu

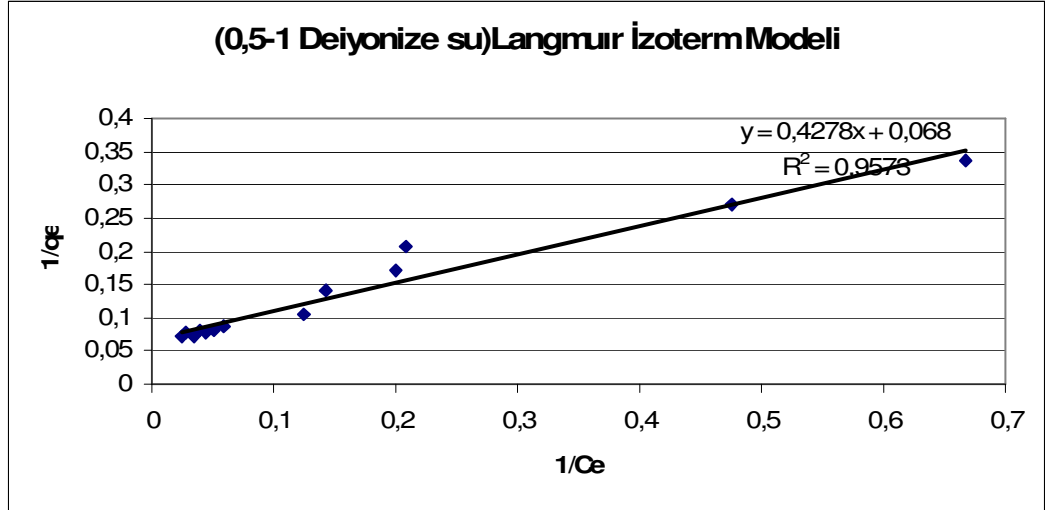
durum danecik boyutu azaldıkça amonyum giderim kapasitesinin artmasından kaynaklanmaktadır.

Atıksu ve deiyonize su kullanılarak yapılan çalışmaların sonuçları kendi içlerinde incelendiğinde her iki grup danecik boyutu aralığı için de deiyonize su ile yapılan denemelerde daha yüksek tutma kapasitelerinin olduğu gözlenmiştir. Yukarıda da açıklandığı gibi atıksuda bulunan yarışan iyonların varlığı bu duruma neden olmaktadır. Genel olarak izoterm eğrilerinin karşılaştırıldığı şekil 6.3 incelendiğinde, bu tez kapsamında kullanılan Bigadiç klinoptiloliti için elde edilen amonyum değişim kapasitesinin, deneylerde yaklaşık olarak çalışılacak amonyum giriş konsantrasyonu olan 20 mg/l için 1-2 mm dane boyutu ve atıksu kullanılan durum için pH 7,3 için ~9,3 mg/g olduğu görülmektedir. Daha önce Bigadiç klinoptilolitinin amonyum giderim kapasitesinin incelendiği Beler Baykal ve diğ (1996), Beler Baykal ve Akça Güven (1997), (İnan 2001) çalışmalarında aynı koşullar için pH 8’de Bigadiç klinoptiloliti amonyum değişim kapasitesi 8 mg/g civarında bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan Bigadiç klinoptiloliti daha önceki kapasiteler mertebesinde olmakla birlikte, daha yüksek amonyum tutma kapasitesine sahiptir. Kapasitede görülen bu tip farklılıklar, farklı çalışmalarda kullanılan zeolitlerin, farklı zonlardan alınmasından kaynaklanmaktadır.

6.1.3 İzoterm Modellerine Uygunluğun Araştırılması

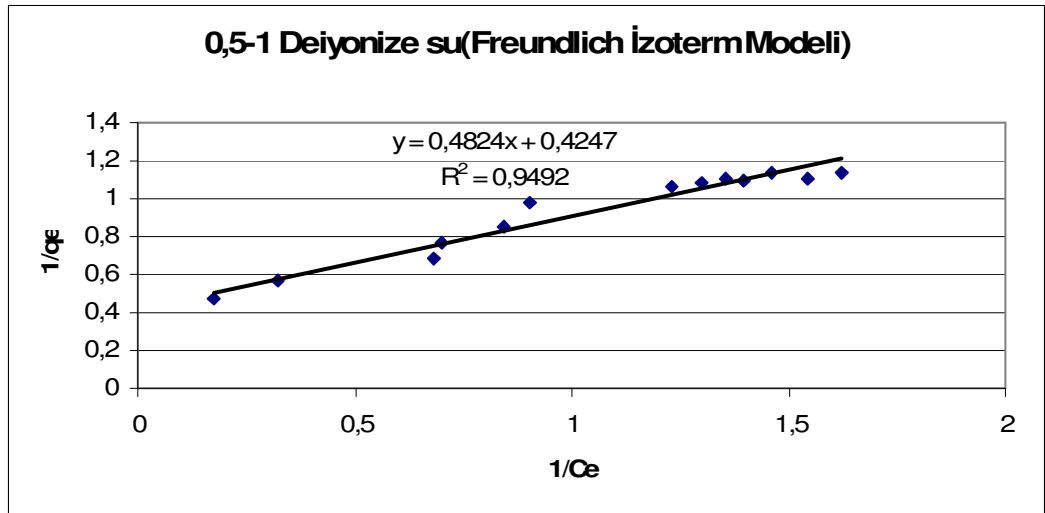
İlk olarak 0,5-1 mm dane çapı için Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uygunluk araştırılmıştır.

Şekil 6.4’de 0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve deiyonize su kullanılarak oluşturulan Langmuir izoterm modeli grafiği gösterilmektedir.



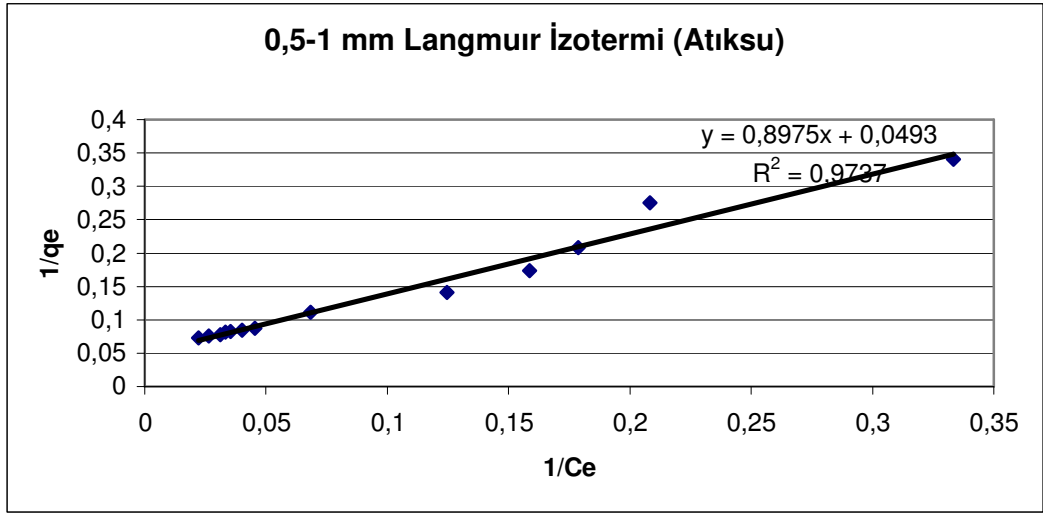
Şekil 6.4 0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve deiyonize su kullanılarak oluşturulan Langmuir izoterm Modeli

Şekil 6.5’de 0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve deiyonize su kullanılarak oluşturulan Freundlich izoterm modeli grafiği gösterilmektedir.



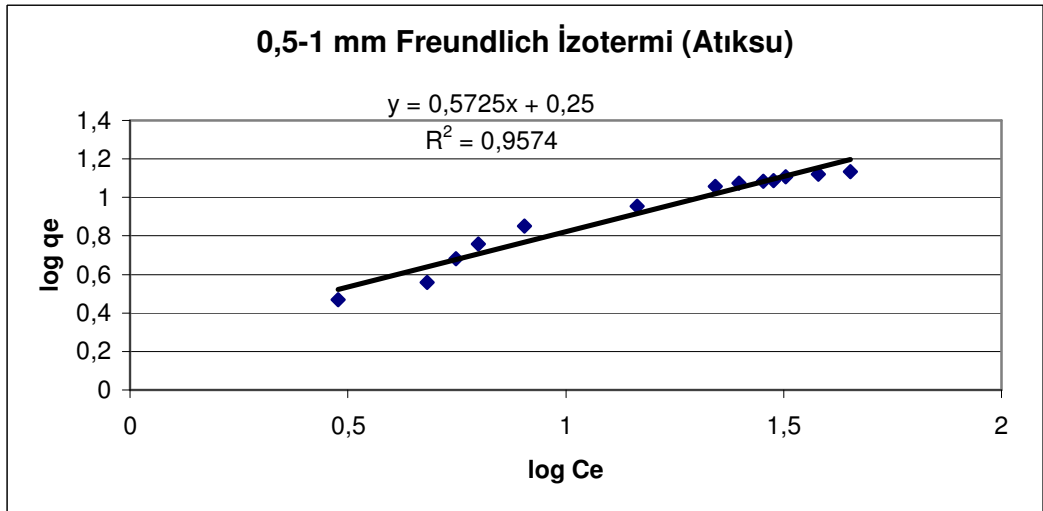
Şekil 6.5 0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve deiyonize su kullanılarak oluşturulan Freundlich izoterm Modeli

0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve deiyonize su kullanılarak oluşturulan Freundlich ve Langmuir izoterm Modelleri incelendiğinde, her iki izoterm modeline de uyum sağlandığı, fakat Langmuir İzoterm Modelinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir ($R^2=0,9573$). Şekil 6.6’da 0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve atıksu kullanılarak oluşturulan Langmuir izoterm modeli grafiği gösterilmektedir.



Şekil 6.6 0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve atıksu kullanılarak oluşturulan Langmuir izoterm Modeli

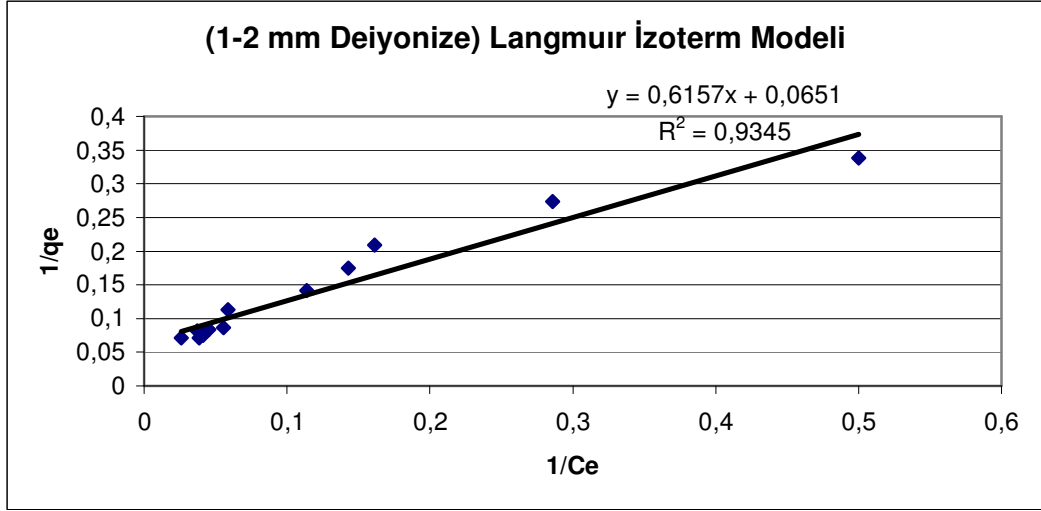
Şekil 6.7’de 0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve atıksu kullanılarak oluşturulan Freundlich izoterm modeli grafiği gösterilmektedir.



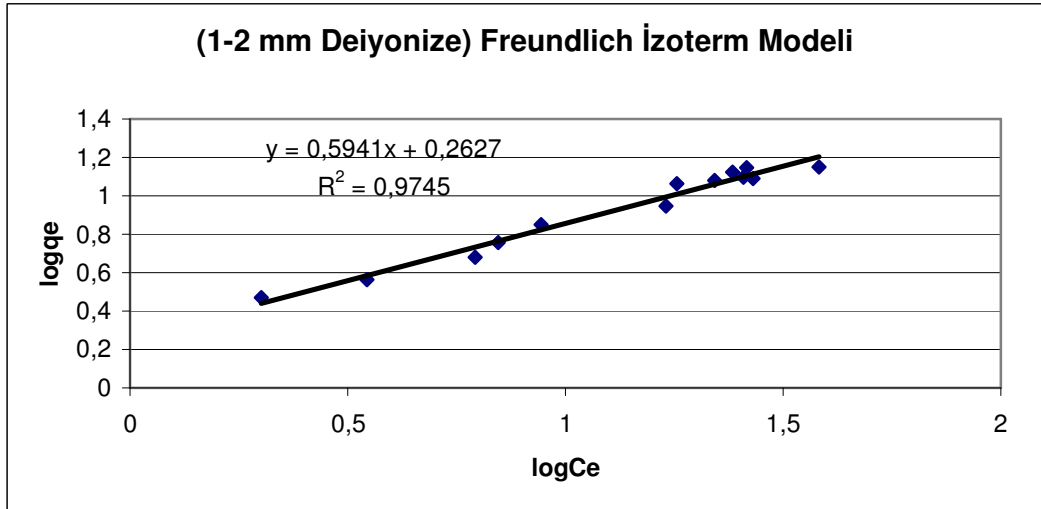
Şekil 6.7 0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve atıksu kullanılarak oluşturulan Freundlich izoterm Modeli

0,5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve atıksu kullanılarak oluşturulan Freundlich ve Langmuir izoterm Modelleri incelendiğinde, her iki izoterm modeline de uyum sağlandığı, fakat Langmuir İzoterm Modelinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir ($R^2=0.9737$).

Şekil 6.8 ve 6.9’da 1-2 mm dane aralığında klinoptilolit dane çapı ve deiyonize su kullanılarak oluşturulan izoterm modelleri grafikleri gösterilmektedir.



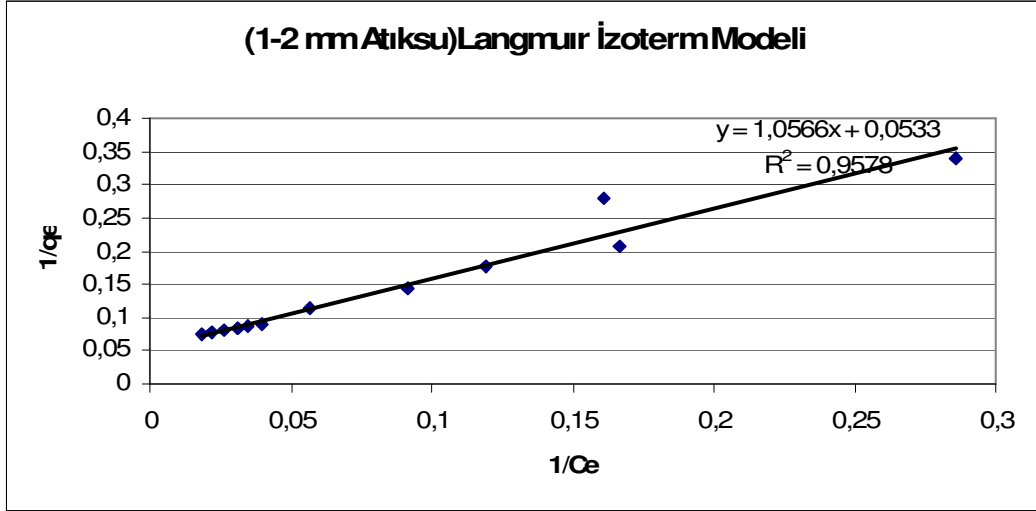
Şekil 6.8 1-2 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve deiyonize su kullanılarak oluşturulan Langmuir izoterm Modeli



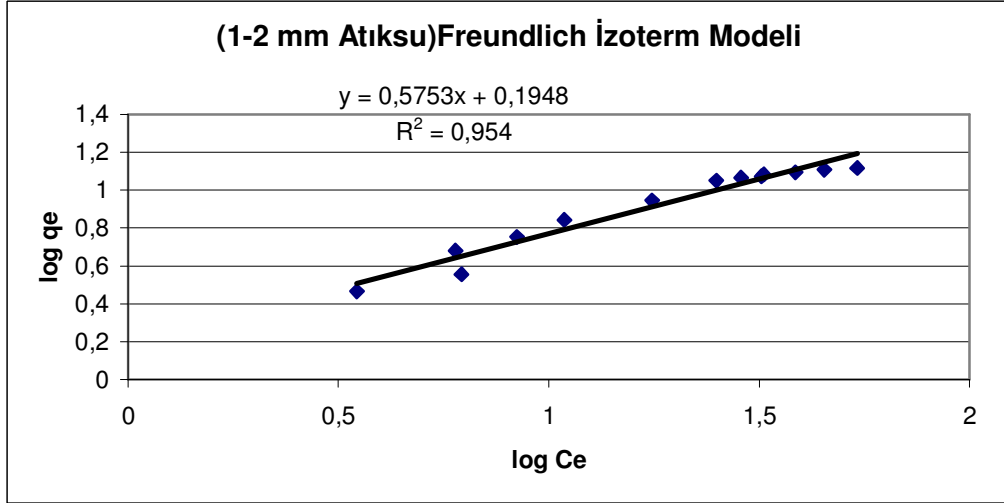
Şekil 6.9 1-2 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve deiyonize su kullanılarak oluşturulan Freundlich izoterm Modeli

1-2 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve deiyonize su kullanılarak oluşturulan Freundlich ve Langmuir izoterm Modelleri incelendiğinde, her iki izoterm modeline de uyum sağlandığı ve Freundlich İzoterm Modelinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir ($R^2=0,9745$).

Şekil 6.10 ve 6.11’de 1-2 mm dane aralığında klinoptilolit dane çapı ve deiyonize su kullanılarak oluşturulan izoterm modelleri grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 6.10 1-2 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve atıksu kullanılarak oluşturulan Langmuir izoterm Modeli



Şekil 6.11 1-2 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve atıksu kullanılarak oluşturulan Freundlich izoterm Modeli

1-2 mm aralığında klinoptilolit dane çapı ve atıksu kullanılarak oluşturulan Freundlich ve Langmuir izoterm Modelleri incelendiğinde , her iki izoterm modeli için de birbirine çok yakın sonuçlar elde edilmekle birlikte , Langmuir İzoterm Modelinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir ($R^2 = 0.9578$).

Genel olarak izoterm modellerine uygunluk değerlendirildiğinde, atıksu ve deiyonize su kullanılarak 0,5-1 mm ve 1-2 mm için yapılan izoterm sonuçlarının Langmuir ve Freundlich izotermelerinden her ikisine de ($R^2 > 0,90$) yüksek oranda uyum sağladığı tespit edilmiştir. Hangi çalışmanın , hangi izoterm modeline daha yüksek korelasyonla uyumlu olduğu yukarıda adım adım açıklanmıştır. Bu tez kapsamında kullanılan Bigadiç klinoptilolitinin amonyum giderim kapasitesinin izoterm modelleriyle uyumlu olması, sürekli deneylerin modellenmesi aşamasında amonyum giderim verimi hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlamıştır.

6.2. Sürekli Deneyler

Sürekli deneyler kapsamında yapılan çalışmalarda Bahçeşehir Atıksu Arıtma Tesisi çıkışından alınan atıksular kullanılmıştır. Kullanılan atıksu karakterizasyonu Tablo 5.1’de verilmiştir. Çalışma süresince, şekil 5.1’de gösterilen deney düzeneğinde kullanılan kolon çıkışlarından 2 saat arayla numune alınarak amonyum ve AKM konsantrasyonları ölçülmüştür. Bu tez kapsamında kullanılmak üzere hazırlanan üç kolon, çalışmalar sırasında çoğunlukla aynı anda çalıştırılmış, çalışma amacına bağlı olarak tekli ve ikili olarak da çalışmalar yürütülmüştür. Kolon çıkışında ölçülen parametreler için hedeflenen sınır değer aşılanı kadar kolon işletilmeye devam edilmiştir (Hassas bölgelerde toplam azot için sınır değer 10 mg/lt olduğundan ve amonyum için spesifik bir değer verilmediğinden, deneylerde amonyum için sınır değer 0 mg/lt olarak kabul edilmiştir). Filtrasyon için ise ani yük kaybına bağlı olarak kolonun tıkanması, kolonun aktif çalışma süresinin bitimi olarak kabul edilmiştir. Kademeli olarak çalışılmış ve her kademedede elde edilen sonuçlar diğer kademedeki değişimler yapılırken dikkate alınmıştır. Böylece hedeflenen çok amaçlı filtre sistemi için optimum koşulların belirlenmesinde deneysel çalışmanın doğru yönlendirilmesinin mümkün olacağı düşünülmüştür. Deneysel çalışmanın ilk kısmında iyon değişimi ve filtrasyon proseslerinden herhangi birinin bitimi işletim süresinin bitimi kabul edilmiş, geri yıkama veya rejenerasyon yapılmadan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

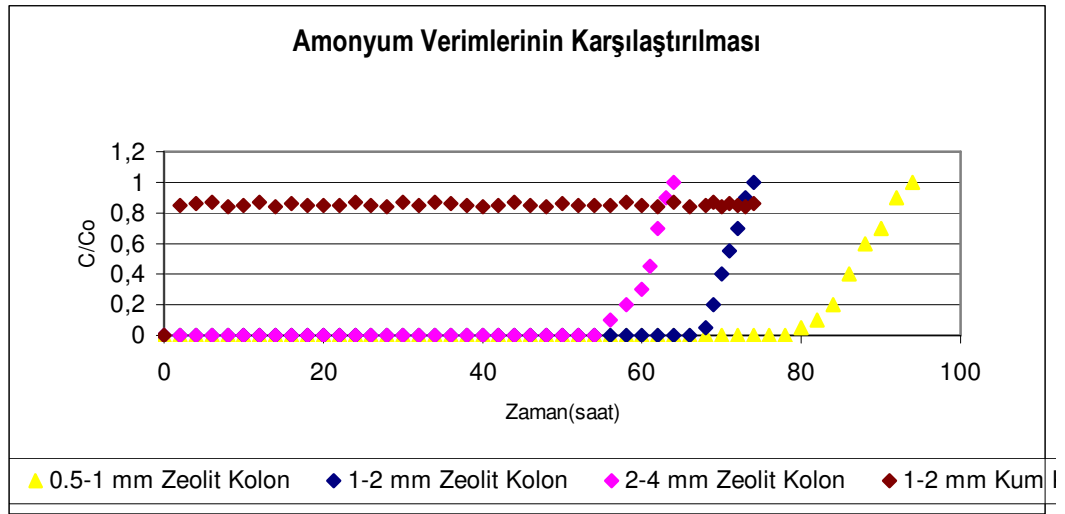
6.2.1 Malzeme Özellikleri ve Danecik Boyutunun Sistem Verimi Üzerindeki Etkilerinin İncelendiği Çalışma Aşaması(1. Aşama)

Bu tez kapsamında yapılan ilk grup çalışmada, kolon temas süreleri eşit tutularak farklı dane boyutlarının işletim süresine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Birinci aşamaya ait çalışma koşulları tablo 6.1’de verilmektedir.

Tablo 6.1 Birinci Aşama Çalışma Koşulları

$T_h=10$ dak (Kum kolon)
$T_c=10$ dak (Zeolit kolon)
Kolon Çapı:5 cm
Yatak yüksekliği:50 cm
Giriş Amonyum Konsantrasyonu:20 mg/lt
Giriş AKM Konsantrasyonu:97 mg/lt
Debi:9.82 ml/dak
Yatak hacmi: 982 ml
Yatak yüzey alanı:19.63 cm ²
Yükleme Hızı: 0,3 m ³ /m ² saat
0,5-1 mm zeolit porozite: 0,45 Cu:1,9
1-2 mm zeolit porozite: 0,51 Cu:1,6
2-4 mm zeolit porozite: 0,64
1-2 mm kum porozite : 0,42 Cu:1,8

Kolonlar , 1-2 mm kum ve 1-2 mm zeolit kolon olarak ikili olarak çalıştırılmış, daha sonra zeolit dane çapının etkisinin belirlenebilmesi için 0,5-1 mm zeolit ve 2-4 mm zeolit kolonlar ikili olarak çalıştırılmıştır. Şekil 6.12’den Şekil 6.19’a kadar ilk grup deney verileri grafiklerle gösterilmiştir. Her kademe için önce Amonyum giderimini gösteren grafik grupları, sonra AKM giderimini gösteren grafik grupları çizilmiştir. Şekil 6.12’de birinci aşamada elde edilen amonyum giderim verimleri karşılaştırılmaktadır.

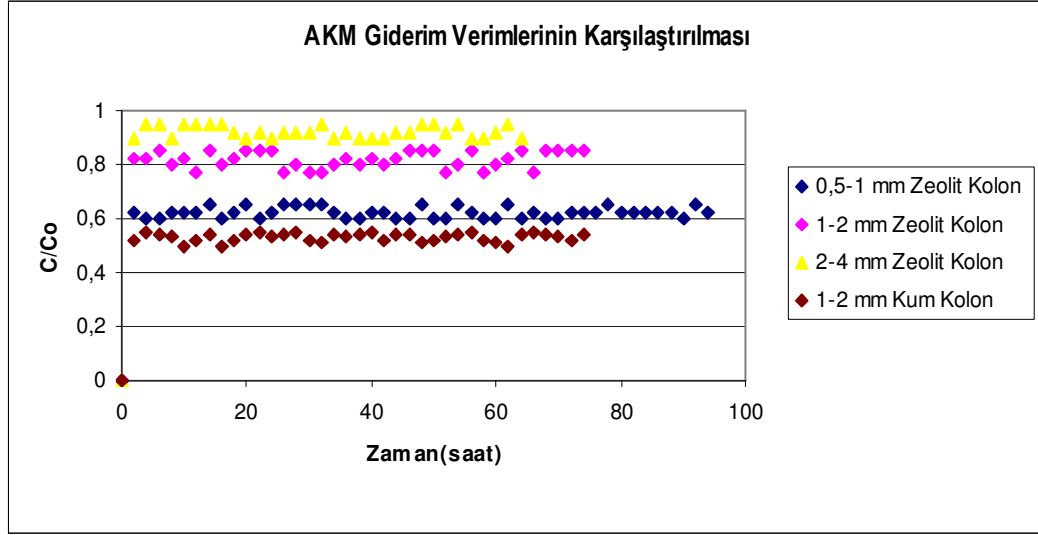


Şekil 6.12 Amonyum Giderim verimlerinin Karşılaştırılması

Amonyum giderim verimleri incelenecek olursa tüm zeolit kolonlarda %100 giderim verimine ulaşıldığı görülmektedir. Bu durum Bigadiç klinoptilolitin yüksek amonyum tutma kapasitesinden kaynaklanmaktadır. Kırılma noktası 1-2 mm'lik kolonda 64 saatte oluşmuştur. Daha önce, İnan (2001) tarafından yapılan çalışmada temas süresinin 9 saat olduğu durum için kırılma noktası 49 saatte elde edilmiştir. Her iki sonuç karşılaştırıldığında birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Zeolit kolonda boyut arttıkça amonyum için dönüm noktası kısalmaktadır. En küçük boyut için (0,5-1 mm) 80 saate yakın işletim süresi elde edilmiştir. Kum kolonda ise amonyum için sadece %18'lik bir giderim sağlanabilmiştir. Bu durum kumun amonyum gideriminde etkin bir unsur olmadığını göstermektedir. AKM parçacıkları üzerinde tutulan amonyumun, kum tarafından fiziksel olarak AKM ile birlikte giderildiği düşünülmektedir.

Şekil 6.13'de birinci aşamada elde edilen AKM giderim verimleri karşılaştırılmaktadır. Kolonlar AKM giderimi açısından karşılaştırıldığında en yüksek verimin %45 ile 1-2 mm dane çapı kullanılan kum kolonda gerçekleştiği görülmektedir. Bu değer 0,5-1 mm gibi daha küçük çaplı zeolit kullanıldığı kolonun AKM gideriminden daha fazla oluşu (%45>%38) dikkat çekmektedir. 0,5-1 mm çaplı zeolit porozitesinin 0,45, 1-2 mm çaplı kumun porozitesinin ise 0,42

oluşu elde edilen bu bulguyu açıklamaktadır. Kum daha büyük çapta bile zeolite göre çok daha yuvarlak olan dış yüzey şekli nedeniyle daha az poroziteye ve daha yüksek AKM giderimine sahip olmaktadır.



Şekil 6.13 AKM Giderim verimlerinin karşılaştırılması

Tablo 6.2’de birinci aşama sonuç tablosu verilmektedir. Hidrolik bekletme süresinin tüm kolonlar için 10 dakika seçildiği bu aşamada farklı boyutlarda klinoptilolit ve 1-2 mm çapında kum kullanılarak giderim verimleri incelenmiştir. Yukarıdaki 1. aşama sonuç tablosu incelendiğinde 0,5-1mm klinoptilolit kolonda işletim süresinin en yüksek olduğu görülmektedir. Kolonun işletim süresini bitiren nokta, amonyum için kırılma noktası olmuştur. Bu sürenin 78 saat gibi uzun bir süreye denk gelmesi 0,5-1mm çapında dane boyutunda klinoptilolit’in 1-2 mm’ye göre daha fazla amonyum tutma kapasitesine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum kesikli deney sonuçları kısmında izoterm eğrileri ile de gösterilmiştir. 1-2 mm çapında klinoptilolit kullanılan kolonda işletim süresi 64 saat, 2-4 mm çapında klinoptilolit kullanılan kolonda 56 saat olarak görülmektedir. Boyut arttıkça işletim süresi belirgin şekilde azalmıştır. Bu durum daha yüzey alanı azalan büyük tanecikli klinoptilolit’in amonyum tutma kapasitesinin düşmesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 6.2 Birinci Aşama Sonuç Tablosu

Kolon	İşletim Süresi	NH ₄ Giderim Verimi	AKM Giderim Verimi
0,5-1 mm Zeolit	78	%100	%38
1-2 mm Zeolit	64	%100	%20
2-4 mm Zeolit	56	%100	%5
1-2 mm Kum	74	%18	%45

1-2 mm kum kolonda ise 74 saat gibi bir işletim süresi oluşmuştur. Bu kolonda işletim süresinin bitişini kolonun AKM giderimi esnasında tıkanması belirlemiştir. %45 AKM gideriminin gerçekleştiği bu kolonda işletim süresi bitiminde, Amonyum giderimi hala %18 olarak devam etmektedir.

Zeolit kolonlar içinde AKM gideriminin en yüksek olduğu 0,5-1 mm'lik kolonda %38'lik bir AKM giderim verimi elde edilmesi zeolit kolonda da kayda değer AKM gideriminin var olduğunu göstermektedir. 1-2 mm'lik kum kolonda ise %45 AKM giderim verimi sağlanabilmiştir. Kum kolonlarda daha önce yapılan çalışmalarda %80-90'lık verimler elde edilebilmiştir (Huang J. 1986, Ojha ve diğ. 1992, Stevenson 1997, Jimenez ve diğ. 2000, Hasar ve diğ. 2001, Moore 2001). Bu verimlerle karşılaştırıldığında 1-2 mm'lik kum kolondan elde edilen %45'lik verim, AKM giderimi açısından çok iyi bir sonuç olmasa da diğer kolonlara göre en yüksek verim bu kolonda elde edilmiştir. Verimin beklenen düzeyde gerçekleşmemesinin nedeninin kolon çapı/dane çapı oranının en küçük dane boyutu için $5\text{cm}/1\text{mm}=50$ en yüksek dane boyutu için $5\text{cm}/2\text{mm}=25$ olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bilindiği gibi bu oranın 40'dan büyük olması istenmektedir (Ghosh, 1967). 1-2 mm'lik kum kolon zeolit kolonla karşılaştırıldığında dane çapı aynı olmasına rağmen kum kolonda %45, zeolit kolonda ise %20 oranında AKM giderildiği görülmektedir. Bu durum her iki malzemenin porozitesinin farklı oluşundan kaynaklanmaktadır. Kumun küresel şekli boşluk oranını düşürmekte, zeolit in engebeli yüzey yapısı porozitesinin daha yüksek olmasına neden olmaktadır.

6.2.2 Kolon Çapı/ Tanecik Boyutu Oranının Sistem Verimine Etkilerinin İncelendiği Çalışma Aşaması (İkinci Aşama)

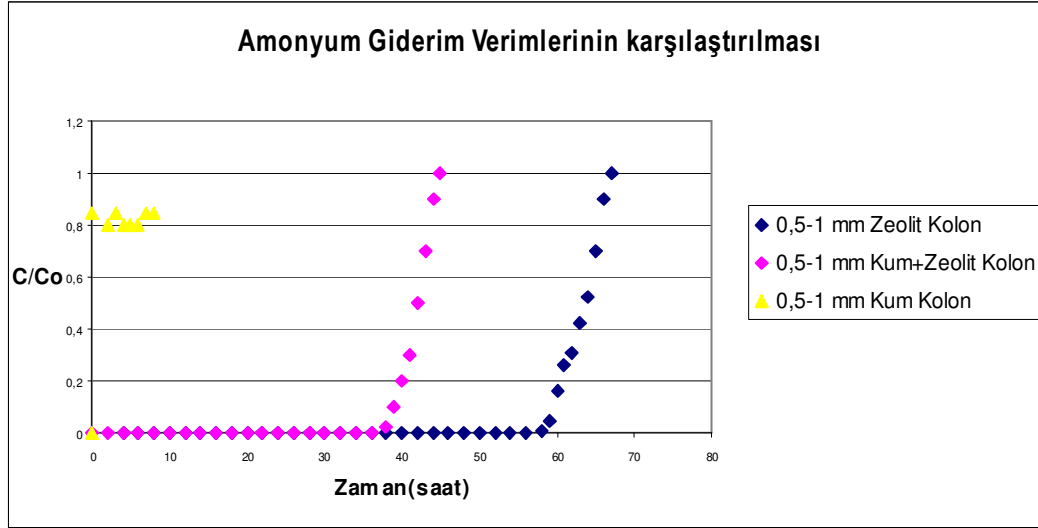
Bu aşamada daha küçük dane boyutu kullanılarak, kolon çapı -dane boyutu oranının yükseltilmesi hedeflenmiştir. Böylece daha yüksek AKM giderim verimi elde edilmesi beklenmektedir. Hidrolik bekletme süresinin 8 dak. olarak seçilmesi, bu sürenin amonyum için ortalama bir temas süresi olmasından kaynaklanmaktadır (Belir Baykal ve diğ 1996 , Belir Baykal ve Akça Güven 1997, İnan 2001).

Birinci aşamada kum kolon için AKM verimi beklenen düzeyde sağlanamadığından kolon çapı/danecik boyutu oranının tutturulması için 0,5-1 aralığında danecik boyutu ve 3 cm'lik kolon kullanılmıştır. Aynı zamanda danecik boyutu küçüldükçe amonyum giderim ve AKM giderim verimlerinin arttığı da göz önüne alınmıştır. Tablo 6.3'de ikinci aşama çalışma koşulları verilmiştir.

Tablo 6.3 İkinci Aşama Çalışma Koşulları

T _h =8 dak (Kum kolon)
T _c =4 dak(Kum+ Zeolit kolonda zeolit için)
T _c =8 dak (Zeolit kolon)
Kolon çapı:3 cm
Yatak Yüksekliği:50 cm
Debi:44 ml/dak
Giriş Amonyum Kons:20 mg/lt
Giriş AKM: 68 mg/lt
Kolon hacmi:353 ml
Yüzey alanı: 7,07 cm ²
Kullanılan kum dane çapı: 0,5-1 mm
Kullanılan zeolit dane çapı: 0,5-1 mm
0,5-1 mm zeolit porozite:0,45 Cu:1,9
0,5-1 mm kum porozite :0,36 Cu:1,34
Yükleme Hızı: 3,73 m ³ /m ² saat

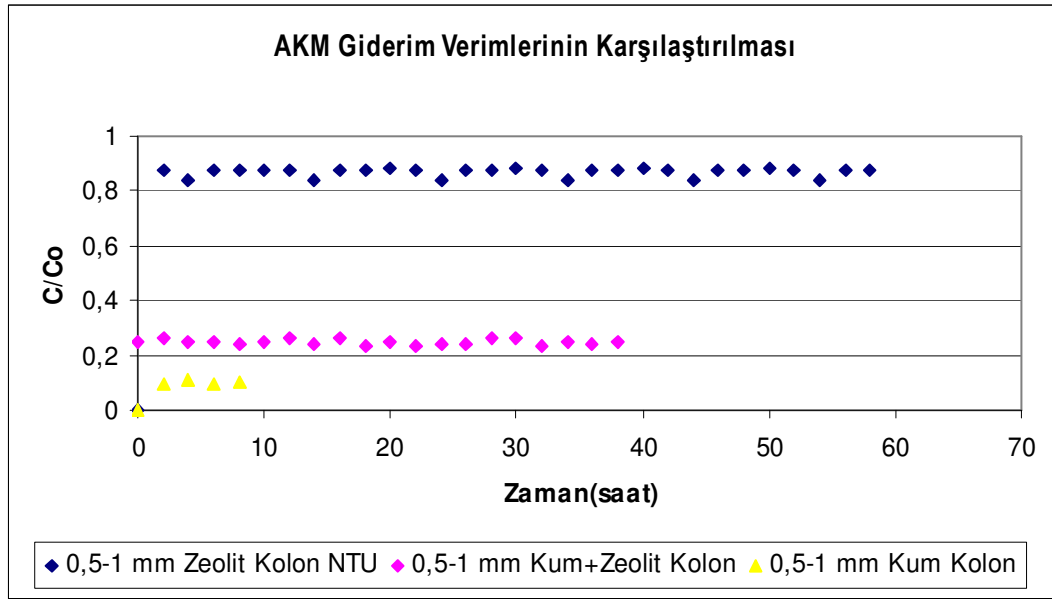
İkinci aşamada elde edilen amonyum giderim verimleri şekil 6.14’de karşılaştırılmaktadır.



Şekil 6.14 Amonyum Giderim verimlerinin Karşılaştırılması

Amonyum giderim verimleri incelendiğinde zeolit kolonlar için %100 verim sağlanırken kum kolonda sadece %20 verim elde edilmiştir. Bu durum klinoptilolitin yüksek amonyum giderim kapasitesinden kaynaklanmaktadır. Sadece zeolit kullanılan kolonda yaklaşık 58 saatte amonyum dönüm noktası oluşurken, % 50 oranında kumun üstte kullanıldığı kum+zeolit kolonda 38 saatte dönüm noktası oluşmuştur, çünkü bu kolonda yarı hacimde zeolit yer almaktadır ve zeolit için temas süresi 4 dakikadır. Çok amaçlı sistemin iyon değişimini gerçekleştiren malzemesi zeolit olduğundan, çok amaçlı kolon için amonyum dönüm noktası bu durumdan doğrudan etkilenmiştir. Kum+ zeolit kolonda sadece %50 oranında zeolit kullanılmasına rağmen $38/58 \approx 0,65$ gibi bir oranda işletim süresi %100 giderim verimiyle devam etmiştir. Kum kolonda ise işletim süresi bitimi tıkanma nedeniyle 8 saat gibi kısa bir sürede oluşmuştur.

Şekil 6.15’de ikinci aşamada çalıştırılan tüm kolonların AKM giderim verimleri karşılaştırılmıştır. 0,5-1mm zeolit kolon için %17 giderim verimi sağlanırken aynı çaptaki kum kolon için %90 giderim verimi sağlandığı görülmektedir. Kum+Zeolit kolonun davranışı, hem işletim süresi hemde giderim verimleri açısından ilginçtir. Çok amaçlı bu kolon, amonyum gideriminde %100 verim ile ancak 37 saat işletim süresiyle çalışabilmiş bu sırada %75 gibi yüksek bir verimle AKM giderimi sağlanmıştır. Yalnızca %50’si kum olan bu kolona AKM giderimi açısından bakıldığında, işletim özellikleri olarak tamamen kum dolu kolona daha yakın sonuçlar vermiştir. Bu bulgu kapsamında tezde araştırılan çok amaçlı filtre sistemi içinde Amonyum başarıyla giderilirken, AKM için ne derece verim elde ediliyor sorusuna kısmen cevap veren önemli bir sonuçtur.



Şekil 6.15 AKM Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması

Tablo 6.4’de ikinci aşama sonuçları verilmiştir. Sonuç tablosu incelendiğinde zeolit kolonlar için bir önceki aşamaya göre göreceli olarak azalan işletim süreleri görülmektedir. Ancak kum kolon için işletim süresi 8 saat gibi kısa bir süreye düşerek büyük bir farklılık göstermiştir. Kum kolonda işletim süresi hidrolik yük kayıplarının artarak tıkanma oluşmasıyla sona ermiştir. İşletim süresinin 8 saate düşmesi, kum kolonda, bir önceki aşamada 1-2 mm çapında kum kullanılırken bu

aşamada 0,5-1 mm çapında kum kullanılmasından ve filtrasyon hızının $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat'ten, $3,73 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat'e çıkmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 6.4 İkinci Aşama Sonuç Tablosu

Kolon	İşletim Süresi	NH ₄ Giderim Verimi	AKM Giderim verimi
0,5-1 mm Zeolit	58	%100	%17
0,5-1mm Kum+Zeolit	37	%100	%75
0,5-1 mm Kum	8	%20	%90

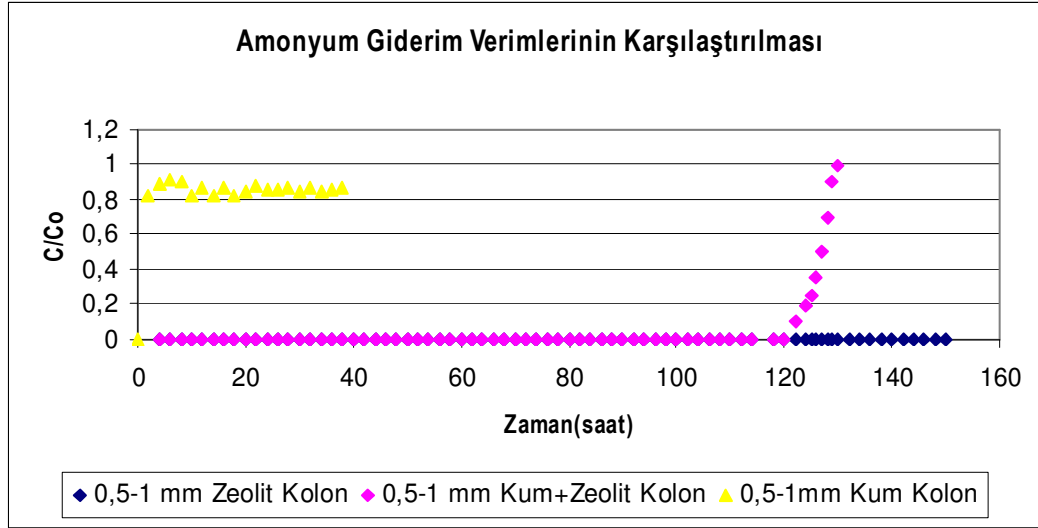
6.2.3 Hidrolik Bekletme Süresinin Sistem Verimine Etkilerinin İncelendiği Çalışma Aşaması (3. Aşama)

Bu aşamanın amacı, 2. grup çalışmada kum filtre ve kum+ zeolit filtre için oluşan kısa işletim süresinin arttırılması ile AKM açısından daha iyi çıkış suyu kalitesi elde edebilmektir. Bu amaçla tüm kolon hidrolik bekletme süresi 8 dakikadan $T_h=30$ dakikaya çıkarılmıştır. $T_h=30$ dakika seçildiğinde kum kolon işletim süresi 38 saat olarak elde edilmiştir. Sadece kum, sadece zeolit ve kum+zeolit kolonlar paralel olarak çalıştırılmıştır. Tablo 6.5'de üçüncü aşama çalışma koşulları verilmiştir.

Tablo 6.5 Üçüncü Aşama Çalışma Koşulları

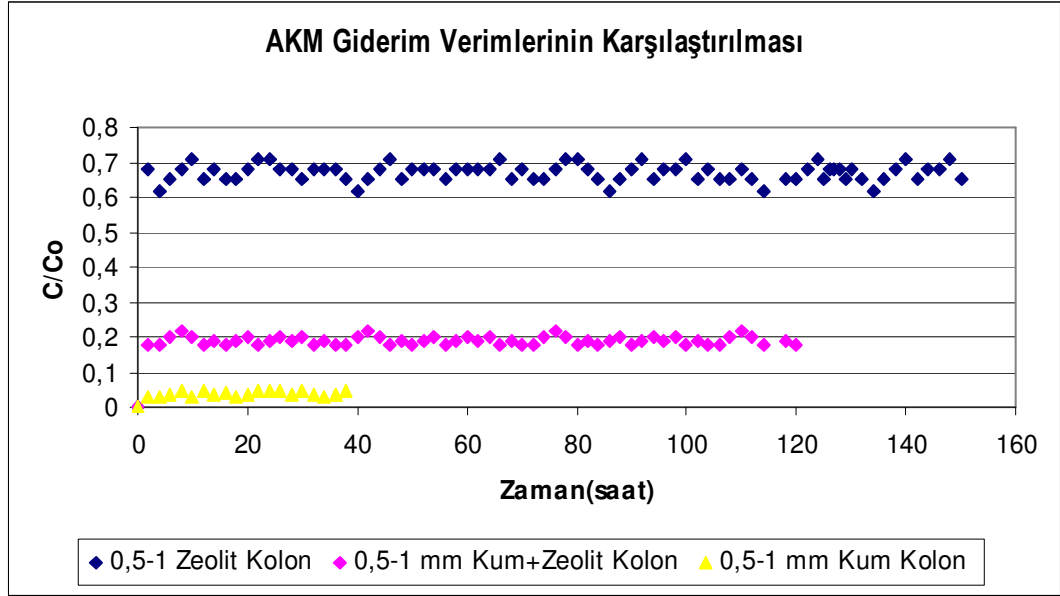
$T_h=30$ dak (Kum kolon) $T_c=15$ dak(Kum+ Zeolit kolonda zeolit için)	
$T_c=30$ dak (Zeolit kolon)	
Yatak Yüksekliği:50 cm	
Çok amaçlı filtrede klinoptilolit yatak yüksekliği: 25 cm	
Debi: 11.78 ml/dak	
Giriş Amonyum Kons:20 mg/lt	
Giriş AKM: 68mg/lt	
Yüzey alanı:7,07 cm^2	
Yatak hacmi: 353 ml	
0,5-1 mm zeolit porozite:0,45 Cu:1,9	0,5-1 mm kum porozite :0,36 Cu:1,34
Filtrasyon hızı: $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	

Şekil 6.16'da 3. aşama amonyum giderim verimleri görülmektedir. Kum+zeolit kolonda ve zeolit kolonda amonyum için %100 giderim verimi elde edilmiştir. Kum+zeolit kolonda 120 saatte amonyum kırılma noktası oluşmuş ancak tıkanma oluşmamıştır. Zeolit kolonda ise 150 saatlik sürelerde hala tıkanma veya amonyum kırılma noktası tespit edilmediğinden çalışma durdurulmuştur.



Şekil 6.16 Amonyum Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması

Şekil 6.17'de 3. aşama AKM giderim verimleri görülmektedir. Bu aşamada kum kolonda AKM için %96 verim elde edilmiştir. Kum+ zeolit kolonda ise %82 oranında verim elde edilmiştir. Bu aşamada kum kolon ile kum+zeolitten oluşan çok amaçlı kolon karşılaştırıldığında her iki kolonda da yüksek AKM giderim verimi elde edildiği, zeolit kolonda ise AKM gideriminin porozitesi nedeniyle beklenen şekilde sadece %17 mertebesinde kaldığı görülmektedir.



Şekil 6.17 AKM Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması

Tablo 6.6’da üçüncü aşama sonuçları özetlenmektedir. Sonuç tablosundan da görüleceği gibi kum kolonda sadece %18 amonyum giderimi elde edilebilmiştir. Kum kolonda 38 saat gibi bir işletim süresinde %18 amonyum giderilebilirken, %50 oranında zeolitin kum yerine kolona konması sonucu oluşturulan çok amaçlı kolonda, amonyum giderim verimi %100’e çıkarken işletim süresi de 120 saate çıkmıştır. AKM verimi ise %82 gibi yüksek bir oranda gerçekleşmiştir. Bu sonuç, çok amaçlı filtre sistemlerinin AKM ve amonyum giderimindeki başarısı için önemli bir bulgudur.

Tablo 6.6 Üçüncü Aşama Sonuç Tablosu

Kolon	İşletim Süresi	NH ₄ Giderim Verimi	AKM Giderim verimi
0,5-1 mm Zeolit	>150	%100	%17
0,5-1mm Kum+Zeolit(25 cm)	120	%100	%82
0,5-1 mm Kum	38	%18	%96

6.2.4 Klinoptilolit Miktarının ve Yerleşim Şeklinin Sistem Verimine Etkilerinin İncelendiği Çalışma Aşaması (4.Aşama)

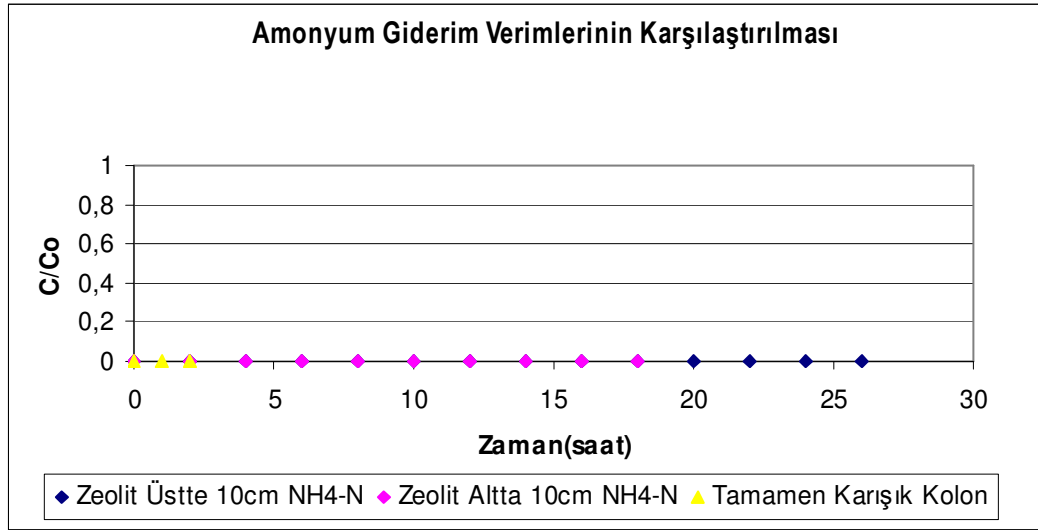
Bu aşamada debi, yüzey yükü, kolon çapı, kolon hacmi, giriş amonyum ve AKM konsantrasyonları gibi tüm başlangıç koşulları üçüncü kademe ile aynı tutulmuş, sadece çok amaçlı filtre içindeki klinoptilolit miktarı azaltılarak, filtre içinde farklı konumlara yerleştirilmiştir. Bu aşamada üç çok amaçlı kolon oluşturulmuştur. Kullanılan zeolit miktarı %50 kolon hacminden yaklaşık %25 kolon hacmine kadar düşürülmüştür. Filtre içine %25 cm yüksekliğinde klinoptilolit, üstte, altta ve karışık olarak yerleştirilmiştir. Böylece çok amaçlı filtre içinde kullanılabilecek optimum klinoptilolit çapı ve yerleştirilme konumu belirlenmeye çalışılmıştır. Tablo 6.7’de dördüncü aşama çalışma koşulları verilmiştir.

Tablo 6.7 Dördüncü Aşama Çalışma Koşulları

$T_h=30$ dak (Tüm kolonlar, kolonun tümü için)
$T_c=7,5$ dak (Tüm kolonlarda zeolit için)
Kolon yatak yüksekliği:50 cm
Klinoptilolit yatak yüksekliği: 12,5 cm
Kolon çapı:3 cm
Debi: 11.78 ml/dak
Giriş Amonyum Kons:20 mg/l
Giriş AKM: 90mg/l
Yüzey alanı:7,07 cm ²
Yatak hacmi: 353 ml
0,5-1 mm zeolit porozite:0,45 Cu:1,9
0,5-1 mm kum porozite :0,36 Cu:1,34
Filtrasyon hızı: 1 m ³ / m ² saat

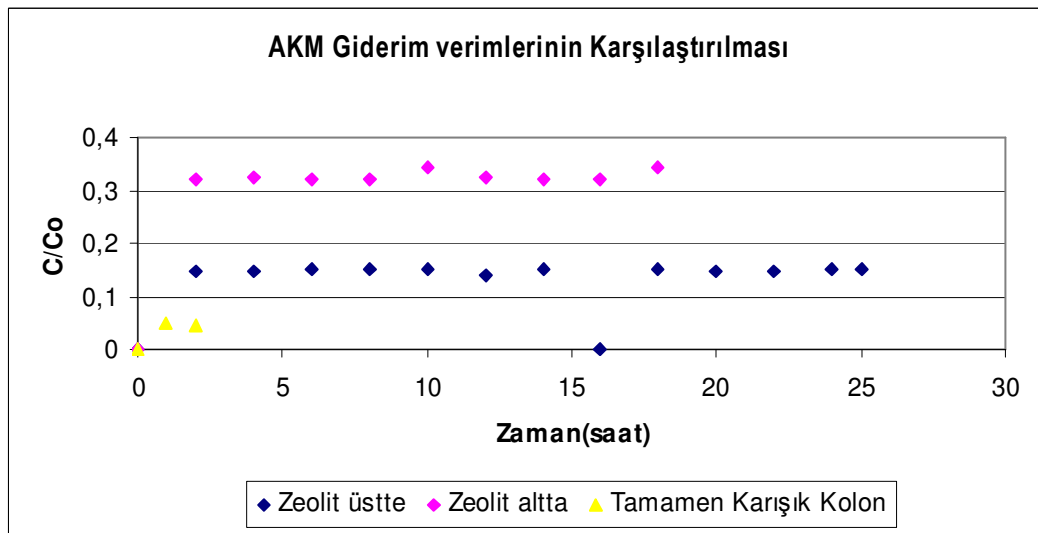
Şekil 6.18’de gösterilen dördüncü aşama amonyum giderim verimleri incelendiğinde klinoptilolitın amonyum giderim kapasitesinden kaynaklanan yüksek giderim verimi burada da gözlenmektedir. Amonyum için tüm kolonlarda %100 giderim elde

edilmiştir. Amonyum için dönüm noktasına ulaşlamadan tıkanma oluştuğundan, Amonyum için kırılma noktası üç kolonda da görülememiştir.



Şekil 6.18 Amonyum Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması

Şekil 6.19’da dördüncü aşama AKM giderim verimleri karşılaştırılmaktadır.



Şekil 6.19 AKM Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması

AKM için en iyi sonuç, %25 yatak hacminde klinoptilolitin üstte yer aldığı kolon için ortaya çıkmıştır. Bu durumda 26 saat işletim süresi ve %85 gibi yüksek AKM giderimi sağlanmıştır. AKM giderimi açısından en düşük sonuç %67 giderimle

zeolitin altta yeraldığı sistemde elde edilmiştir ki, filtreler için ortalama %80 civarında giderimin yeterli olduğu düşünülürse bu da kaydadeğer bir sonuçtur. AKM için en yüksek verim olan %95 lik verimin sağlandığı tamamen karışık kolon ise 2 saat gibi bir süre içinde kolon tamamen tıklandığından uygun değildir. Tablo 6.8’de dördüncü aşama sonuçları verilmiştir.

Tablo 6.8 Dördüncü Aşama Sonuç Tablosu

Kolon	İşletim Süresi	NH4 Giderim Verimi	AKM Giderim verimi
0,5-1 mm Zeolit Üstte(10 cm)	26	%100	%85
0,5-1 mm Zeolit Altta(10 cm)	18	%100	%67
0,5-1 mm Tamamen karışık kolon	2	%100	%95

Sonuçlar incelendiğinde her üç kolonda da işletim süresinin tıkanma nedeniyle sonlandığı görülmektedir. Klinoptilolit üstte, altta veya tamamen karışık oluşu, kolon işletim sürelerinde çok belirgin değişikliklere neden olmuştur. Özellikle karışık kolonda porozite çok azalmış, işletim süresi de buna bağlı olarak 2 saate düşmüştür. Bu durumun kum daneciklerinin zeolitin boşluklarını doldurarak kolonun geçirimsizliğini çok düşürmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Giderim verimleri değerlendirildiğinde verim açısından en iyi sonucun 0,5-1 mm aralığında %25 oranında klinoptilolit üstte yeraldığı, klinoptilolit+kum çok amaçlı sistemi için elde edildiği görülmektedir. Bu sistem için AKM için %85 giderim verimi elde edilmiştir, işletim süresi ise 26 saattir. Ancak %50 oranında klinoptilolit üstte kullanıldığı kolon için, kolon işletim süresi 120 saat ve AKM giderim verimi %82 olduğundan işletim süresi de dikkate alındığında çok amaçlı filtre sistemi için en uygun seçeneğin bu olduğu düşünülmektedir. Her iki sistem için de amonyum giderim verimleri %100 olarak gerçekleşmiştir.

6.2.5 Sonuç 5: Temas Süresi ve Filtrasyon Hızının Çok Amaçlı Filtre Sistemi İçinde Gerçekleşen Prosesler Üzerindeki Etkisinin İncelendiği Çalışma Aşaması (5.Aşama)

Bu aşamada temas süresi ve filtrasyon hızının amonyum ve AKM giderimi üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla bir dizi deney yürütülmüştür. Deneyler sırasında dört farklı tüm kolon hidrolik bekletme süresi ve buna bağlı olarak zeolit içeren kolonlarda oluşan dört farklı temas süresi belirlenerek kum ve zeolit kolonların AKM ve Amonyum giderimleri izlenmiştir.

A)Kum için,

A1) Farklı T_h ve L değerleri için 0,5-1 mm Kum Kolon Amonyum Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması

Tablo 6.9’da beşinci aşama çalışma koşulları verilmiştir.

Tablo 6.9 Beşinci Aşama Çalışma Koşulları

$T_h=10$ dak	$L=2,95$ m ³ /m ² saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=20$ dak	$L=1,49$ m ³ /m ² saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=25$ dak	$L=1,19$ m ³ /m ² saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=30$ dak	$L=1$ m ³ /m ² saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm

Kullanılan dane çapları:

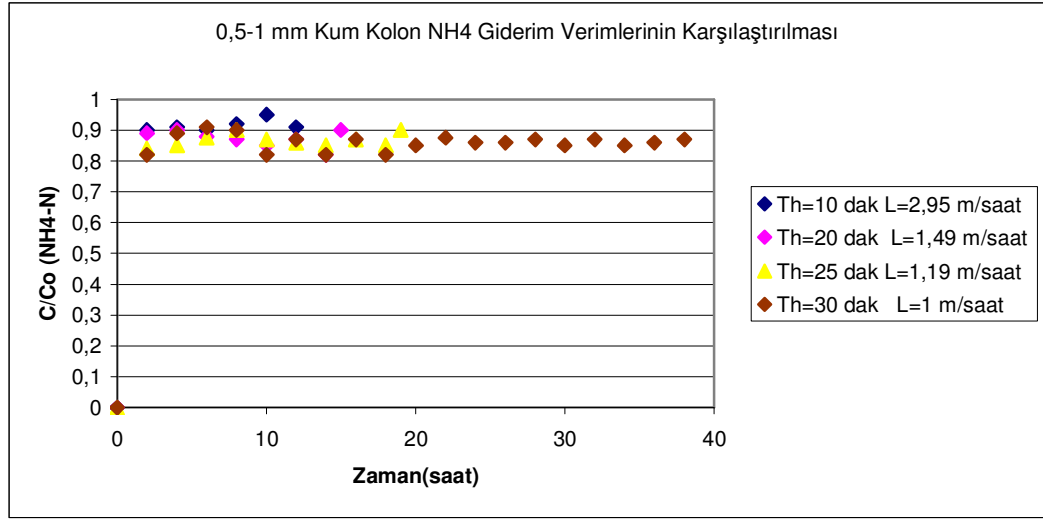
0,5-1 mm Kum (Porozite 0,36) Cu:1,34

Giriş NH₄-N: 18 mg/lt

Giriş AKM: 75 mg/lt

Şekil 6.20’de kum kolon amonyum giderimleri karşılaştırılmıştır. Farklı T_h ve L’ler için kum kolon amonyum giderimlerine bakıldığında , giderim oranının genel olarak %10 ile %20 arasında değiştiği ve giderimin, T_h ve L değişiminden belirgin olarak etkilenmediği görülmektedir. Bu durum kumun amonyum gideriminde etken

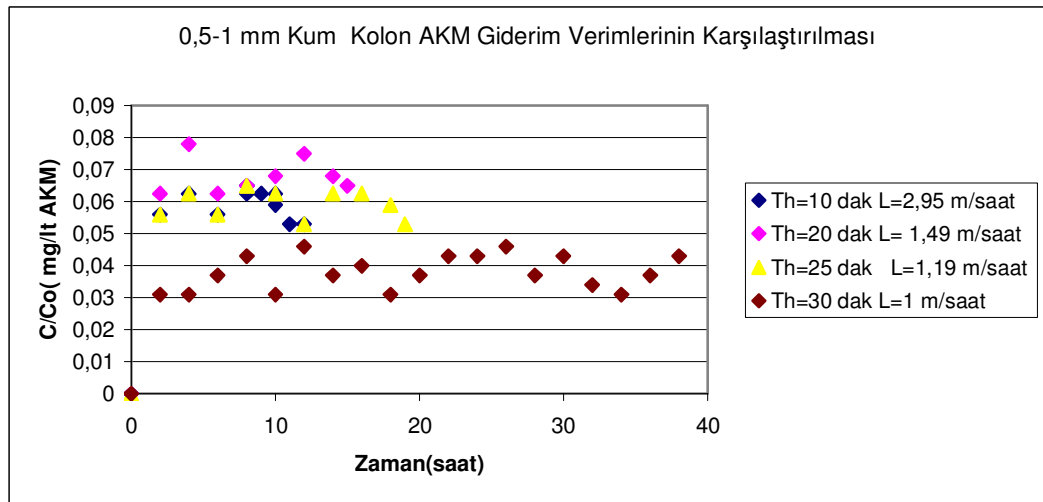
malzeme olmamasından ve amonyumu sadece AKM üzerinde fiziksel tutunma ile düşük oranda gerçekleştirebilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6.20 Hidrolik Bekletme Zamanı ve Filtre Hızının Kum Kolon Amonyum Giderimine Etkisi

A2) Farklı T_h ve L değerleri için 0,5-1 mm Kum Kolon AKM Giderimlerinin Karşılaştırılması

Şekil 6.21’de kum kolon AKM giderimleri gösterilmektedir.



Şekil 6.21 Hidrolik Bekletme Süresi ve Filtre Hızının Kum Kolon AKM Giderimine Etkisi

AKM giderimi açısından değerlendirme yapılacak olursa, filtrasyon hızı azaldıkça AKM giderim oranı artmaktadır. Ancak 10 dakikalık hidrolik bekletme süresi için bile %94 verim elde edildiği ve verimlerin %94 ile %97 arasında değiştiği düşünülürse sonuç olarak bu çalışma koşullarında tüm hidrolik bekletme süreleri için kum kullanıldığında yüksek verim alındığı söylenebilir. Yüzey yükündeki değişiklikler esas olarak tıkanma süresini etkilemiştir. Yüzey yükü azaldıkça, sistem daha uzun çalışabilmekte, tıkanma süresi uzamaktadır. $T_h=10$ dak için 12 saat olan tıkanma süresi $T_h=30$ dak için 38 saate çıkmıştır.

B)Zeolit için,

Kullanılan dane çapları:

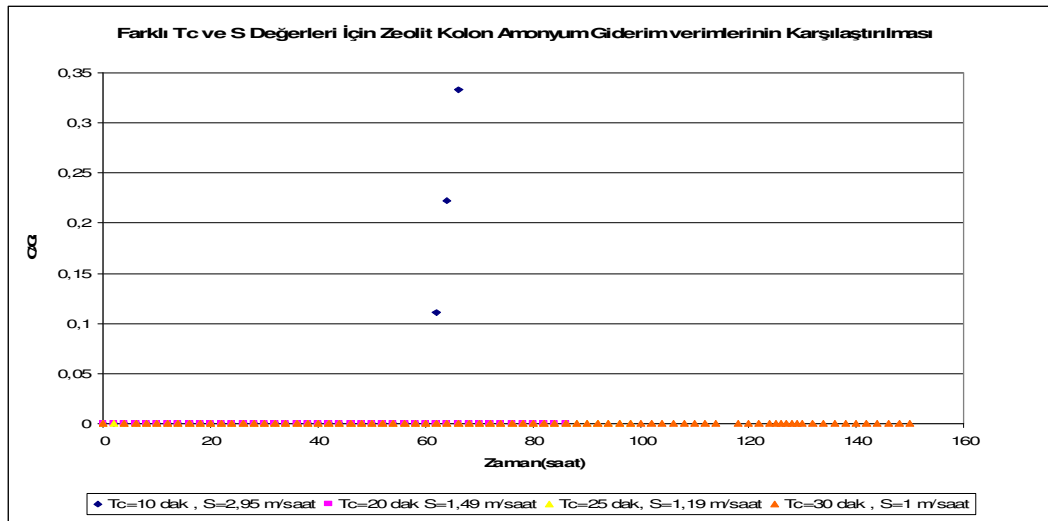
0,5-1 mm Zeolit (Porozite 0,45) Cu:1,9

Giriş NH_4-N : 20 mg/lt

Giriş AKM: 72 mg/lt

B1) Farklı T_c ve L değerleri için 0,5-1 mm Zeolit Kolon Amonyum Giderimlerinin Karşılaştırılması

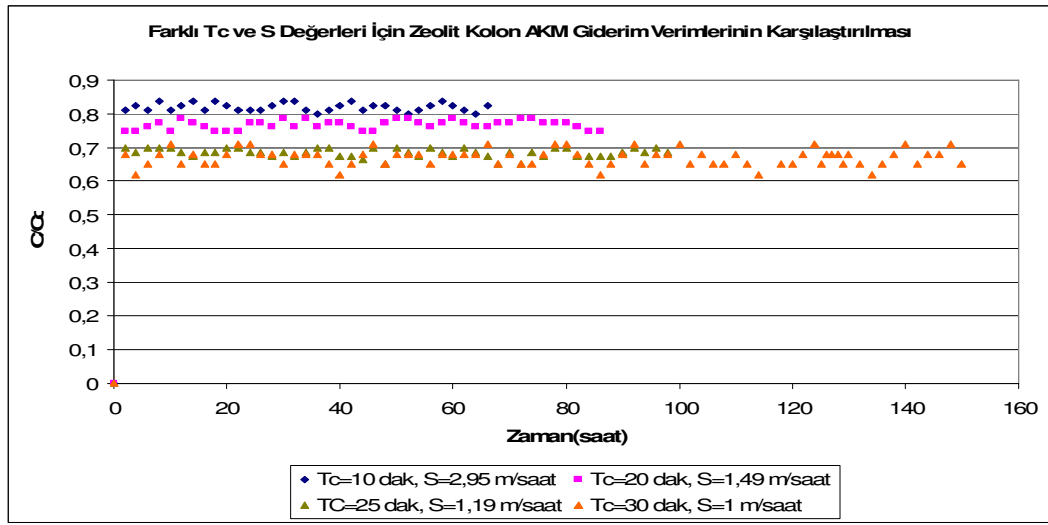
Şekil 6.22’de Farklı T_c ve L değerleri için 0,5-1 mm zeolit kolon Amonyum giderimleri karşılaştırılmıştır. Tüm temas süreleri için %100 amonyum giderimi elde edildiği görülmektedir. Kolonlarda sadece $T_c=10$ dak için işletim süresi bitimini kırılma noktası belirlemiştir (Kırılma noktası 58 saatte oluşmuştur).



Şekil 6.22 Temas Süresi ve Filtre Hızının Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi

B2) Farklı T_h ve L değerleri için 0,5-1 mm Zeolit Kolon AKM Giderimlerinin Karşılaştırılması

Şekil 6.23’de gösterilen farklı T_c ve S değerleri için 0,5-1 mm zeolit kolon AKM giderimleri incelenecek olursa AKM gideriminin %20 ile %40 arasında değiştiği görülmektedir. Zeolit yüksek porozitesi ve köşeli yapısı ile yüksek oranda AKM gideremese de , AKM gideriminde dikkate değer oranda katkısı bulunmaktadır. Bu sonuç çok amaçlı filtre sistemi ile AKM giderimi açısından önemli bir bulgudur.



Şekil 6.23 Temas Süresi ve Filtre Hızının Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi

6.3 Hedef Bazında Sonuçlar

Tez kapsamında yapılan ve yukarıda özetlenen ilk kısım çalışmada yer alan deneylerle birlikte, belirlenen hedeflerin açıklanabilmesi için eksik deneyler tamamlanarak, belirli parametrelerin etkilerinin daha net ortaya konması adına deney sonuçlarının hedefler bazında değerlendirildiği bölüm EK B’de verilmiştir.

Tüm deneylere ait sonuçlar Tablo 6.10’da verilmiştir. Tablo 6.10 incelendiğinde amonyum ve AKM giderim verimlerinin ve işletim sürelerinin çok fazla parametreden etkilendiği görülmektedir. Tüm bu etkenler deneysel çalışma sonuçları kısmında açıklanmıştır. Tablo 6.10’da görüldüğü gibi bu tez kapsamında yapılan deneylerde kullanılan filtrasyon hızları $0,3$ ile $3,73 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ saat}$ arasında

değişmektedir. Bu hız aralığı tablo 3.1 de verilen temiz su filtrasyon hızları ile karşılaştırıldığında hızlı ve yavaş filtre arasında kalındığı dikkati çekmektedir. Fakat filtrelerle atıksu arıtımı konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu tez kapsamında kullanılan hızlara benzer şekilde , ara hızlarda da çalışıldığı dikkat çekmektedir. Filtrelerde atıksu arıtımı ile ilgili yapılan farklı çalışmalar tablo 3.4’de örneklenmektedir.

Tablo 6.10 Farklı Koşullarda Çalıştırılan Zeolit Kolon, Kum Kolon ve Kum+Zeolit Kolon Amonyum ve AKM Giderimleri

Kolon Çapı (cm)	Kolon Yük. (cm)	Dolgu Malzemesi Cinsi	Dolgu Malzemesi Çapı (mm)	Porozite	Giriş NH ₄ -N mg/Lt	Giriş AKM mg/Lt	Filtrasyon Hızı m ³ /m ² saat	Temas Süresi (dak)	NH ₄ Giderimi (%)	AKM Giderimi (%)	İşletim Süresi (saat)
5	50	Zeolit	0,5-1	0,45	20	97	0,3	10	100	38	78 KN ^{*1}
5	50	Zeolit	1-2	0,51	20	97	0,3	10	100	20	64 KN
5	50	Zeolit	2-4	0,64	20	97	0,3	10	100	5	56 KN
3	50	Zeolit	0,5-1	0,45	20	68	3,73	8	100	17	58 KN
3	50	Zeolit	0,5-1	0,45	20	68	1	30	100	17	>150
5	50	Kum	1-2	0,42	20	97	0,3	10	18	45	74 T ^{*2}
3	50	Kum	0,5-1	0,36	20	68	3,73	8	20	90	8 T
3	25+25	Kum+Zeolit Zeolit Üstte	0,5-1(Zeo) 0,5-1(Kum)	0,45(Zeo) 0,36(Kum)	20	68	3,73	8	100	75	37 T
3	25+25	Kum+Zeolit Zeolit Üstte	0,5-1(Zeo) 0,5-1(Kum)	0,45(Zeo) 0,36(Kum)	20	68	1	30	100	82	120 KN
3	25+25	Kum+Zeolit Zeolit Üstte	0,5-1(Zeo) 0,5-1(Kum)	0,45(Zeo) 0,36(Kum)	20	90	1	30	100	85	26 T
3	25+25	Kum+Zeolit Zeolit Altta	0,5-1(Zeo) 0,5-1(Kum)	0,45(Zeo) 0,36(Kum)	20	90	1	30	100	67	18 T
3	50	Kum+Zeolit Tamamen Karışık	0,5-1(Zeo) 0,5-1(Kum)	0,45(Zeo) 0,36(Kum)	20	90	1	30	100	95	2 T
3	50	Kum	0,5-1	0,36	18	75	2,95	10	8	94	10 T
3	50	Kum	0,5-1	0,36	18	75	1,49	20	10	94	13 T
3	50	Kum	0,5-1	0,36	18	75	1,19	25	14	96	21 T
3	50	Kum	0,5-1	0,36	18	75	1	30	18	97	38 T
3	50	Zeolit	0,5-1	0,45	20	72	2,95	10	100	18	59 KN
3	50	Zeolit	0,5-1	0,45	20	72	1,49	20	100	23	84 T
3	50	Zeolit	0,5-1	0,45	20	72	1,19	25	100	30	95 T
3	50	Zeolit	0,5-1	0,45	20	72	1	30	100	35	158 T
3	25+25	Kum+Zeolit Zeolit Üstte	0,5-1(Zeo) 0,5-1(Kum)	0,45(Zeo) 0,36(Kum)	20	72	2,95	10	100	75	45 KN
3	25+25	Kum+Zeolit Zeolit Üstte	0,5-1(Zeo) 0,5-1(Kum)	0,45(Zeo) 0,36(Kum)	20	72	1,49	20	100	80	59 KN
3	25+25	Kum+Zeolit Zeolit Üstte	0,5-1(Zeo) 0,5-1(Kum)	0,45(Zeo) 0,36(Kum)	20	72	1,19	25	100	80	72 KN
3	25+25	Kum+Zeolit Zeolit Üstte	0,5-1(Zeo) 0,5-1(Kum)	0,45(Zeo) 0,36(Kum)	20	72	1	30	100	82	120 KN

1* KN : İşletim süresini kırılma noktası bitirmiştir.

2* T : İşletim süresini tıkanma bitirmiştir.

Tablo 6.11’de bazı önemli parametrelerin çok amaçlı kolon sistemleri üzerindeki etkileri özetlenmiştir. Tablo 6.11 incelendiğinde görülmektedir ki temas süresi ve kolon çapı/dane boyutu oranı ne kadar arttırılırsa giderim verimleri de o kadar artmaktadır. Ancak bu parametrelerin her ikisi de maliyeti arttırdığından, en doğru aralığın tespit edilmesi doğru olacaktır. Çok amaçlı filtre dizaynında çok fazla parametre sonucu etkilediğinden pilot çalışmanın önemi burada bir kez daha görülmektedir.

Tablo 6.11 Farklı Parametrelerin Deney Sonuçlarına Etkileri

PARAMETRE		NH ₄ giderimi	AKM giderimi	İşletme süresi
Malzeme boyutu	↑	↓	↓	↑
Temas süresi	↑	↑	↑	↑
Filtrasyon hızı	↑	↓	↓	↓
Kolon çapı/malzeme boyutu	↑	↑	↑	↑
Porozite	↑	↓	↓	↑

6.4. Farklı Temas Süresi ve Yüzey Yüklerinde Kum Kolon, Zeolit Kolon ve Çok Amaçlı Kolon Çalışma Koşullarının Geri Yıkama Yapılarak İncelenmesi

Bu tez kapsamında önerilen kum ve zeolit birlikt kullanıldığı çok amaçlı sistem içinde hem iyon değişimi, hem de filtrasyon proseslerinin aynı anda gerçekleşmesi istenmektedir. Bu kısma kadar yapılan denemelerde her iki prosesin tek tek ve birlikte nasıl geliştiğine dair incelemeler yapılmıştır. Bu incelemelerin sonunda tek tek çalışma koşulları incelenen her iki prosesin de çok amaçlı filtre sistemi içinde birlikte yürüyebildiği belirlenmiştir. Ancak proseslerden herhangi birinin sonlanması, sistem için işletim süresinin sonlanması olarak kabul edilmiştir. Buraya kadar yapılan deney sonuçları incelendiğinde işletim süresinin bitiminin genellikle tıkanma nedeniyle oluştuğu görülmektedir. Ancak işletim süresinin bitimini kırılma noktası bile oluştursa verimli bir rejenerasyon yapabilmek için önce geri yıkama yapılması

gerekliliği oluşmaktadır. Bu nedenle bu kısımda geri yıkama yapılarak sistemler çalıştırılmaya devam edilmiş ve amonyum giderimleri ile AKM giderimleri izlenmiştir. Geri yıkama yapılırken önce sistemin çalışması durdurulmuştur. Geri yıkama vanası önce yavaş açılarak yatak kabartılmış, geri yıkama hızı göreceli olarak arttırılmıştır. Geri yıkamaya 10 dak süreyle devam edilmiştir. Geri yıkama bitiminde vana yine yavaşça kapatılmış, yatağın daha iyi oturması için su hızı göreceli olarak azaltılmıştır. Kum + zeolitten oluşan çok amaçlı sistemde geri oturma sırasında kum ve zeolitin birbirine karışmayarak zeolitin düşük özgül ağırlığı nedeniyle yine üste oturması önemli bir deneysel bulgu olmuştur.

Deneyler, aşağıda verilen dört farklı temas süresi ve filtrasyon hızı için kum kolon, zeolit kolon ve kum+zeolitten oluşan çok amaçlı kolon sistemleri üzerinde yürütülmüştür. Tablo 6.12 geri yıkama yapılan deney koşullarını göstermektedir.

Tablo 6.12 Geri Yıkamalı Deney Koşulları

$T_h=10$ dak	$L=2,95 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=20$ dak	$L=1,49 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=25$ dak	$L=1,19 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=30$ dak	$L=1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm

Kullanılan Dane Çapları İçin Geri Yıkama Hızları

0,5-1 mm Zeolit kolon için geri yıkama hızı: 10,28 m/saat

0,5-1 mm Kum+Zeolit kolon için geri yıkama hızı: 13,71 m/saat

0,5-1 mm kum kolon için geri yıkama hızı: 17,2 m/saat

(Kum porozite 0,36 Cu:1,34), (Zeolit kolon porozite 0,45 Cu:1,9)

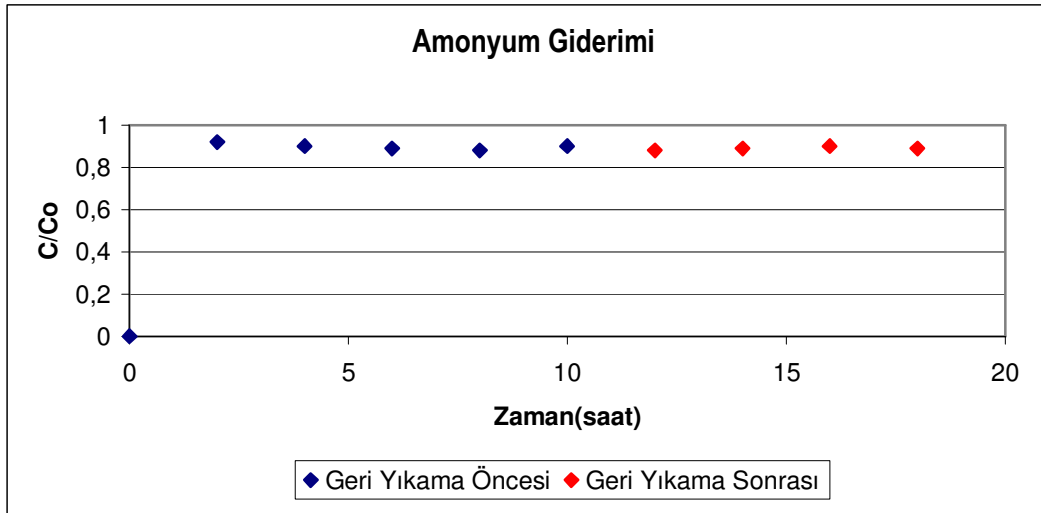
Giriş $\text{NH}_4\text{-N}$: 20 mg/lt

Giriş AKM: 72 mg/lt

1) $T_h=10$ dak $L=2,95 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat hyatak=50 cm Kolon Çapı:3 cm

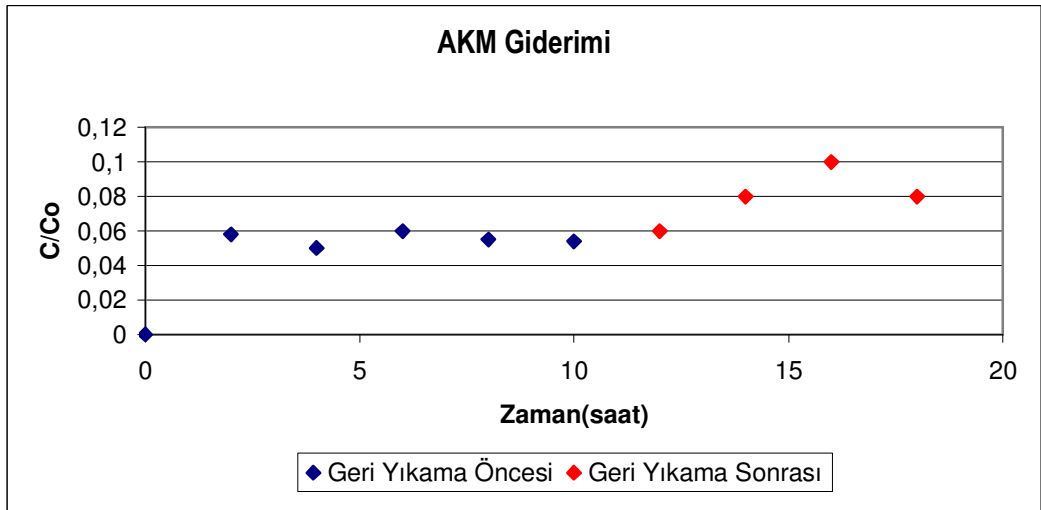
Şekil 6.24’de geri yıkamanın kum kolon amonyum giderimine etkisi gösterilmiştir.

A)Kum için, ($T_h=10$ dak)



Şekil 6.24 Geri Yıkamanın Kum Kolon Amonyum Giderimine Etkisi

Şekil 6.25’de geri yıkamanın kum kolon AKM giderimine etkisi gösterilmiştir.

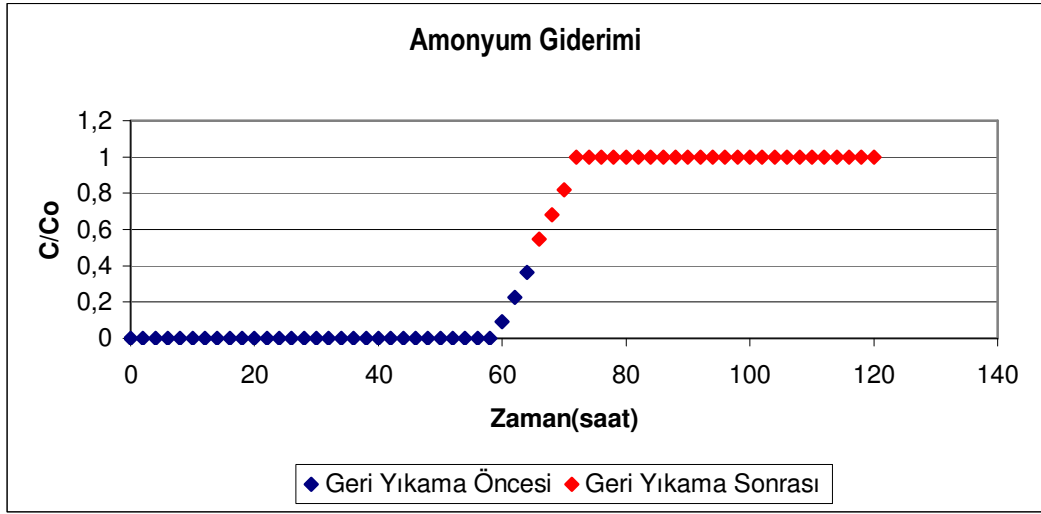


Şekil 6.25 Geri Yıkamanın Kum Kolon AKM Giderimine Etkisi

Şekil 6.24 ve 6.25 incelendiğinde kum kolon için amonyum gideriminin yaklaşık %5 oranında, AKM gideriminin ise %94 oranında gerçekleştiği görülmektedir. Geri yıkamadan sonra amonyum giderimi seyrinde hiçbir değişiklik gözlenmemiştir. AKM gideriminde ise %0,02 mertebesinde çok hafif bir azalma olmuş ve işletim süresi 2 saat kadar kısalmıştır.

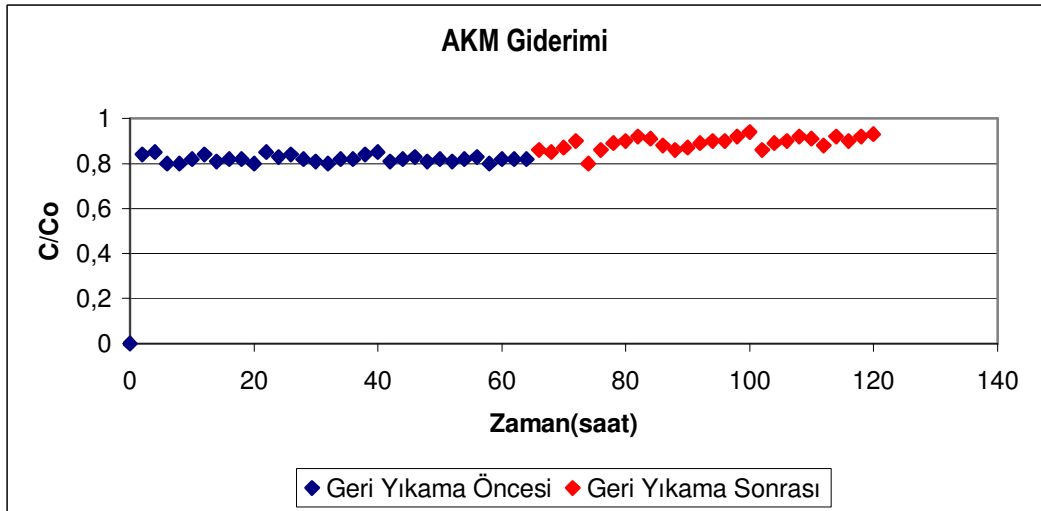
B)Zeolit için, ($T_c=10$ dak)

Şekil 6.26’da geri yıkamanın zeolit kolon amonyum giderimine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 6.26 Geri Yıkamanın Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi

Şekil 6.27’de geri yıkamanın zeolit kolon AKM giderimine etkisi gösterilmiştir.

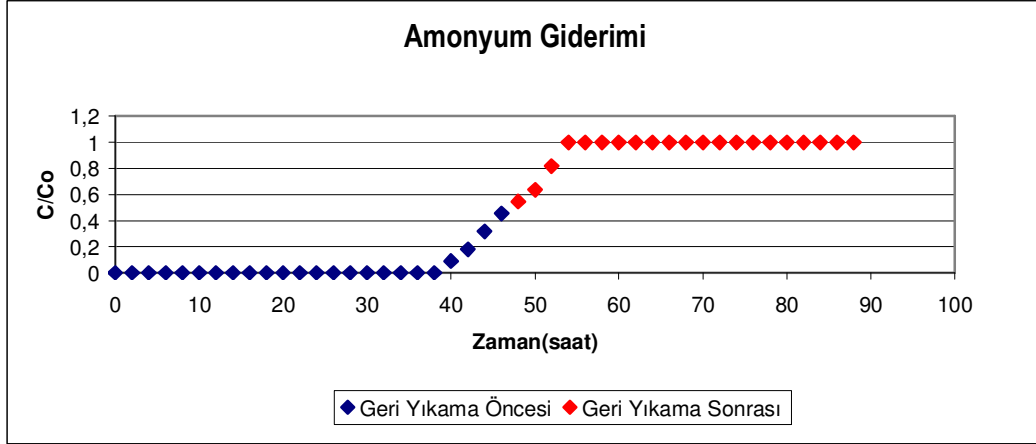


Şekil 6.27 Geri Yıkamanın Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi

Zeolit kolon için amonyum gideriminin %100 oranında, AKM gideriminin ise %20 oranında gerçekleştiği ve geri yıkamadan sonra AKM için aynı verimlerin alınmaya devam ettiği görülmektedir. Amonyum verimi geri yıkamadan etkilenmemektedir. Geri yıkamadan sonra amonyum için verim düşmeye devam etmekte ve geri yıkamasız haldeki seyrini aynen sürdürmektedir.

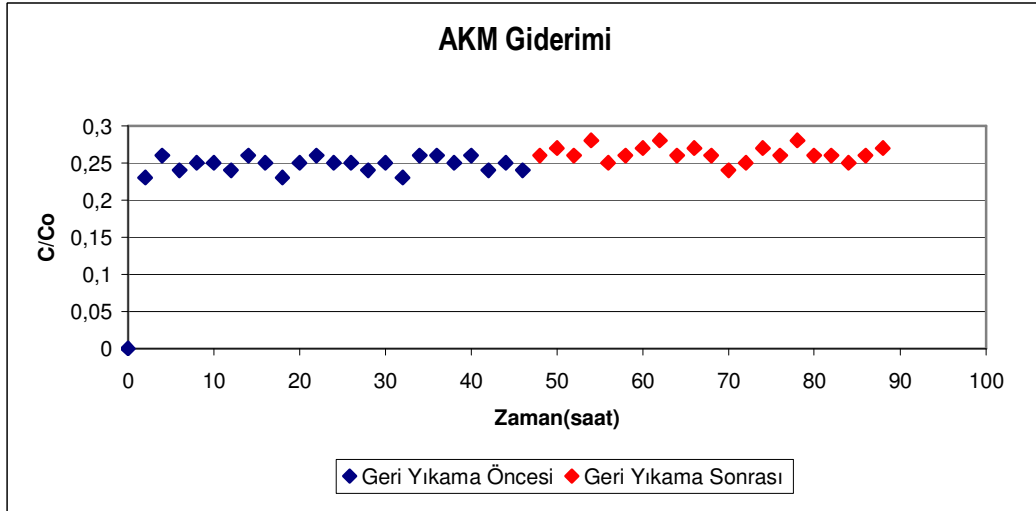
C)Kum+Zeolit için, ($T_h=10$ dak, $T_c=5$ dak)

Şekil 6.28’de geri yıkamanın kum+zeolit kolon amonyum giderimine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 6.28 Geri Yıkamanın Kum+Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi

Şekil 6.29’da geri yıkamanın kum+zeolit kolon AKM giderimine etkisi gösterilmiştir.



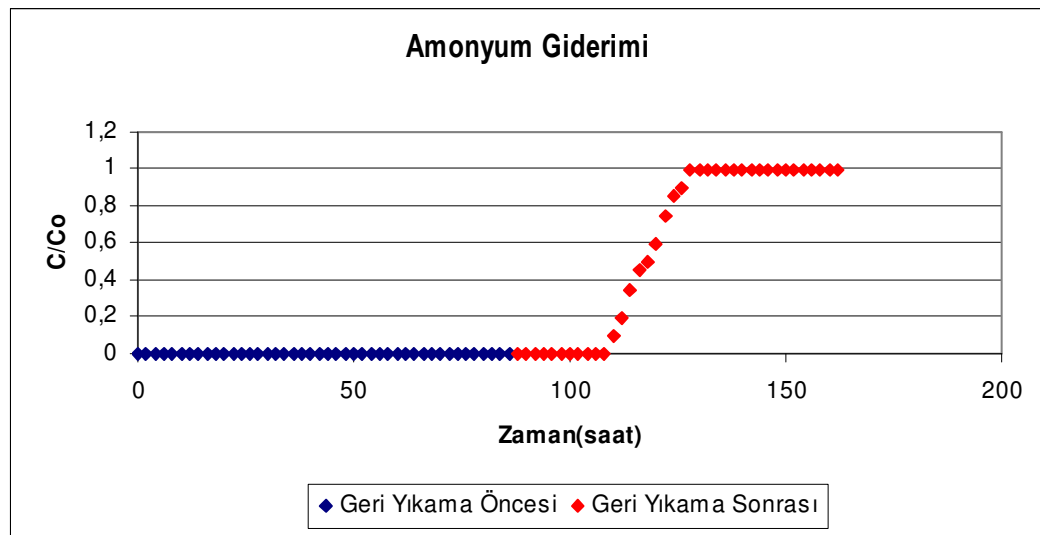
Şekil 6.29 Geri Yıkamanın Kum+Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi

Kum+zeolit kolon için amonyum gideriminin %100 oranında, AKM gideriminin ise %75 oranında gerçekleştiği ve geri yıkamadan sonra AKM için aynı verimlerin alınmaya devam ettiği görülmektedir. Amonyum verimi geri yıkamadan etkilenmemektedir.

2) $T_h=20$ dak $L=1,49 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat $h_{yatak}=50$ cm Kolon Çapı:3 cm

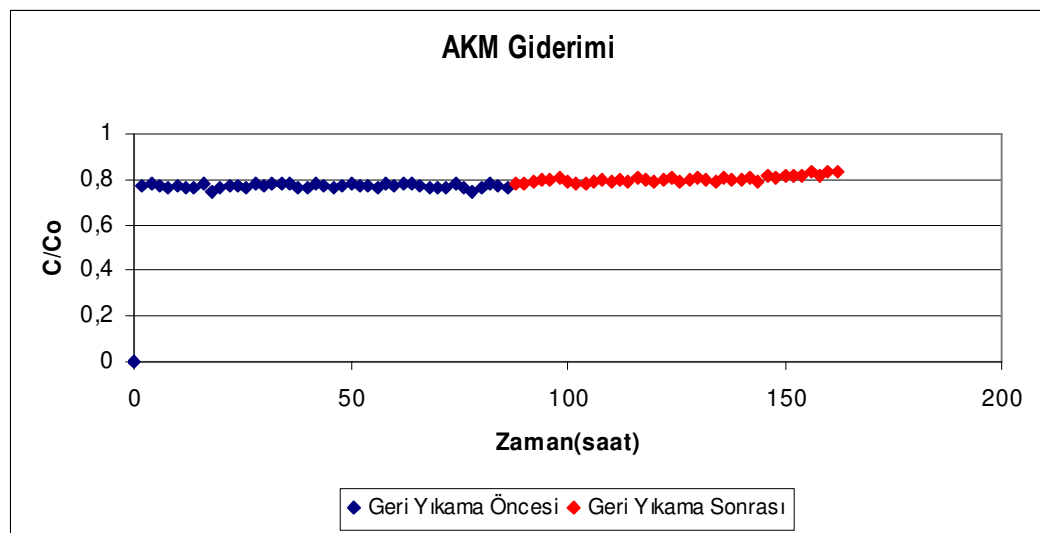
A) Zeolit için, (Tc=20 dak)

Şekil 6.30'da geri yıkamanın zeolit kolon amonyum giderimine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 6.30 Geri Yıkamanın Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi

Şekil 6.31’de geri yıkamanın zeolit kolon AKM giderimine etkisi gösterilmiştir.

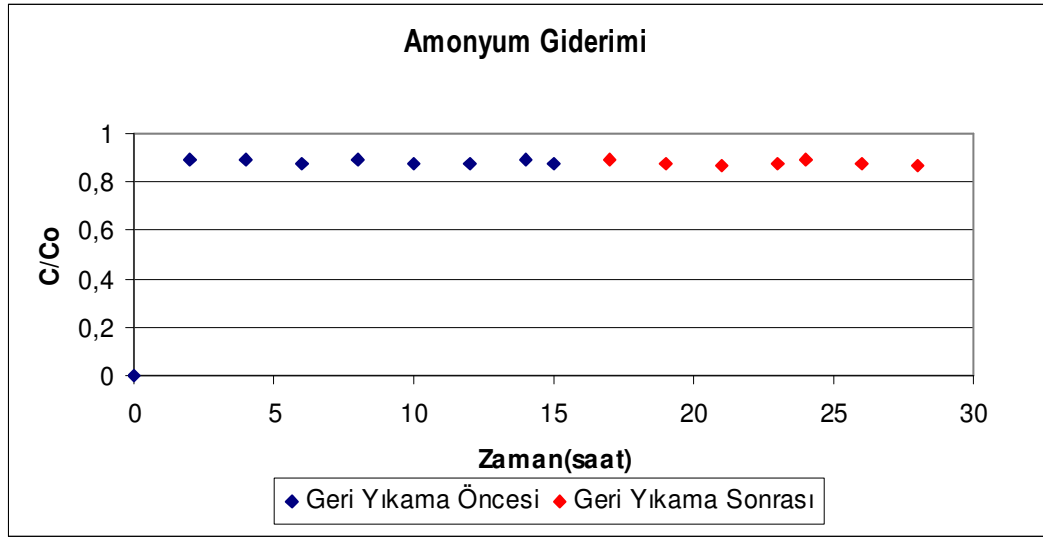


Şekil 6.31 Geri Yıkamanın Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi

Şekil 6.30 ve 6.31 incelendiğinde zeolit kolon için amonyum gideriminin %100 oranında, AKM gideriminin ise %20 oranında gerçekleştiği ve geri yıkamadan sonra AKM için aynı verimlerin alınmaya devam ettiği görülmektedir. Amonyum verimi geri yıkamadan etkilenmemiş olup yaklaşık 25 saat daha %100 olarak devam etmiş, geri yıkamasız haldekine benzer şekilde 108 saatte kırılma noktası oluşmuştur.

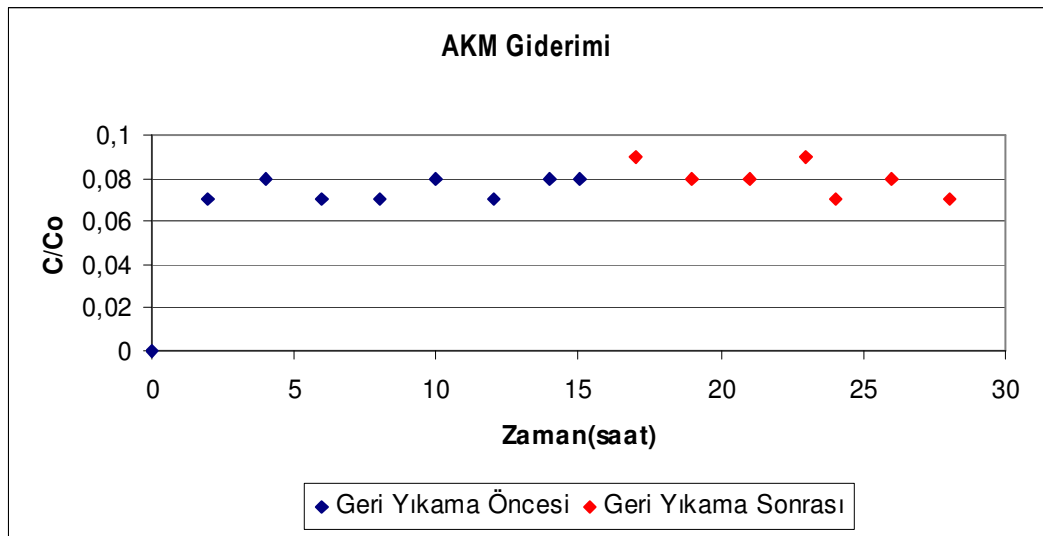
B) Kum için, (Th=20 dak)

Şekil 6.32’de geri yıkamanın kum kolon amonyum giderimine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 6.32 Geri Yıkamanın Kum Kolon Amonyum Giderimine Etkisi

Şekil 6.33’de geri yıkamanın kum kolon AKM giderimine etkisi gösterilmiştir.

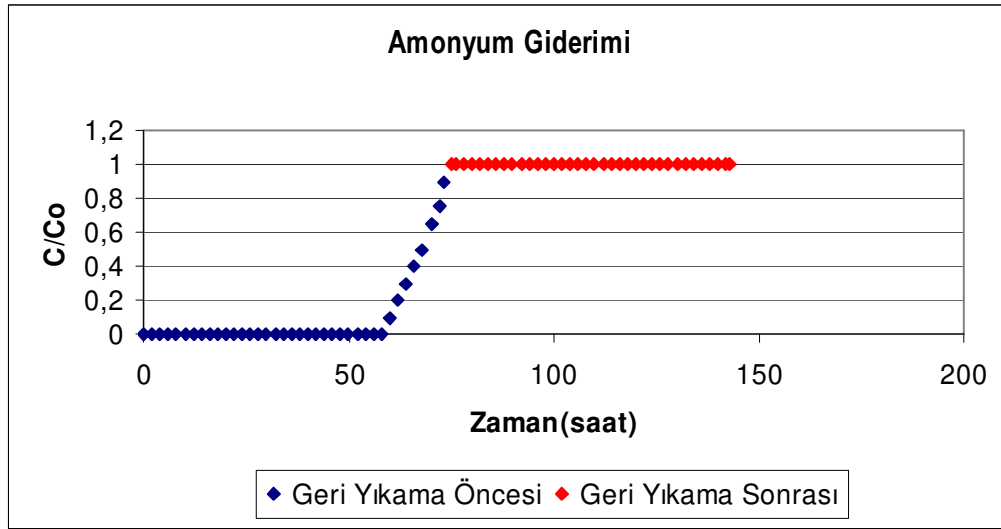


Şekil 6.33 Geri Yıkamanın Kum Kolon AKM Giderimine Etkisi

Kum kolon için amonyum gideriminin %10 oranında, AKM gideriminin ise %95 oranında gerçekleştiği ve geri yıkamadan sonra AKM için yaklaşık olarak aynı verimlerin alınmaya devam ettiği görülmektedir. Amonyum verimi geri yıkamadan etkilenmemiştir.

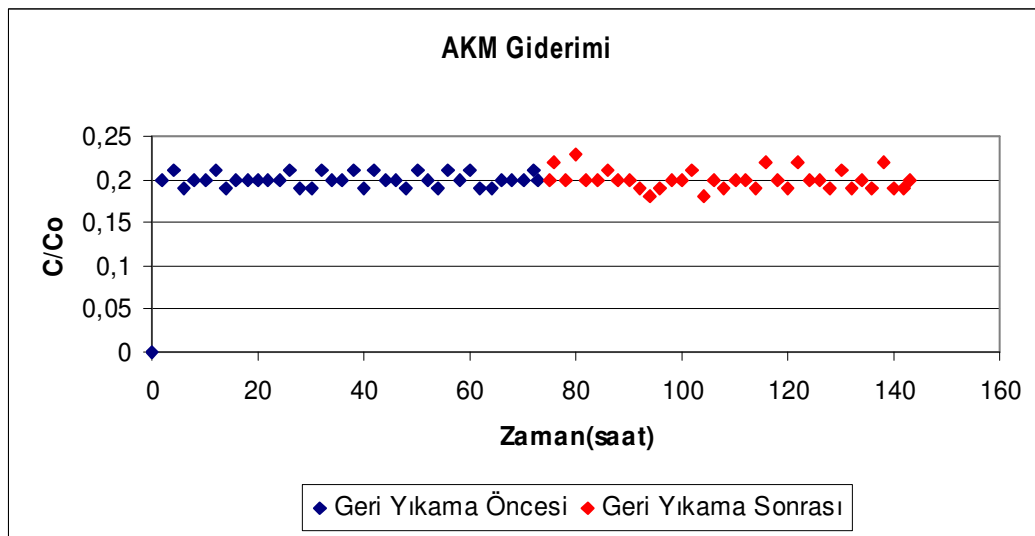
C) Kum+ Zeolit Kolon için, ($T_h=20$ dak , $T_c=10$ dak)

Şekil 6.34’de geri yıkamanın kum+zeolit kolon amonyum giderimine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 6.34 Geri Yıkamanın Kum+Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi

Şekil 6.35’de geri yıkamanın kum+zeolit kolon AKM giderimine etkisi gösterilmiştir.



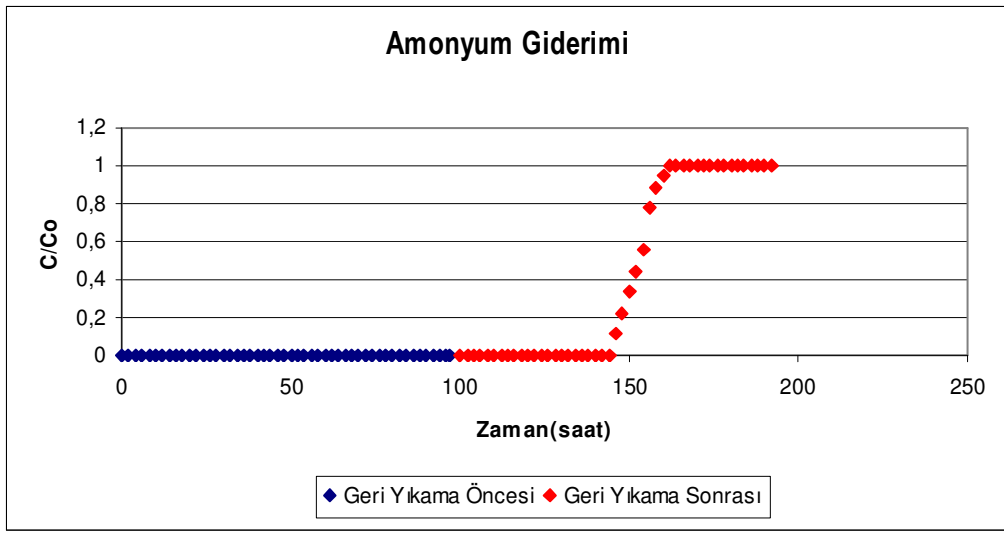
Şekil 6.35 Geri Yıkamanın Kum+Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi

Şekil 6.34 ve 6.35 incelendiğinde kum+zeolit kolon için amonyum gideriminin %100 oranında, AKM gideriminin ise %80 oranında gerçekleştiği ve geri yıkamadan sonra AKM için aynı verimlerin alınmaya devam ettiği görülmektedir. Amonyum verimi geri yıkamadan etkilenmemiştir.

3) $T_h=25$ dak $L=1,19$ m³/m² saat $h_{yatak}=50$ cm **Kolon Çapı:3 cm**

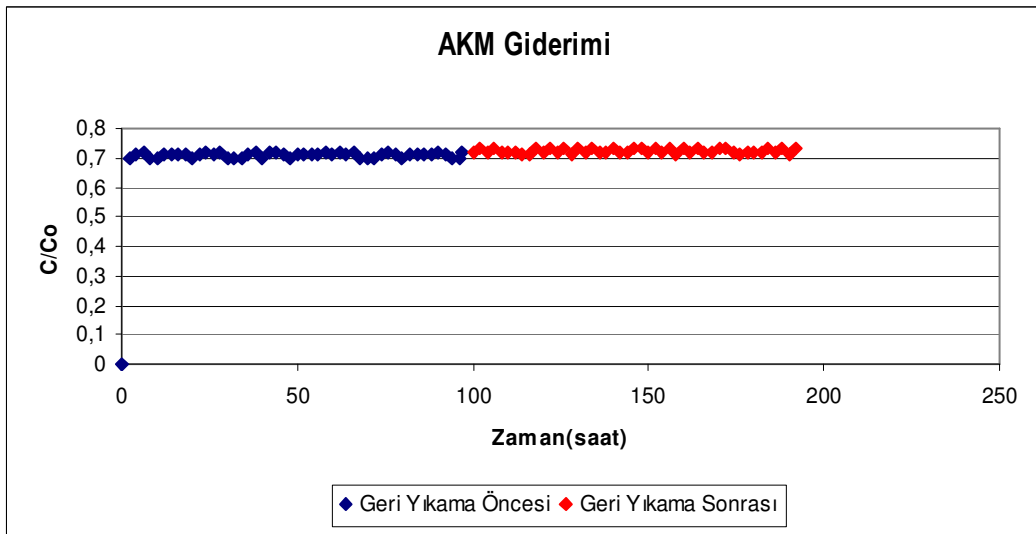
A)Zeolit için, ($T_c=25$ dak)

Şekil 6.36’da geri yıkamanın zeolit kolon amonyum giderimine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 6.36 Geri Yıkamanın Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi

Şekil 6.37’de geri yıkamanın zeolit kolon AKM giderimine etkisi gösterilmiştir.

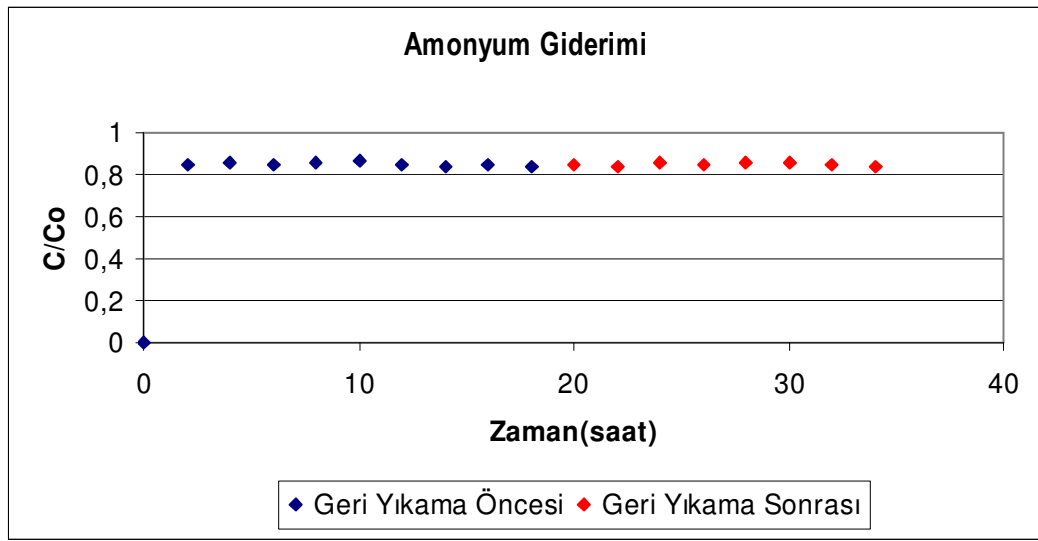


Şekil 6.37 Geri Yıkamanın Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi

Zeolit kolon için de amonyum verimi geri yıkamadan etkilenmemiş olup, Amonyum gideriminin %100 oranında, AKM gideriminin ise %30 oranında gerçekleştiği ve geri yıkamadan sonra AKM için aynı verimlerin alınmaya devam ettiği görülmektedir.

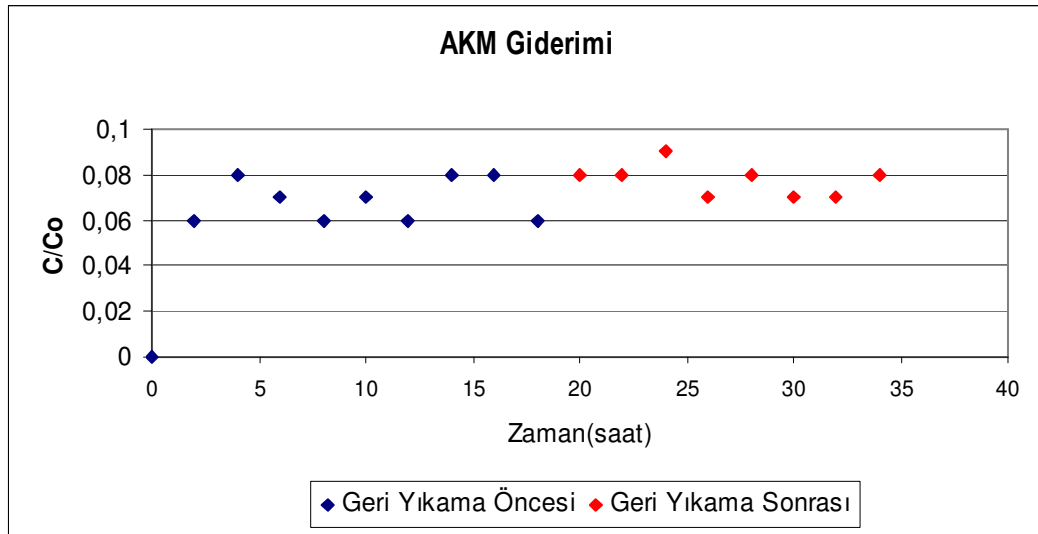
B) Kum için, ($T_h=25$ dak)

Şekil 6.38’de geri yıkamanın kum kolon amonyum giderimine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 6.38 Geri Yıkamanın Kum Kolon Amonyum Giderimine Etkisi

Şekil 6.39’da geri yıkamanın kum kolon AKM giderimine etkisi gösterilmiştir.

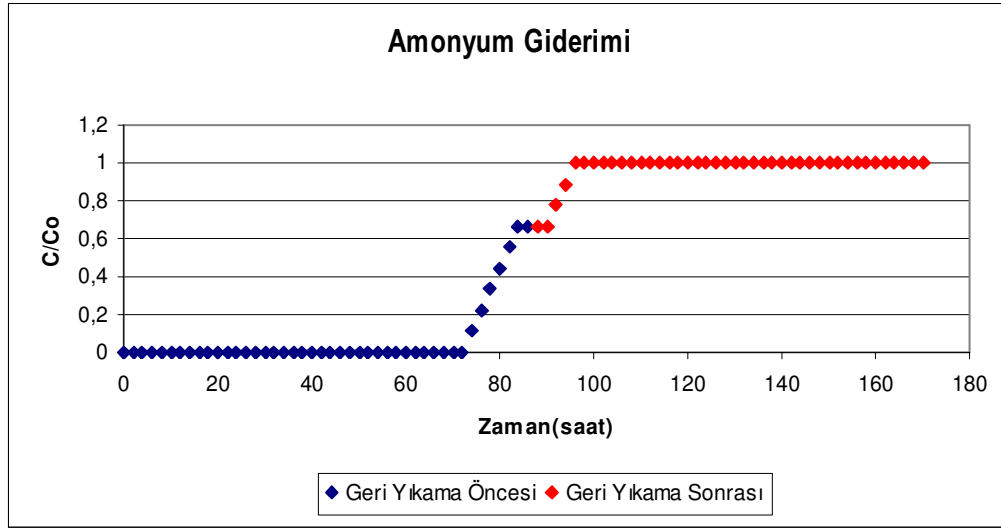


Şekil 6.39 Geri Yıkamanın Kum Kolon AKM Giderimine Etkisi

Şekil 6.38 ve 6.39 incelendiğinde kum kolon için amonyum gideriminin %18 oranında, AKM gideriminin ise %95 oranında gerçekleştiği ve geri yıkamadan sonra AKM için aynı verimlerin alınmaya devam ettiği görülmektedir. amonyum verimi geri yıkamadan etkilenmemiştir.

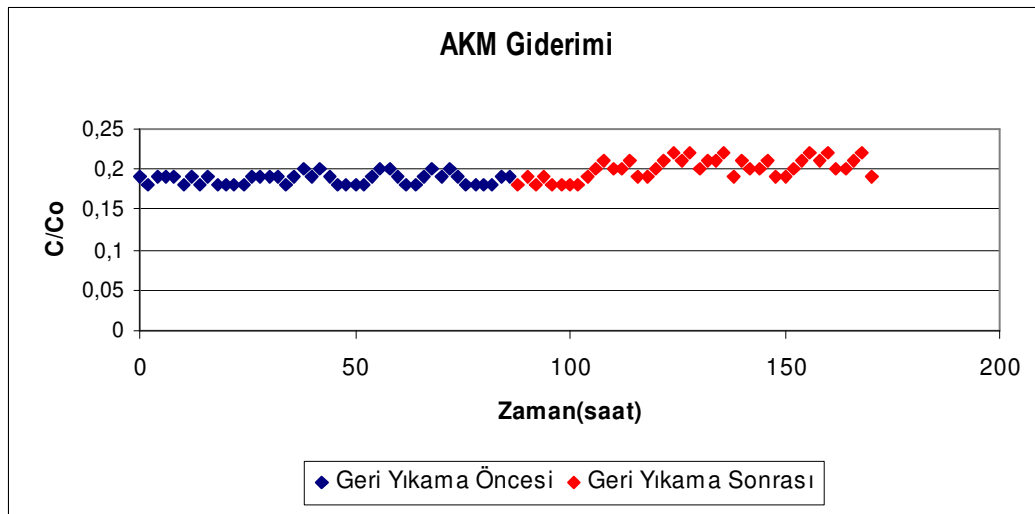
C) Kum+ Zeolit Kolon, (Th=25 dak , Tc=12 ,5 dak)

Şekil 6.40'da geri yıkamanın kum+zeolit kolon amonyum giderimine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 6.40 Geri Yıkamanın Kum+Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi

Şekil 6.41'de geri yıkamanın kum+zeolit kolon AKM giderimine etkisi gösterilmiştir.



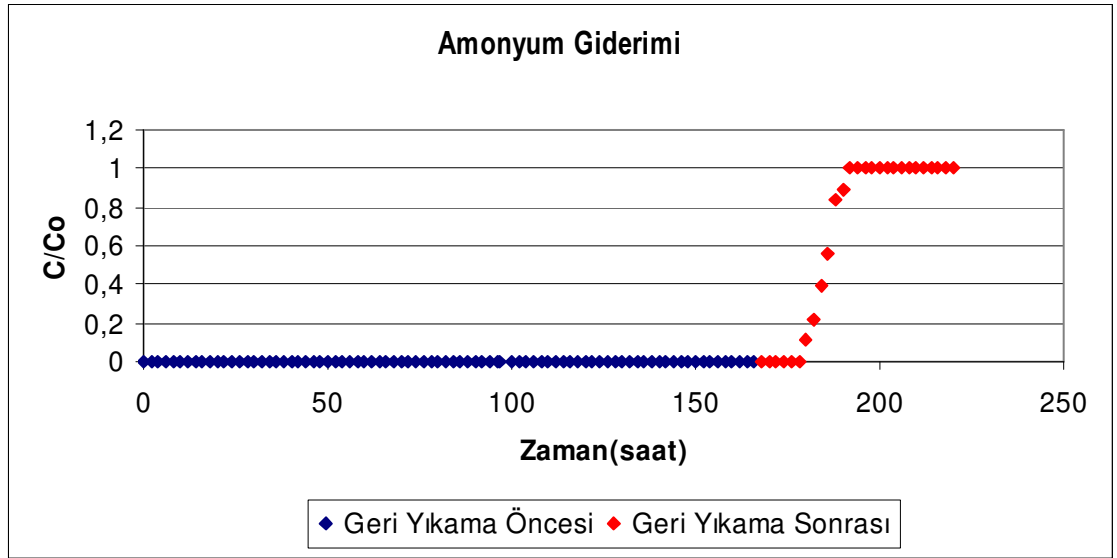
Şekil 6.41 Geri Yıkamanın Kum+Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi

Şekil 6.40 ve 6.41 incelendiğinde kum+zeolit kolon için amonyum gideriminin %100 oranında, AKM gideriminin ise %82 oranında gerçekleştiği ve geri yıkamadan sonra AKM için aynı verimlerin alınmaya devam ettiği görülmektedir.

4) $T_h=30$ dak $L=1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat $h_{yatak}=50$ cm Kolon Çapı:3 cm

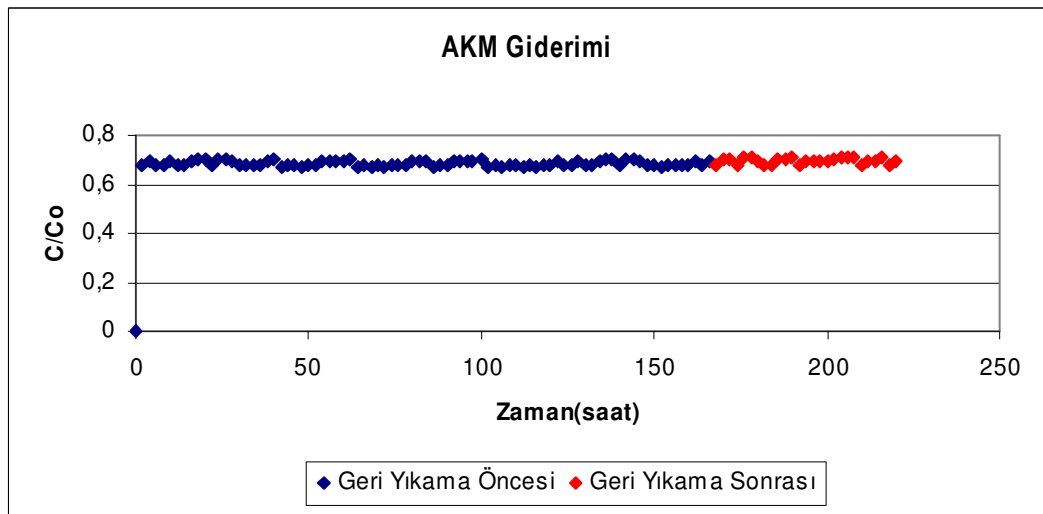
A) Zeolit için, ($T_h=30$ dak)

Şekil 6.42’de geri yıkamanın zeolit kolon amonyum giderimine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 6.42 Geri Yıkamanın Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi

Şekil 6.43’de geri yıkamanın zeolit kolon AKM giderimine etkisi gösterilmiştir.

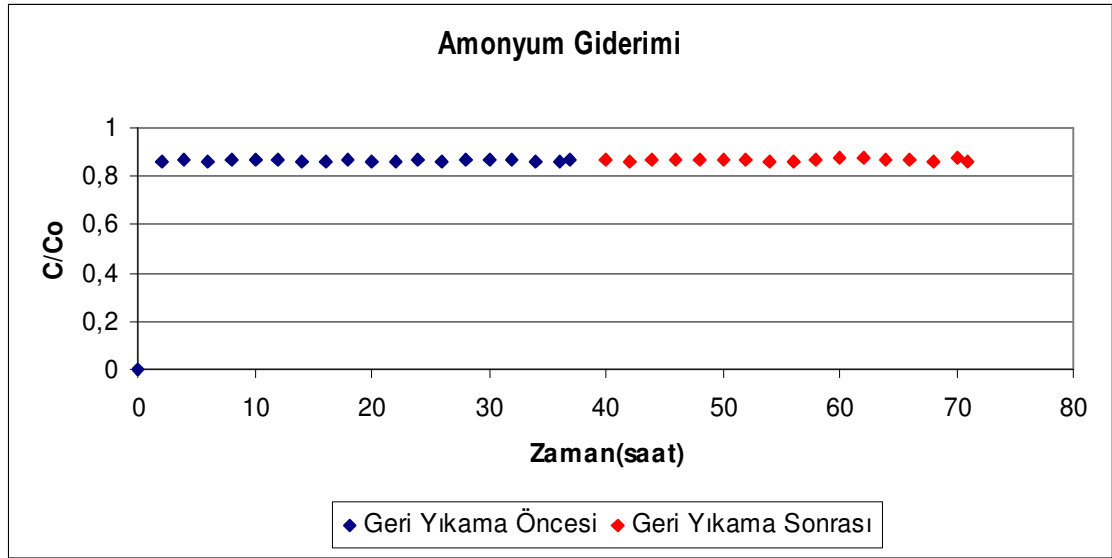


Şekil 6.43 Geri Yıkamanın Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi

Şekil 6.42 ve 6.43 incelendiğinde Zeolit kolon için amonyum gideriminin %100 oranında, AKM gideriminin ise %30 oranında gerçekleştiği ve geri yıkamadan sonra AKM için aynı verimlerin alınmaya devam ettiği görülmektedir. Amonyum giderim seyri geri yıkamadan etkilenmemiştir.

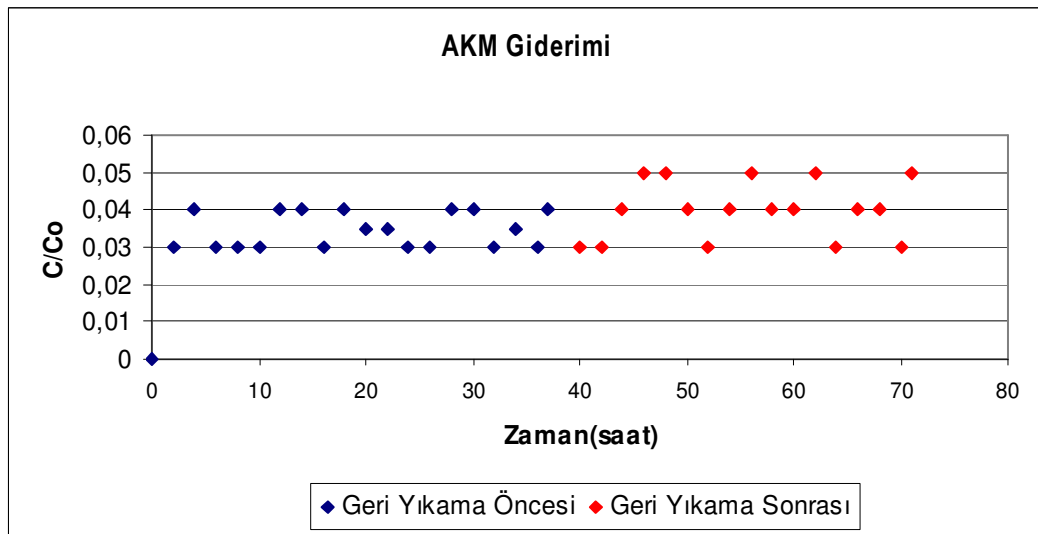
B) Kum için, $T_h=30$ dak

Şekil 6.44’de geri yıkamanın kum kolon amonyum giderimine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 6.44 Geri Yıkamanın Kum Kolon Amonyum Giderimine Etkisi

Şekil 6.45’de geri yıkamanın kum kolon AKM giderimine etkisi gösterilmiştir

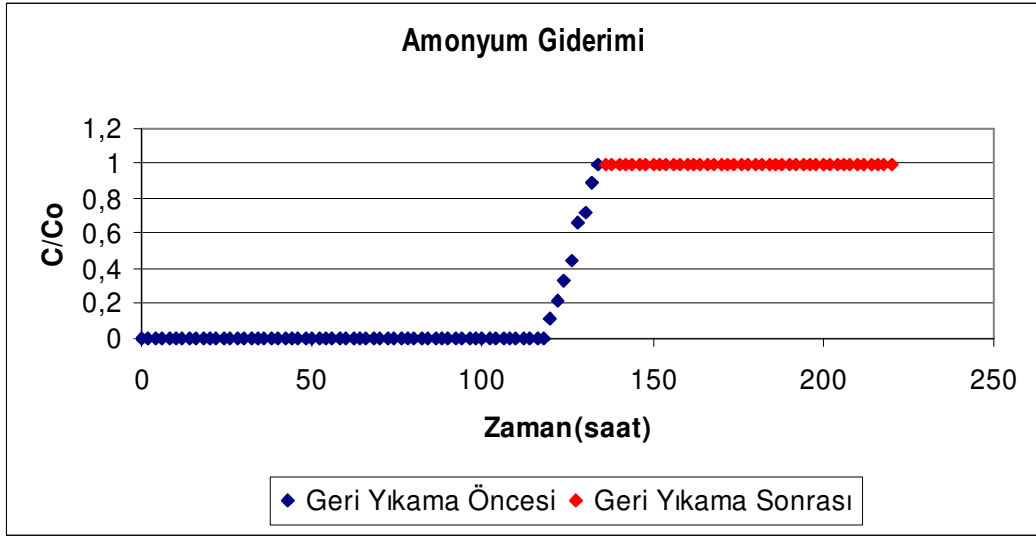


Şekil 6.45 Geri Yıkamanın Kum Kolon AKM Giderimine Etkisi

Şekil 6.44 ve 6.45 incelendiğinde zeolit kolon için amonyum gideriminin %18 oranında, AKM gideriminin ise %96 oranında gerçekleştiği ve geri yıkamadan sonra AKM için aynı verimlerin alınmaya devam ettiği görülmektedir.

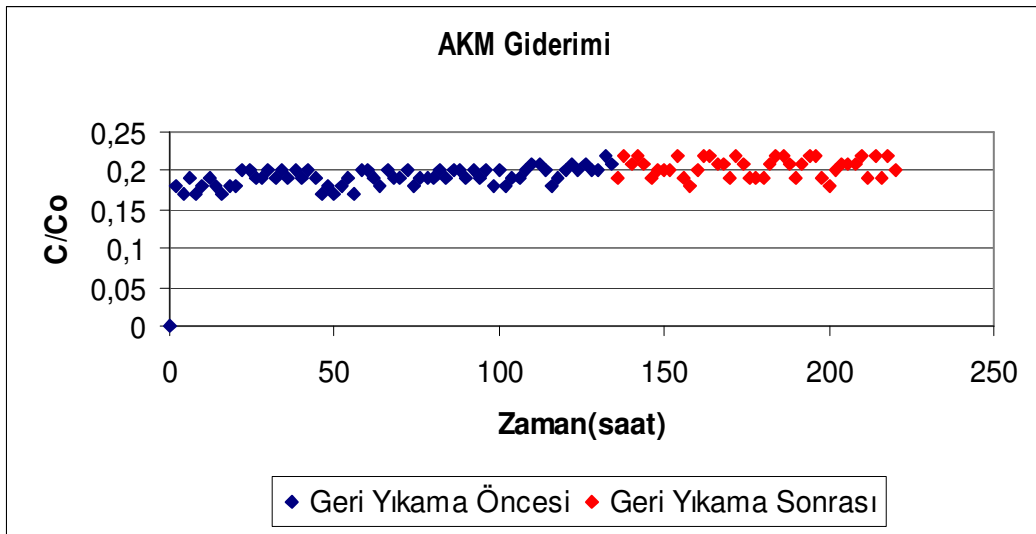
C) Kum+Zeolit Kolon ($T_h=30$ dak, $T_c=15$ dak)

Şekil 6.46'da geri yıkamanın kum+zeolit kolon amonyum giderimine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 6.46 Geri Yıkamanın Kum+Zeolit Kolon Amonyum Giderimine Etkisi

Şekil 6.47'de geri yıkamanın kum+zeolit kolon AKM giderimine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 6.47 Geri Yıkamanın Kum+Zeolit Kolon AKM Giderimine Etkisi

Şekil 6.46 ve 6.47 incelendiğinde kum+zeolit kolon için Amonyum gideriminin %100 oranında, AKM gideriminin ise %83 oranında gerçekleştiği ve geri yıkamadan sonra AKM için aynı verimlerin alınmaya devam ettiği görülmektedir. Amonyum verimi geri yıkamadan etkilenmemiştir.

Tüm deney sonuçları incelendiğinde, filtrasyonun tamamen yenilenerek geri yıkamadan sonra AKM giderimlerinin aynı verimle devam ettiği görülmektedir. Geri yıkamadan sonra %10'dan daha az olmakla birlikte işletim sürelerinde küçük kayıplar gözlenmektedir.

Amonyum için sistemler geri yıkamadan hiç etkilenmemektedir. Sistem Amonyum giderimine aynen devam etmekte, geri yıkamanın hiç yapılmadığı noktada kırılma noktası hangi noktada gerçekleşiyorsa, geri yıkamanın yapıldığı halde de aynı noktada gerçekleşmektedir.

6.5. Farklı Temas Süresi ve Yüzey Yüklerinde Kum Kolon, Zeolit Kolon ve Çok Amaçlı Kolon Yük Kayıpları

Yük kaybı oluşumu filtrasyon bölümünde de açıklandığı gibi geri yıkamanın belirlenmesi aşamasında büyük önem taşır. Bu kısımda geri yıkama kısmında verilen bekletme süreleri ve yüzey yükleri için kum kolon, zeolit kolon ve kum+zeolit kolon için yük kayıpları gösterilmiştir. Kolon yüksekliği 1 m olduğundan tüm kolonlar için maksimum yük kaybı 80 cm kabul edilmiştir, (Seçilen tıkanma sınır değeri). Tablo 6.13'de yük kaybı ölçümlerinin yapıldığı deney koşulları görülmektedir.

Tablo 6.13 Yük Kaybı Ölçümlerini Yapıldığı Deney Koşulları

$T_h=10$ dak	$L=2,95 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=20$ dak	$L=1,49 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=25$ dak	$L=1,19 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm
$T_h=30$ dak	$L=1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat	hyatak=50 cm	Kolon Çapı:3 cm

Kullanılan Dane Çapları İçin Geri Yıkama Hızları

0,5-1 mm Zeolit kolon için geri yıkama hızı: 10,28 m/saat

0,5-1 mm Kum+Zeolit kolon için geri yıkama hızı: 13,71 m/saat

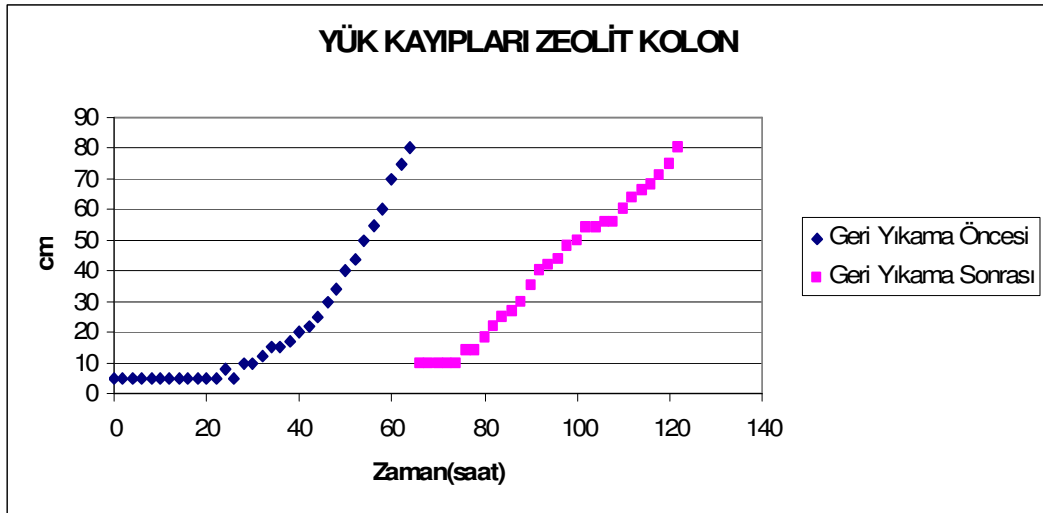
0,5-1 mm kum kolon için geri yıkama hızı: 17,2 m/saat

(Kum porozite 0,36 Cu:1,34), (Zeolit kolon porozite 0,45 Cu:1,9)

1) $T_h=10$ dak $L=2,95 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ saat}$ $h_{yatak}=50$ cm **Kolon Çapı:3 cm**

A)Zeolit için, ($T_c=10$ dak)

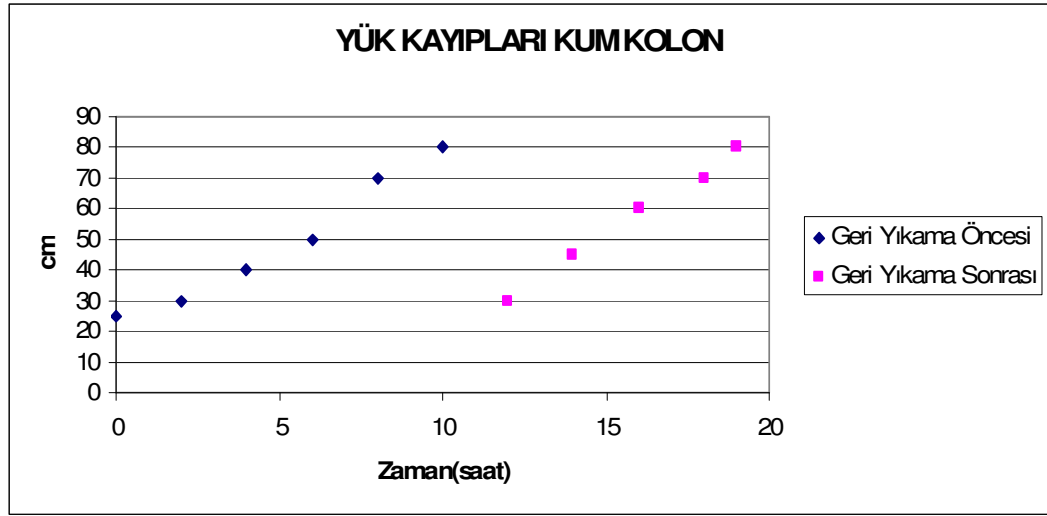
Şekil 6.48’de $T_c=10$ dak için zeolit kolon yük kayıpları incelendiğinde , başlangıç yük kaybının 5 cm olduğu, bu değerin 20. saatten itibaren artarak yaklaşık 48 saatte 80 cm’e ulaştığı görülmektedir. Geri yıkamanın ardından başlangıç yük kaybı 10 cm’e çıkmakla beraber, yük kaybı artışı benzer şekilde gelişmiştir.



Şekil 6.48 $T_c=10$ dak için Zeoit Kolon Yük Kayıpları

Şekil 6.49 $T_h=10$ dak için kum kolon yük kayıplarını göstermektedir. Kum kolon için başlangıç yük kaybı 25 cm olmuş ve hızla artmıştır. Kolonda yaklaşık 8 saatte maksimum yük kaybına ulaşılmıştır.

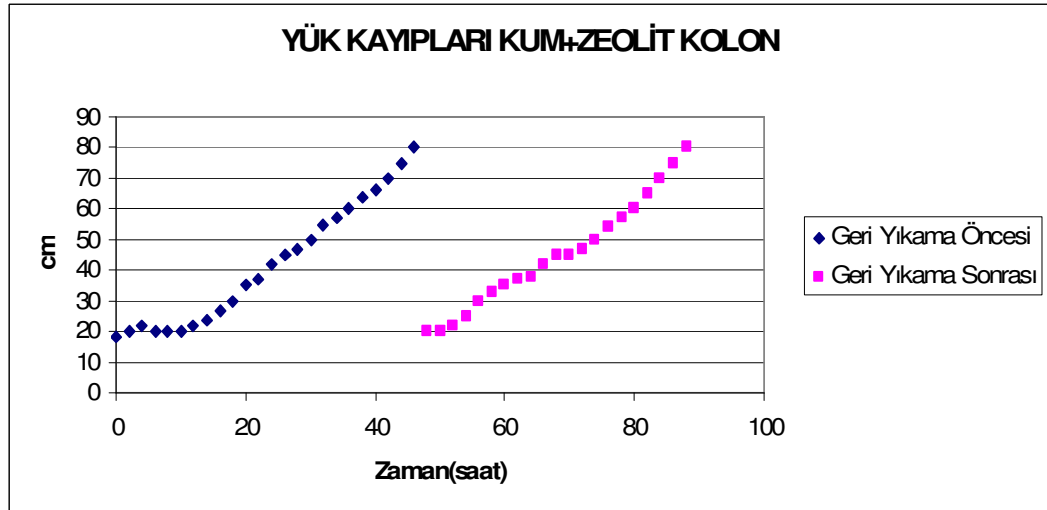
B)Kum için,



Şekil 6.49 $T_h=10$ dak için Kum Kolon Yük Kayıpları

C)Kum+Zeolit için, ($T_h=10$ dak, $T_c=5$ dak)

Şekil 6.50 incelendiğinde Kum+zeolit kolon için başlangıç yük kaybı 18 cm olup kum kolona göre daha yavaş artmıştır. Kolon, yaklaşık 40 saatte maksimum yük kaybına ulaşmıştır.

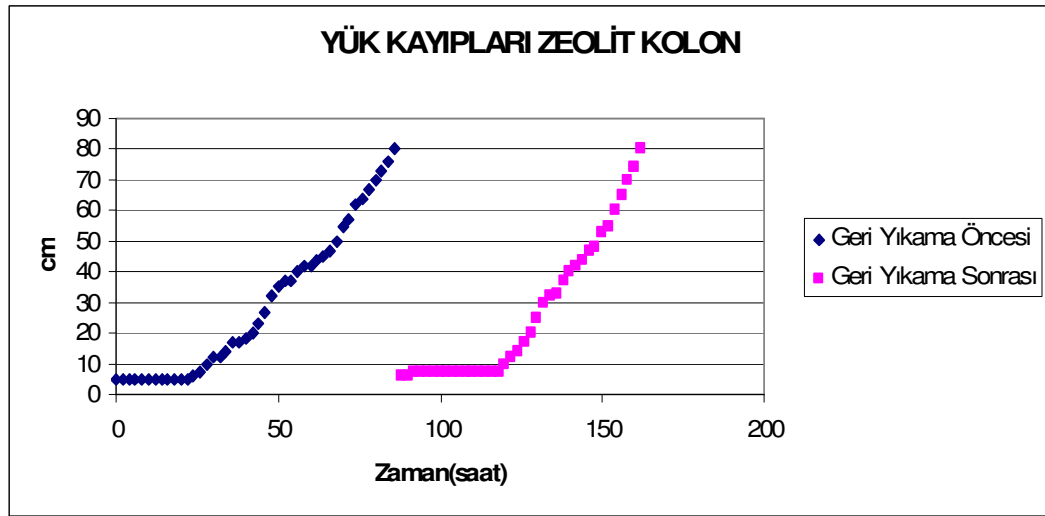


Şekil 6.50 $T_h=10$ dak, $T_c=5$ dak için Kum+Zeolit Kolon Yük Kayıpları

2) $T_h=20$ dak $L=1,49$ m³/m² saat $h_{yatak}=50$ cm **Kolon Çapı:3 cm**

A) Zeolit için, ($T_c=20$ dak)

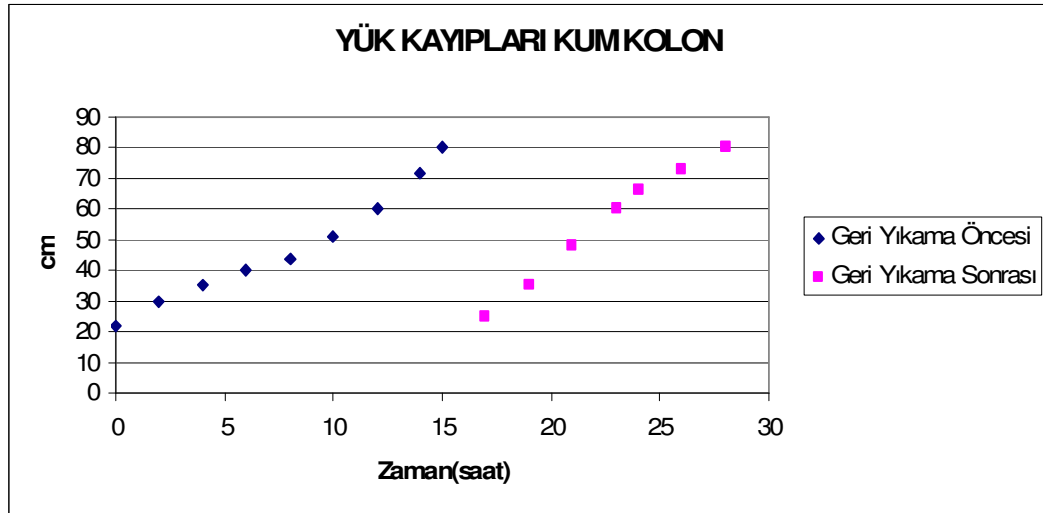
Şekil 6.51 $T_c=20$ dak için zeolit kolon yük kayıplarını göstermektedir $T_c=20$ dak için yük kaybı artışı, $T_c=10$ dakika olduğunda gerçekleşen yük kaybı artışına göre daha yavaş gelişmiştir. Bu durum hidrolik bekletme süresine bağlı olarak filtre hızı da değiştiğinden sonuçta filtre üzerinde toplanan yükün aynı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.51 $T_c=20$ dak için Zeolit Kolon Yük Kayıpları

B) Kum için, ($T_h=20$ dak)

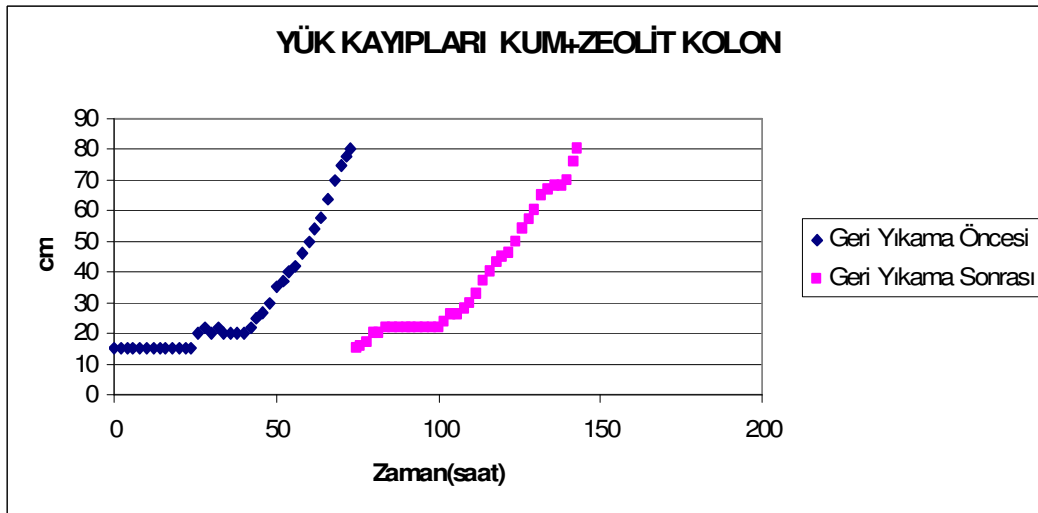
Şekil 6.52’de görüldüğü gibi kum kolonda $T_h=10$ dakikaya göre daha yavaş olmakla birlikte zeolit kolona göre çok daha hızlı yük kaybı artışı oluşmuştur. Kolon maksimum tıkanma noktasına 14 saatte ulaşmıştır.



Şekil 6.52 $T_h=20$ dak için Kum Kolon Yük Kayıpları

C) Kum+ Zeolit Kolon için, ($T_h=20$ dak , $T_c=10$ dak)

Şekil 6.53 $T_h=20$ dak için kum+zeolit kolon yük kayıplarını göstermektedir. Kum+zeolit kolonda başlangıç yük kaybı 15 cm olup, kolon maksimum tıkanma noktasına 64 saatte ulaşmıştır.



Şekil 6.53 $T_h=20$ dak, $T_c=10$ dak için Kum+Zeolit Kolon Yük Kayıpları

3) $T_h=25$ dak $L=1,19 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ saat}$ $h_{yatak}=50 \text{ cm}$ **Kolon Çapı:3 cm**

A) Zeolit için, ($T_c=25$ dak)

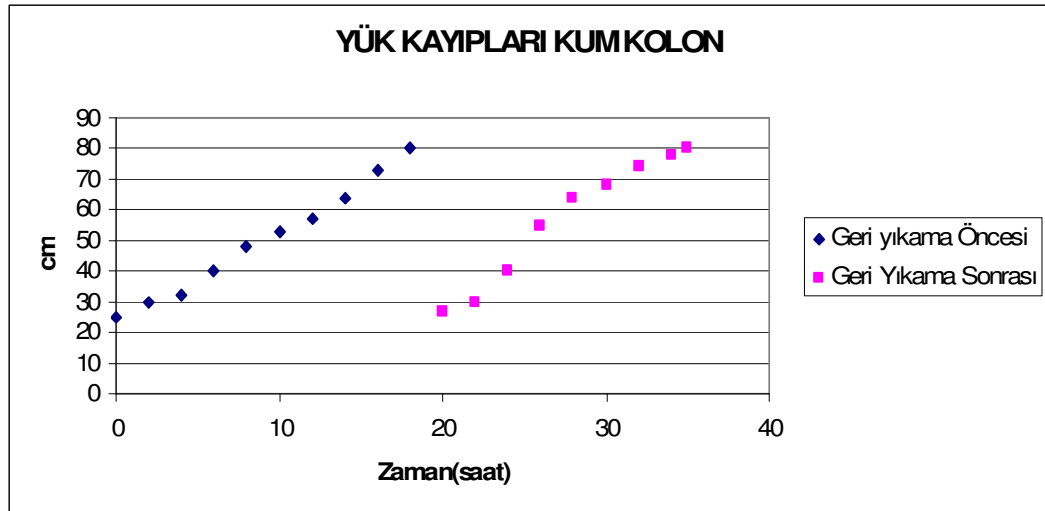
Şekil 6.54’de görüldüğü gibi $T_c=25$ dak için zeolit kolon için başlangıç yük kaybı 5 cm olup kum kolona göre daha yavaş artmıştır. Kolon, yaklaşık 92 saatte maksimum yük kaybına ulaşılmıştır.



Şekil 6.54 $T_c=25$ dak için Zeolit Kolon Yük Kayıpları

B) Kum için, ($T_h=25$ dak)

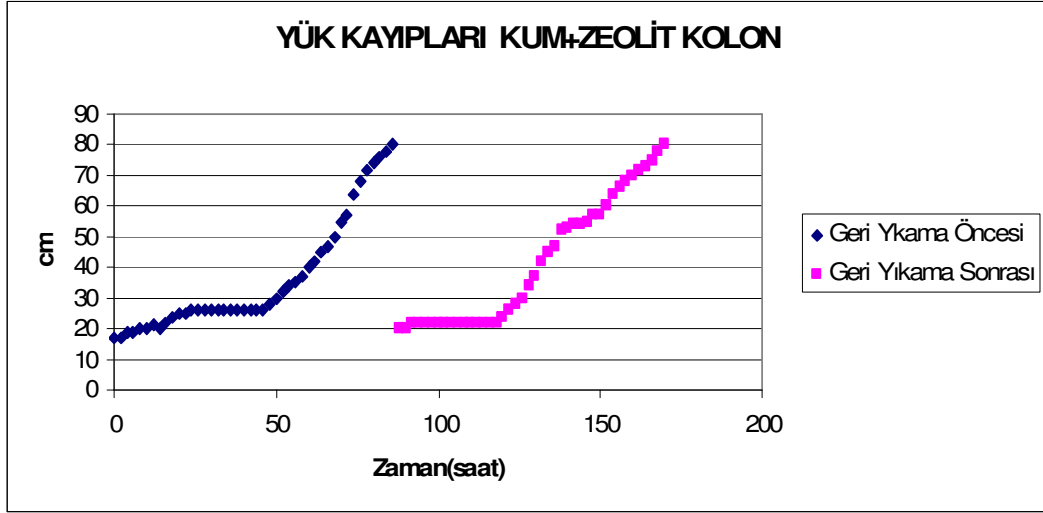
Şekil 6.55 $T_h=25$ dak için kum kolon yük kayıplarını göstermektedir. Kum kolon için başlangıç yük kaybı 25 cm olup zeolit kolona göre daha hızlı artmıştır. Kolon, yaklaşık 18 saatte maksimum yük kaybına ulaşılmıştır.



Şekil 6.55 $T_h=25$ dak. için Kum Kolon Yük Kayıpları

C) Kum+ Zeolit Kolon, ($T_h=25$ dak , $T_c=12,5$ dak)

Şekil 6.56 da görüldüğü gibi Kum+zeolit kolonda başlangıç yük kaybı 18 cm olup, kolon maksimum tıkanma noktasına 82 saatte ulaşmıştır.



Şekil 6.56 $T_h=25$ dak, $T_c=12,5$ dak için Kum+Zeolit Kolon Yük Kayıpları

4) $T_h=30$ dak $L=1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ saat $h_{yatak}=50$ cm Kolon Çapı:3 cm

D) Zeolit için, ($T_h=30$ dak)

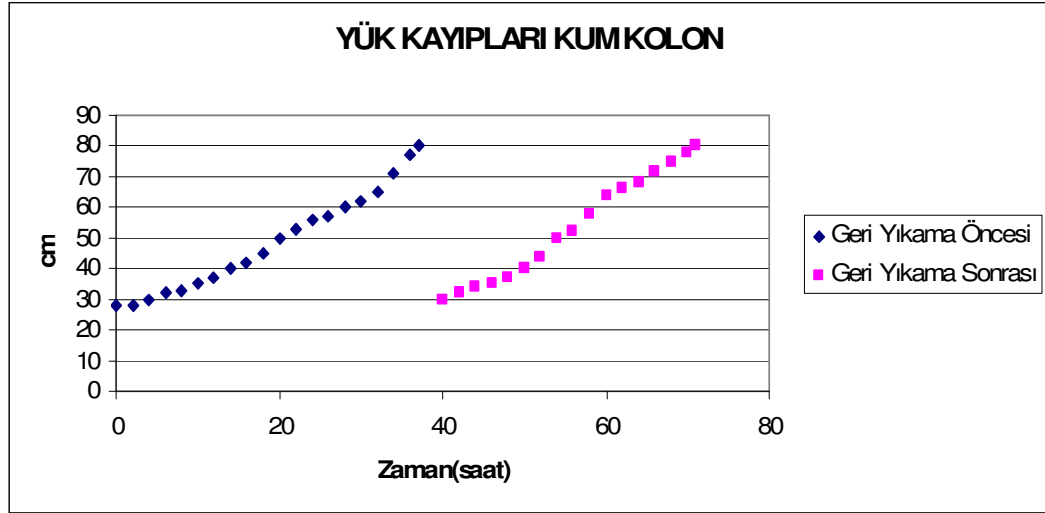
Şekil 6.57 $T_h=30$ dak için zeolit Kolon Yük Kayıplarını göstermektedir. Zeolit kolonda başlangıç yük kaybı 5 cm olup, kolon maksimum tıkanma noktasına 160 saatte ulaşmıştır.



Şekil 6.57 $T_c=30$ dak için Zeolit Kolon Yük Kayıpları

E) Kum için, $T_h=30$ dak

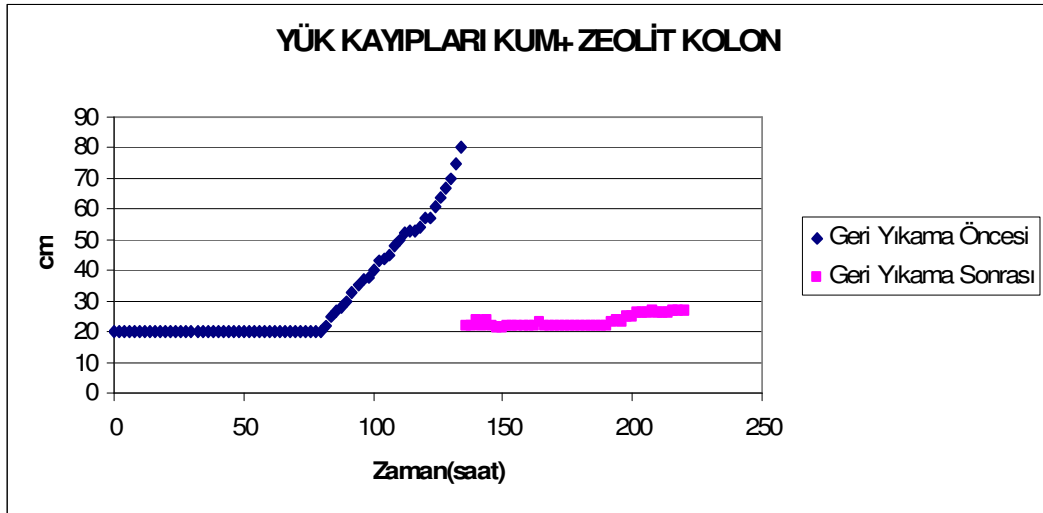
Şekil 6.58, $T_h=30$ dak için Kum Kolon Yük Kayıplarını göstermektedir. Kum kolonda başlangıç yük kaybı 28 cm olup, kolon maksimum tıkanma noktasına 38 saatte ulaşmıştır.



Şekil 6.58 $T_h=30$ dak. için Kum Kolon Yük Kayıpları

F) Kum+Zeolit Kolon ($T_h=30$ dak, $T_c=15$ dak)

Şekil 6.59'da görüldüğü gibi Kum+zeolit kolonda başlangıç yük kaybı 20 cm olup, kolon maksimum tıkanma noktasına 138 saatte ulaşmıştır. Geri yıkamadan sonra 220 saate kadar belirgin bir yük kaybı artışı görülmemiştir. Kolonun bundan sonraki yük kaybı artışının geri yıkamadan öncekine benzer şekilde olacağı düşünüldüğünden deney burada durdurulmuştur.

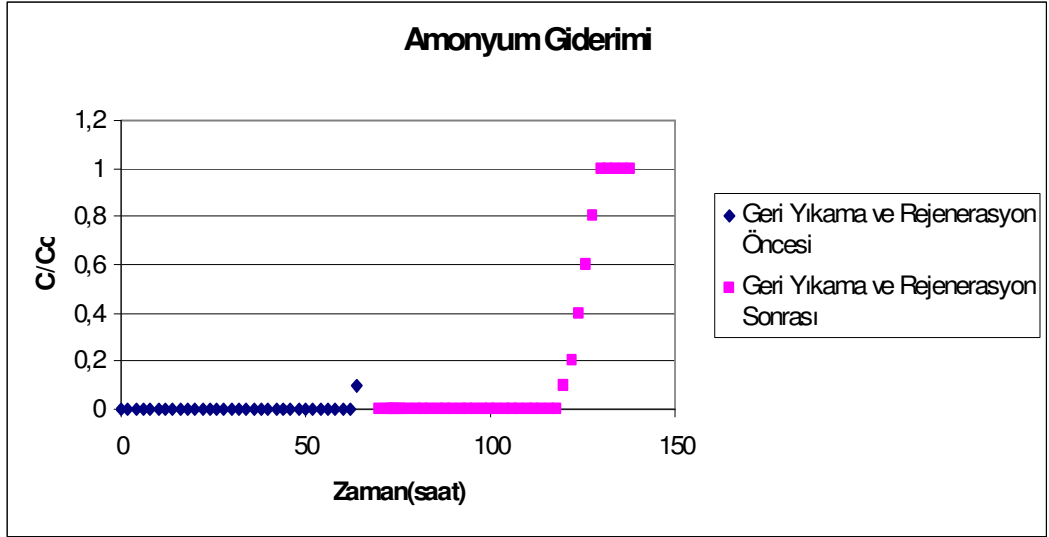


Şekil 6.59 $T_h=30$ dak, $T_c=15$ dak için Kum+Zeolit Kolon Yük Kayıpları

6.6 Seçilen Çok Amaçlı Filtre Sistemi için Rejenerasyon+ Geri Yıkama ile Birlikte Amonyum ve AKM Giderimlerinin İncelenmesi

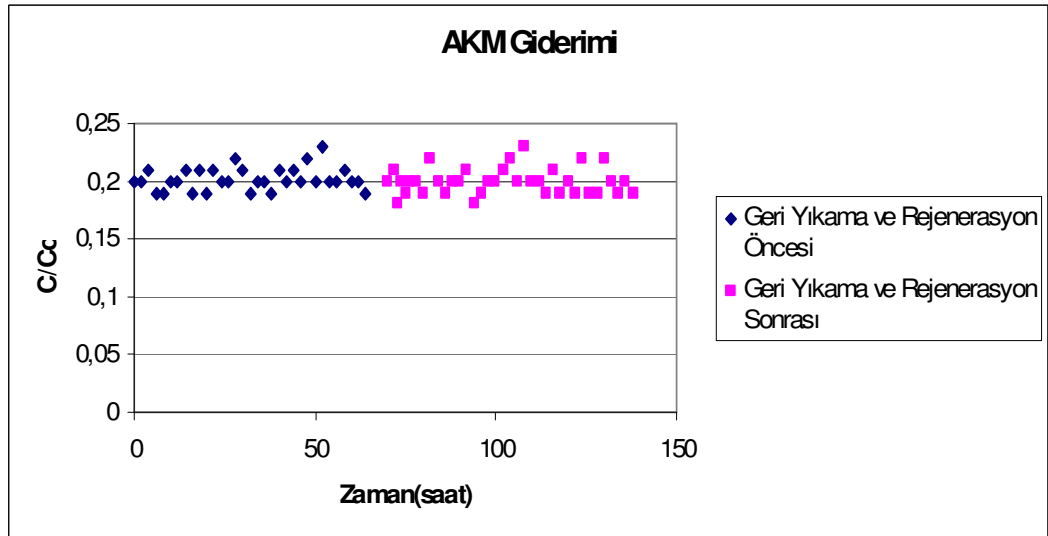
Tüm deneysel çalışma sonunda, %50 zeolitin üstte kullanıldığı, $T_h=20$ dak, $T_c=10$ dak (Kum+zeolit kolon) olan sistem en uygun sistem olarak belirlenmiş ve bu sistem üzerinde geri yıkama ve rejenerasyon birlikte gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu sisteme ait amonyum ve AKM giderim eğrileri görülmektedir. Bu deneme esnasında amonyum için dönüm noktası oluşmasını takiben yük kaybı artışı da başladığından geri yıkama ve rejenerasyonun birlikte gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Önce 10 dak geri yıkamanın ardından 5 BV/saat yükleme ile 1M NaCl sisteme 4 saat boyunca beslenerek rejenerasyon yapılmıştır (Liberti ve diğ. 1981, Booker ve diğ. 1996, Baykal ve Güven 1997, Turan ve diğ. 2003). Rejenerasyonu takiben 10 dak süreyle tuzu atmak amacıyla tekrar geri yıkama yapılmıştır. Geri yıkama ve rejenerasyonun ardından sistem aynı performansına dönmüştür.

Şekil 6.60'da çok amaçlı sistem geri yıkama ve rejenerasyonun amonyum giderimi üzerindeki etkisi gösterilmektedir.



Şekil 6.60 Giriş $\text{NH}_4\text{-N} = 20 \text{ mg/l}$ için Çok Amaçlı Kolon Amonyum Giderimi (Geri Yıkama ve Rejenerasyon öncesi ve sonrası)

Şekil 6.61’de çok amaçlı sistem geri yıkama ve rejenerasyonun AKM giderimi üzerindeki etkisi gösterilmektedir.



Şekil 6.61 Giriş $\text{NH}_4\text{-N} = 20 \text{ mg/l}$ için Çok Amaçlı Kolon AKM Giderimi (Geri Yıkama ve Rejenerasyon öncesi ve sonrası)

Bu deneme esnasında amonyum için dönüm noktası oluşmasını takiben yük kaybı artışı da başladığından geri yıkama ve rejenerasyonun birlikte gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Önce 10 dak geri yıkamanın ardından 5 BV/saat yükleme ile 1M NaCl, sisteme 4 saat boyunca beslenerek rejenerasyon yapılmış, bunu takiben 10 dak süreyle tuzu atmak amacıyla tekrar geri yıkama yapılmıştır. Geri yıkama ve rejenerasyonun ardından sistem aynı performansına dönmüştür.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

Bu tez ile tam ölçekli evsel bir atıksu arıtma tesisi ikinci kademe çıkışından alınan atıksu kullanılarak, iyon değişimi ile amonyum giderimi ve filtrasyon ile AKM giderimi proseslerinin her ikisinin aynı anda, en yüksek verimle giderilmeye çalışıldığı bir çok amaçlı filtre için en uygun çalışma şartları belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Bu tez kapsamında kullanılan Bigadiç klinoptilolitinin amonyum tutma kapasitesi yapılan kesikli sistem deney çalışmaları ile araştırılmış ve 20 mg/lit giiş amonyum konsantrasyonlu atıksu için 1-2 mm dane boyutunda pH 7,3 iken, bu tezde kullanılan Bigadiç klinoptilolitinin amonyum tutma kapasitesi 9,3 mg/g olarak bulunmuştur.
- Klinoptilolit dane boyutunun beklendiği gibi amonyum değişim kapasitesinde önemli olduğu, küçük dane boyutunda kapasitenin daha yüksek olduğu kesikli izoterm çalışmaları ile görülmüştür. Deney sonuçları değerlendirildiğinde dane boyutu küçüldükçe verimin arttığı, fakat işletim süresinin tıkanma nedeniyle düştüğü görülmüş, bu nedenle farklı deney aşamaları sonucunda doğru dane çapı-işletim süresi ilişkisi belirlenmeye çalışılmış, bunu yaparken porozite ve oluşan yük kayıpları dikkate alınmıştır.
- Dane boyutunun sistem verimi üzerindeki etkilerinin incelendiği ilk grup deneysel çalışmada kolon çapı / filtre malzemesi dane çapı oranının 50 iken ikinci grup deneysel çalışmada 60'a yükseltilmesi ile AKM giderim verimi %45'den %90'a çıkmıştır. Verimin bu kadar çok artmasında daha küçük dane boyutu kullanılmasının da etkisi vardır. Birinci aşamada 1-2 mm olan kum dane çapı, ikinci aşamada 0,5-1 mm olarak kullanılmıştır.
- Çok amaçlı sistemlerin kullanıldığı deneysel çalışmalarda, sistem içinde gerçekleşen iki procesten iyon değişimi için esas parametrenin temas süresi, filtrasyon için ise , filtrasyon hızı olduğu belirlenmiştir.

- Amonyum ve AKM gideriminde genel olarak sonuçlar incelendiğinde kum kolonlarda amonyum gideriminin %10'lar mertebesinde kaldığı belirlenmiştir. Bu da göstermektedir ki kum kolon için belirgin ölçüde amonyum giderimi oluşmamaktadır. Sadece AKM ile birlikte tutulma nedeniyle bir kısım Amonyum giderilmekte ve hidrolik bekletme süresinin (T_h) değişiminden bu giderim etkilenmemektedir. Kum kolonlar AKM gideriminde çok yüksek verim göstermektedir. Öyle ki en düşük bekletme süresi olan 10 dak için bile %94 AKM verimi elde edilmiştir. En yüksek bekletme süresi olan 30 dak için ise %96 verim elde edilmiştir. T_h 'nin değiştirilmesi verimi fazla etkilememekle birlikte kolon çalışma süresinde büyük değişikliğe yolaçmaktadır. $T_h = 10$ dak için kum kolon 10 saatte tıkanırken, $T_h = 30$ dak için 38 saatte tıkanmaktadır.
- Zeolit kolonlarda, bu tezdeki çalışma şartları için tüm kolonlarda amonyum giderimleri %100 gerçekleşmiştir. Temas süresi değişiminin dönüm noktası süresine etki ettiği görülmektedir, temas süresi arttıkça dönüm noktasına ulaşma süresi de artmaktadır. Tıkanma açısından genel olarak bakıldığında zeolit kolonların kum kolonlardan çok daha uzun işletim sürelerinin olduğu görülmektedir. Bu durum zeolitin yüksek porozitesinden kaynaklanmaktadır. Zeolit kolonların AKM giderimi %17 ile %38 arasında değişmekte, zeolit AKM gideriminde esas malzeme olmamasına rağmen, porozitesine bağlı olarak toplam giderime dikkate değer ölçüde katkı sağlamaktadır.
- Kum+Zeolit kolonların amonyum ve AKM giderimindeki performansları incelenirse, bu kolonlar %50 zeolit ve %50 kum içermelerine rağmen, Amonyum giderimi açısından %100 zeolit dolu olan kolona yakın verimde çalıştıkları, AKM giderimi açısından da %100 kum dolu kolona yakın verimde çalıştıkları görülmektedir. Bu durum kum+zeolit çok amaçlı sistemi için önemli bir tespittir.
- Deneysel çalışma kısmında farklı hidrolik bekletme süreleri için ($T_h=10-30$ dak) kum kolon, zeolit kolon ve kum+zeolit kolon için geri yıkama yapılarak amonyum ve AKM giderimleri izlenmiştir. Geri yıkama yapılan sistemlerde amonyum ve AKM giderim sonuçları incelendiğinde, geri yıkama uygulanan çok amaçlı filtrede filtrasyon prosesinin yeniden başlayarak, benzer

performansla devam ettiği, iyon değişimi prosesinin ise geri yıkamadan hiç etkilenmeden geri yıkamasız haldeki seyrini sürdürdüğü belirlenmiştir.

- Sürekli deney çalışmalarında, çok amaçlı filtre sistemlerinde filtrasyon için tıkanma ile iyon değişimi için kırılma noktası oluşumunun bu çalışma şartlarında genellikle ardarda meydana geldiği izlenmiştir. Geri yıkama ve rejenerasyondan hangisini önce yapmak gerekirse gereksin, verimli bir rejenerasyon için zeolit gözeneklerinin açılması gerektiğinden önce geri yıkama yapılması uygun bulunmuştur.
- Kum+zeolitten oluşan çok amaçlı filtre sistemleri için yapılan sürekli deneylerde bulunan tüm sistem verimleri ve işletim süreleri dikkate alındığında amonyum için içinde zeolit bulunan tüm sistemlerde %100 verim elde edilebildiği grlmştir. AKM için ise en iyi sonucun % 85 verim ile %25 klinoptilolitin üstte yer aldığı (Tüm sistemler aşağı akışlı olarak çalıştırılmıştır) ok amaçlı filtre sisteminde elde edildiği belirlenmiştir. Bu sistemde 26 saat olan işletim süresini, tıkanma nedeniyle ani yük kaybı bitirmiştir. Verim yanında işletim süreleri de dikkate alındığında %50 yatak hacminde klinoptilolitin üstte yer aldığı çok amaçlı filtre sisteminin 120 saat işletim süresine sahip olduğu, aynı zamanda bu sistemle % 82 AKM giderim verimi elde edildiği dikkat çekmektedir. Bu nedenle %50 yatak hacminde klinoptilolitin üstte yer aldığı sistem, amonyum ve AKM'nin birlikte, en uygun koşullarda giderilebildiği, çok amaçlı filtre sistemi olmuştur.
- Sürekli deneylerin sonunda $T_h=20$ dak ve giriş amonyum konsantrasyonu 20 mg/lit için %50 zeolitin girişte yer aldığı sistem en uygun sistem olarak seçilmiş, bu sistemde geri yıkama ve rejenerasyon birlikte gerçekleştirilmiştir. Geri yıkama ve rejenerasyonun ardından sistem verimleri incelendiğinde amonyum ve AKM giderimi açısından başlangıç performansına çok yakın sonuçlar alındığı grlmştir.

Sonuç olarak bu tez ile önerilen çok amaçlı filtre sistemi içinde zeolit ve kumun , iyon değişimi ve filtrasyon proseslerini birlikte gerçekleştirebildiği, geri yıkama ve rejenerasyon ile sistemin devamlılığının sağlanabildiği tespit edilmiştir. İkinci aşama sonuçlarında görülebileceği gibi sadece kumdan oluşan kolon %20

Amonyum giderebilirken %50 oranında zeolitin eklenmesi ile bu oran %100'e çıkmıştır. Sadece zeolit içeren kolon ise %17 AKM giderimi yapabilirken , %50 kum eklenmesi ile %75 oranında AKM giderebilmiştir. Bu sonuçlar çok amaçlı filtre sisteminin ne derece faydalı olacağını açıkça vurgulamaktadır. Filtresi olan atıksu arıtma tesislerinde varolan filtre içine eklenecek klinoptilolit ile, filtresi olmayan sistemlerde ise kum ve klinoptilolitin birlikte kullanımı ile oluşturulacak çok amaçlı sistemler, amonyum ve AKM'nin birlikte giderimi için daha az yer kullanımı sağlayacak önemli bir arıtma alternatifi olacaktır. Amaca bağlı olarak böyle bir sistem dizaynında, giriş amonyum ve AKM konsantrasyonlarına bağlı olarak pilot çalışmalar ile belirlenecek uygun filtre hızı ve temas süreleri için , amonyum ve AKM'nin birlikte yeterli verimle giderilebileceği çok amaçlı filtre sistemleri için, uygulamada çok verimli sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir.

7.2 Öneriler

- Bu tez ile çok amaçlı filtre sistemi içine farklı miktarlarda klinoptilolit konarak, belirli yerleşim şekilleri için denemeler yapılmıştır. Ancak farklı miktar ve yerleşim şekillerinin kullanıldığı başka denemelerin yapılması çok amaçlı filtre dizaynı açısından faydalı olacaktır.
- Farklı giriş AKM ve amonyum konsantrasyonları için çok amaçlı sistem çalışma koşullarının incelendiği çalışmaların yapılması faydalı olacaktır.
- Bigadiç klinoptilolitinin iyon değiştirici olarak kullanımında rejenerasyon seçeneklerinin, sağlanan verim ve maliyetler açısından karşılaştırılması, optimum işletme şartlarının belirlenmesi ve klinoptilolit kullanılabilişliğinin ortaya konması açısından önem taşımaktadır. Klinoptilolit çok amaçlı filtre sistemi içinde kum ile birlikte kullanımının sözkonusu olduğu tesis içi iyileştirme seçeneklerinde, klinoptilolit dayanımı ve maksimum ömrü belirlenmelidir. Bu nedenle farklı rejenerasyon seçeneklerinin incelenmesi önemli bir araştırma konusu olacaktır.
- Bu tez kapsamında kullanılan atıksu özelliğinde değişimler olmuştur. Özellikle amonyum ve askıda katı madde parametreleri için sözkonusu değişimler deneysel çalışmada zorluklara neden olmuş, sonuçların karşılaştırılabilirliğini güçleştirmiştir. Laboratuvar çalışmalarında orijinal atıksu kullanılsa bile konsantrasyonların dış müdahale ile sabit tutulması, konsantrasyon değişikliklerinin ise ayrıca incelenmesi çalışmaların değerlendirilmesini kolaylaştıracaktır.
- Denemeler esnasında pek çok kez ani tıkanmalarla karşılaşarak çalışma tekrarlanmak zorunda kalınmıştır. Tıkanmanın üst yüzeyde ve son çöktürme havuzlarından işletim hataları sonucu savaklanmış olan büyük partiküllerden kaynaklandığı gözle izlenebilmektedir. Bu nedenle çok amaçlı filtre sistemlerinin son çöktürme havuzu sonrasında teşkil edilmesi durumunda son

öktürme havuzu savaklarının işletimi sırasında bu konuya büyük özen gösterilmelidir. Gerektiğinde büyük partikülleri tutmak için önlemler alınmalıdır.

- Biyolojik aktivitenin çok amaçlı filtrelerde iyon değişimi ile amonyum giderimi üzerindeki etkileri daha önce yapılan çalışmalarla incelenmiştir. Ancak bu tez ile önerilen amonyum ve askıda katı madde gideriminin birlikte gerçekleştiği çok amaçlı filtre sisteminde için de biyolojik aktivitenin etkilerinin belirlenmesi konusunda çalışma yapılması faydalı olacaktır.
- Kullanılan klinoptilolit ve filtre malzemesinin, gübre olarak kullanımı, toprak ıslahı için kullanımı gibi alternatiflerin gerçekleştirilebilirliğinin belirlenmesi ve bu yolla çok amaçlı filtre içinde kullanılan malzemenin ayrı ayrı veya birlikte değerlendirilmesi konusunda araştırma çalışmaları yapılması, uygulamada çok amaçlı filtrede kullanılmış olan kum ve zeolitin ayrılması ile geri kazanımı açısından faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Adin, A., Rajagopada R.,** 1989. Breakthrough Curves in Granular Media Filtration, *Journal of Environmental Engineering*, 115, 785- 797
- Adou, A.F. Yedes, M.,** 2007. Experimental and Modeling Investigations of Wastewater Filtration, *Desalination*, 202, 182-190
- Aiban, S.A., Ishaq A.M., Al-Suwaiyan M.S.,** 2000. Utilization of Local Material in the Construction of an Embankment for Recharging Groundwater Aquifer with Treated Wastewater Effluents, *Water Science and Technology*, 7, 25-32
- Ammary, B.Y.,** 2007. Wastewater Reuse in Jordan : Present Status and Future Plans, *Desalination*, 211, 164-176
- Amirtharajah, A.,** 1978. Optimum Backwashing of Sand Filters, *Journal of Env. Eng Division* Vol:October, 917
- Amirtharajah, A.** 1985. The interface Between Filtration and Backwashing, *Wat. Res.* Vol 19-5, 581
- Akgiray, Ö., Saatçi A.M.,** 1998. An Algorithm For Bank Operation of Declining Rate Filters, *War Res.*, 7, 2095-2105
- Barrer, R.M,** 1978. Cation exchange equalibria in zeolites and feldspathoids, Natural Zeolites, Occurrence, Properties and Use ,*Pergamon Press, Oxford* , pp. 385-396
- Baysal, O., Gündoğdu, N., Temel, A., Öner, F.,** 1986. Bigadiç zeolit oluşumlarının ekonomik jeolojik incelenmesi projesi, Proje kodu: Yuvam/85-2, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi*, ANKARA
- Belir Baykal, B., Sekoulov I., Oldenburg M.** 1994. Stagewise Operation and Second Stage Removal of Ammonia , *İTÜ 4.Endüstriyel Kir.Sempozyumu*, 369
- Belir Baykal, B., Oldenburg M., Sekoulov I.,** 1994. Post Equalization of Ammonia Peaks, *Wat Res.*, Vol 28-9, 2039
- Belir Baykal, B., Akça Güven D., Yalçın Ç., Günez Ş.,** 1996. Klinoptilolit Kullanımı ile Atıksulardan Amonyak Giderimi, *SKKD Cilt 6-1*, 25

- Belér Baykal, B., Oldenburg M., Sekoulov I.,** 1996. The Use of Ion Exchange In Ammonia Removal Under Constant and Variable Loads, *J. of Environmental Technology*, Vol 17, 717
- Belér Baykal, B., Akça Güven D,** 1997. Performance of Clinoptilolite Alone and In Combination With Sand Filters for The Removal Of Ammonia Peaks From Domestic Wastewater, *Wat,Sci.Tech*, 35(7), 47-54
- Belér Baykal, B.,** 1998. Clinoptilolite and Multipurpose Filters for Upgrading Effluent Ammonia Quality Under Peak Loads, *Wat Sci. and Tech*, Vol 37-9, 235
- Berruti, F,** 1987. Measuring and Modelling Residence Time Distribution of Low Density Solids in a Fluidized Bed Reactor of Sand Filters, *Chemical Engineering Science* Vol 43-4 , 739
- Bhargava, D.S** 1989. Theoretical Analysis of Backwash Time in Rapid Sand Filters. *Wat.Res.* Vol 23-5, 581
- Boller, M.,** 1997. Small Wastewater Treatment Plants- A Challenge to Wastewater Engineers, *Water Science and Technology*, 6, 1-12
- Butturini, A.,** 2000. Nitrification in Stream Sediment Biofilms: The Role of Ammonium Concentration and DOC Quality. *Wat.Res.* Vol 34-2, 629-639
- Camp, T., R.,** 1964. Theory of Water Filtration, *J of Sanitary Eng.Division* , Vol 4, 3990
- Camp, T., R., Graber D., Conklin G.F.,** 1971. Backwashing of Granular Water Filters, *Journal of Sanitary Engineering Division* Vol 6-5, 8605
- Chen, J. Paul, Chua Meng Loong, Zhang Beiping,** 2002. Effects of Competitive Ions, Humic Acid and pH on Removal of Ammonium and Phosphorous from the Synthetic Industrial Effluent by Ion Exchange Resins, *Waste Management*, 22, 711-719
- Cleasby, John L, Arboleda J., Burns D.E, Savage E.S.** 1975. Developments in Backwashing of Granular Filters, *Journal of Env.Eng. Division*, Vol: October, 917
- Cleasby, J.L,** 1977. Backwashing of Granular Filters, *Journal of Research* , Vol : February, 115
- Crazan, E., Meszaros-Kis A., Domokos E., Papp J.** 1988. Separation of Ammonia from Wastewater Using Clinoptilolite as Ion Exchanger, *Nuc. And Chem. Waste Manag.*, 8, 107-113
- Çelenli, A., Bürküt, Y., Suner, F.,** 1994. Industrial usage of natural zeolites for removal of heavy metal ions: an example from Turkey, *Proceedings second SEGMITE International Conference on*

Export Oriented Development of Mineral Resource Sand Mineral Based Industries, Karachi, Pakistan , April 11-14.

- Çınar, S., Beler Baykal B.**, 2005. Ion Exchange with Natural Zeolites :An Alternative for Water Softening, *Water Science and Technology*, 51(11), 71-77
- DPT**, *Diğer Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Raporu*, Cilt 1, Lüleataşı Tabakalı Sepiyolit-Atabulgit (Paligorskit) , Grafit, Mika, Barit, Talk, Alunit, Zeolit, T.C Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Yayın No: DPT:2421 –ÖİK:480, Mart,1996
- Desborough, G.A.**, 1996. Clinoptilolite-rich rocks in agricultural use for soil amendment and potential nitrogen-pollition mitigation, U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, *Open-file report* 96-065, Denver. Colorado, USA.
- Du, Q., Liu S., Cao Z., Wang Y.**, 2005. Ammonia Removal from Aqueous Solution Using Natural Chinese Clinoptilolite, *Seperation and Purification Technology*, 44, 229-234
- Ellis, K.V**, 1987. Slow Sand Filtration as a Technique for the Tertiary Treatment of Municipal Sewages, *Water Research*, 4, 403-441
- EPA**, 1971. Optimization of Ammonia Removal by Ion Exchange Using Clinoptilolite,*EPA Report 17080*
- EPA**, 1975. Process Desing Manual for Nitrogen Control, Technology Transfer, October.
- Eroğlu, V.**, Su Tasfiyesi, İTÜ Matbaası, 1987
- Esenli, F.**, Zeolit, İstanbul Maden İhracatçılar Birliği Endüstriyel Mineral Envanteri, 1999
- François, R.J, Haute V.**, 1985. Backwash on Conditioning of a Deep Bed Filter *Wat.Res* Vol 19-11,1357
- Fitch, M., W**, 1999. Biological Fixed-Film Systems , *Water Env.Research*,Vol 71-5, 638
- Ghosh, M.M.,O'Connor J.T, Engelbrecht R.S**, 1967. Removal of Iron by Filtration, Removal of Iron from Ground water by Filtration, 879-895
- Göktekin, A.**, 1989. Bigadiç Tülü Ovası zeolitlerinin teknolojik özelliklerinin araştırılması projesi kesin raporu, İ.T.Ü. Yer Bilimleri ve Yer Altı Kaynakları Uygulama-Araştırma Merkezi, İstanbul.

- Gradev, G., Sekoulov I., Oldenburg M., Gulyas H.** 1993. Exchange of Ammonium on Clinoptilolite and its Application in Sewage – Wastewater Purification, Zeolite 93, *4th International Conference on the Occurance, Properties and Utilization of Natural Zeolites*, Idaho, USA
- Green, M., Mels A., Lahav O., Tarre S.,** 1999. Biological Ion-Exchange Process for Ammonium Removal From Secondary Effluent Water *Sci. and Tech.* 34, 1-2, 449-458
- Hamoda, M.F, Al Gushsain, Al Mutuari N.Z.** 2004. Sand Filtration of Wastewater for Tertiary Treatment and Water Reuse, *Desalination*, 164, 203-211
- Hasar, H., İpek U, Şekerdağ N, Çınarcı B.** 2001. Filtre Ünitelerinde Özgül Birikinti ile Yük Kayıpları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, *S.Ü.Müh-Mim Fak. Dergisi*, 1, 8-12
- Healy, M.G., Rodgers M., Mulqueen J.** 2007. Treatment of Dairy Wastewater Using Constructed Wetlands and Intermittent Sand Filters, *Bioresource Technology*, 98, 2268-2281
- Hedström, A.,** 2001. Ion Exchange of Ammonium in Zeolites, *Journal of Env.Eng.*, August, 673
- Huang, J., Y.C.** 1986. Effect of Influent Property on Filter Performance, *Journal of Env.Eng.* Vol 112-4, 701
- Inglezaki, s V.J., Lemonidou M., Grigoropoulou H.P.,** 2001. Liquid Holdup and Flow Dispersion in Zeolite Packed Beds, *Chemical Engineering Science*, 56, 5049-5057
- Iznaga, I.R, Gomez A., Agular B., Ballan J.S,** 2002. Natural Clinoptilolite as an Exchanger of Ni^{2+} and NH_4^+ Ions Under Hydrothermal Conditions and High Ammonia Concentration, *Microporous and Mesoporous Materials*, 53, 71-80
- Inan, H.,** 2001. Atıksulardan İyon Değişimi ile Amonyak / Amonyak Piklerinin Giderim Esasları ve Bigadiç Klinoptilolitinin Kullanımı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jimenez, B., Chavez A., Leyva A., Tchobanoglous** 2000. Sand and Synthetic Medium Filtration of Advanced Primary Treatment Effluent from Mexico City, *Wat. Res.*, 2, 473-480
- Jorgensen, S.E, Libor O., Graber L., Barkacs K.,** 1996. Ammonia Removal by Use of Clinoptilolite, *Wat Res.*, 10, 213-224
- Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği**, 8 Ocak 2006

- Koning, J de, Bixio D., Karabelas A., Salgot M., Schafer A.,** 2008 Characterisation and Assessment of Water Treatment Technologies for Reuse, *Desalination* , 218, 92-104
- Koon, J.H. and Kaufman,W.J** 1975. Ammonia Removal from Municipal Wastewaters by Ion Exchange ,*Journal WPCF*,47(3),448-465
- Lang, John S., Giron J.J., Hansen A., Rhodes R.** 1993. Investigating Filter Performance as a Function of the Ratio of Filter Size to Media Size, *Research and Technology*, 1, 122-130
- Lahav O., Green M.** 1997. Ammonium Removal Using Exchange and Biological Regeneration , *Wat Res*,10-7,2019-2028
- Leppert, D.,** 1990. Heavy metal sorption with clinoptilolite: Alternatives for treating contaminated soil and water, *Mining Engineering*, pp. 604-908, June.
- Li, Xiao- Ming,** 2007. Removal of Carbon and Nutrients from Low Strength Domestic Wastewater by Expanded Granular Sludge Bed-Zeolite Bed Filtration , *Process Biochemistry*, 42, 1173-1179
- McLaren, J.R., and Farquhar, G. J.,** 1973. Factor effecting ammonia removal by clinoptilolite, *Journal of Environmental Eng. Div. ASCE*, No EE4, 73, 429-446.
- Mercer, B.W., Ames, L.L., Thouhill, C.J., Vavslyke, W.J., Deau, R.B.,** 1970. Ammonium removal from secondary effluents by selective ion exchange, *Journal of Water Pollution Control Federation*, 42, 95-107.
- Metcalf and Eddy,** Wastewater Engineering, McGraw Hill, New York, 2003
- Miladinovic, N., Weatherley L.R.,** 2008. Intensification of Ammonia Removal in a Combined Ion Exchange and Nitrification Column, *Chemical Engineering Journal*, 135, 15-24
- Moore, R., Quarmby J., Stephanson T.,** 2001. The Effect of Media Size On The Performance of Biological Aerated Filters, *Wat Res.*,35-10, 2514-2522
- Mumpton, F.A.,** 1978. Natural zeolites: a New industrial mineral commodity, natural zeolites, occurrence, properties and uses, *Pergamon Press, Oxford*, pp. 3-27

- Muslu, Y.**, 1987. Shape Factor and Degree of Packing in Fluidization , *J of Env.Eng.* Vol 113, 311-327
- Muslu, Y.**, Şekerdağ N.,Solmaz B., 1987. İçme Suyu Filtrelerinde Yük Kayıplarına Granülometrinin Etkisi, *Isparta Müh.Fak Dergisi*, 3, 19-25
- Ojha, C.S.P., Graham N.J.D.**, 1992. Appropriate Use of Deep Bed Filtration, *Journal of Environmental Engineering*, 6, 965-979
- Petala, M., Tsidiris V.,Zouboulis A., Sakellaropoulos G.P** 2006. Wastewater Reclamation by Advanced Treatment of Secondary Effluents, *Desalination* , 195, 109-118
- Rozic, M., Stefanovic Cerjan, Kurajica S, Vancia V,Hodzic E** 2000. Ammoniacal Nitrogen Removal from Water By Treatment With Calys and Zeolites,*Wat.Res*,34-14, 3675-3681
- Semmens, M.J.** 1984. Cation-exchange properties of natural zeolites, in zeo-agriculture use of natural zeolites in agriculture and aquaculture, pp.623-271, Eds.Pon, W.G and Mumpton , F.A..
- Sirkecioğlu, A., Erdem Şenatalar, A.**, 1990. *Minerological and chemical properties of Bigadic Clinoptilolite*, *Int. Earth Sciences congress on Aegean Regions*,IESCA, Proceeding Vol I, pp.291-301, Eds. Savaşçın,M.Y., Eronat, A.H.
- Sirkecioğlu, A.**, 1993. Bigadiç klinoptilolit rezervinin NH₄⁺ değişimi ve CO₂ adsorpsiyonu yardımıyla karekterizasyonu, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Standard Methods for Examination of Water and Wastewater** 19th Edition, APHA/AWWA/WEF, Washington ,ABD, 1995
- Stevenson, D.G.**, 1997 Flow and Filtration Through Granular Media The Effect of Grain Size Dispersion, *Water Research*, 31, 310-322
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği**, 31. Aralık 1994
- Şenatalar, E. A.**, Sirkecioğlu, A., Güray, I., Esenli, F. Ve Kumbasar, I., 1992. “Characterization of the clinoptilolite-rich tuffs of Bigadiç: Variation of the ion-exchange capacity with pretreatments and zeolite content”, *Proceedings from The Ninth Int. Zeolite Conference*, Volume II, Montreal.
- Tebbutt, T.H.Y.**, 1971. An Investigation Into Tertiary Treatment By Rapid Filtration, *Water Research*, 5, 81-92
- Tiehm, A., Hervig V., Neis U.**, 1999. Particle Size Analysis for Improved Sedimentation and Filtration in Wastewater Treatment, *Water Science and Technology*, 8, 99-106

- Turan, M. ve Çelik M.S** 2003. Regenerability of Turkish clinoptilolite for use in ammonia removal from drinking water, *J.Water SRT-Aqua*, 52(1), 59-66
- Yao Kuan-Mu, Mohammed T.H., Charles R.O.** 1971. Water and Wastewater Filtration, Concepts and Applications, *Env.Science and Tech.*, Vol 5-11, 1105
- Yücel, H.,** 1987. Zeolitler ve uygulama alanları , *III. Ulusal Kil Sempozyumu*, 21-27 Eylül, Bildiriler, 391-402
- Weber, W.J** 1972. Physicochemical Processes for Water Quality Control, Wiley-Interscience U.S.A
- Williams G. J.,** 2007. The Impact of Increased Loading Rate on Granular Media Rapid Depth Filtration of Wastewater, *Water Research*, 41, 4535-4545
- Watten B.J., English M.J.,** 1985. Effects of Organic Matter in Aquacultural Waste on the Ammonium Exchange Capacity of Clinoptilolite, *Aquaculture*, 46, 221-235

EKLER

EK A

A.B Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerine İlişkin Direktifi (91/271/EEC) ve 8 Ocak 2006 tarihli 26047 sayılı resmi gazetede yayınlanan “Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği’ne göre Hassas Bölge Tanımları

Avrupa Birliği, 1991 yılında yürürlüğe koyduğu Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerine İlişkin Direktif (91/271/EEC) ile, tüm üye ülkelerin kentsel atıksularını nasıl yönetmesi gerektiğini açıkça tanımlamıştır. Direktif, kentsel yerleşimlerden ve tarıma dayalı endüstrilerden kaynaklanan atıksuların çevreye olumsuz etkilerini önlemeyi amaçlamaktadır. Direktifin en önemli yanlarından biri “hassas bölge” kavramının ve bu bölgelere uygulanacak atıksu deşarj standartlarının tanımlanmış olmasıdır. Buna göre “hassas bölgeler”; “Ötrofikasyona maruz kalmış veya koruyucu önlem alınmadığı takdirde yakın gelecekte maruz kalma tehlikesine sahip doğal göller, diğer tatlısu kaynakları, haliçler ve kıyı bölgeleri” veya “gerekli önlem alınamazsa 50 mg/l’den daha fazla nitrat içeren yüzeysel tatlı su kaynakları” veya diğer AB direktiflerine uyulması için ileri derecede iyileştirme gerektiren bölgeler” olarak tanımlanmaktadır.

Direktif’e göre her üye ülke 31 Aralık 1993 tarihine kadar kendi hassas bölgelerini belirlemek zorundadır. Öte yandan eğer herhangi bir üye ülke kendi topraklarında hassas bölgeler için tanımlanmış deşarj standartlarından daha sıkı standartlar uyguluyorsa, o ülkenin hassas bölgelerini belirlemesi zorunlu değildir. Ancak bu durum pratikte o ülkenin tamamen hassas bölge sayılması anlamına gelmektedir. Danimarka, Lüksemburg, Hollanda, Finlandiya ve İsveç tüm topraklarını hassas bölge ilan etmişlerdir. Diğer üye ülkeler ise kendi topraklarında hassas bölge tanımlaması içine girecek alanlarını tanımlamış durumdadırlar.

Hassas ve yarı hassas bölgelerin durumları her dört yılda bir gözden geçirilmelidir. Direktife göre;

- Tüm kentsel atıksu ve direktifte değinilen sektörlere ait endüstriyel atıksu deşarjları için yönetmelikler hazırlanacak ve/veya ilgili spesifik otoriteler kurulacaktır.
- Eşdeğer nüfusu 2000’den fazla olan tüm yerleşimler için kentsel atıksu toplama sistemleri (kanalizasyon) ve arıtma tesisleri kurulacaktır. Organik kirlenmenin ölçülmesinde kişi başına birim yükler kullanılacaktır. Arıtma tesisleri için genel kural biyolojik arıtma anlamına gelen ikincil arıtma sistemlerinin kurulmasıdır. **Üye ülkeler tarafından belirlenen “hassas bölgeler”deki atıksular için üçüncül arıtma, yani daha ileri arıtma teknikleri kullanılacaktır.**
- “Yarı hassas” olarak tanımlanan bölgelerde ise daha düşük arıtma önlemleri alınabilir.
- 4000 nüfus eşdeğerinden daha fazla kirleticiye (organik madde) sahip endüstriyel atıksular, belirlenen tarihe kadar arıtma tesislerini istenen seviyede kuracaktır.
- Belirlenen tarihe kadar, arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurların uygun biçimde uzaklaştırılması için gerekli kurallar veya otoriteler oluşturulacak ve bu tarihten itibaren herhangi bir yere gelişigüzel atılamayacaktır.
- Atıksu deşarjlarının ve etkilerinin izlenmesi ve denetlenmesi sağlanacaktır.
- Her iki yılda bir durum raporları hazırlanacak ve uygulama programları oluşturulacaktır.

Direktif, hassas, yarı hassas ve normal bölgelerde nüfuslara bağlı olarak tamamlanması gereken altyapı uygulamaları için zaman kısıtlamaları da getirmiştir. Türkiye’de ise 91/271/EEC esas alınarak, 8 Ocak 2006 tarihli 26047 sayılı resmi gazetede yayınlanan “Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği” çıkarılmıştır. Yönetmelik, kentsel atıksuların toplanması, arıtılması ve deşarjı ile belirli endüstriyel sektörlerden kaynaklanan atıksu deşarjının olumsuz etkilerine karşı çevreyi korumayı amaçlamaktadır.

Hassas bölgelere deşarj sözkonusu olduğunda, amonyak ve AKM giderimi özellikle büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle yönetmeliğin hassas bölgelerle ilgili maddelerini ve bu bölgelere deşarj standartlarını incelemek faydalı olacaktır. Kentsel

Atıksu Arıtımı Yönetmeliği madde 8 , madde 11, Tablo1 ve Tablo 2, hassas alan tanımları ve hassas alanlara deşarjlarla ilgili esasları içerdüğinden aşağıda verilmiştir;

Kentsel atıksular için arıtma gereksinimleri

Madde 8 — Kentsel atıksular için arıtma gereksinimleri aşağıda belirtilmiştir.

a) Kanalizasyon sistemine bağlanan kentsel atıksuyun; genel hükümlerde yer alan nüfus ve alıcı ortam sınıflamaları dikkate alınarak, hassas ve az hassas su alanları dışındaki alanlar için ikincil arıtma veya eşdeğer bir arıtmaya tabi tutulması esastır. Arıtma tesisleri;

1) Arıtılacak atıksuyun özelliklerine ve alıcı ortama deşarj kriterlerine göre tasarlanır ya da yeniden düzenlenir.

2) EK IV’de yer alan Tablo 1’deki alıcı ortama deşarj kriterlerini sağlayacak şekilde tasarlanır.

3) Ötrofikasyona maruz hassas alanlara yapılan boşaltımlarda, ilave olarak EK IV’de yer alan Tablo 2’de gösterilen şartlara da tabi olarak yapılır.

4) Alıcı ortamın kullanım planlarına göre bu ve diğer ilgili yönetmeliklerin hükümleri ile uyumlu olabilmesi için Bakanlıkça gerekli görülen yerler Tablo 1 ve/veya Tablo 2’de gösterilenlerden daha kısıtlayıcı olan şartlara tabi tutulabilir.

b) Kentsel atıksu deşarj noktaları, alıcı ortam üzerindeki etkilerini minimum seviyeye indirecek şekilde uygun olan en uzak noktada seçilir.

c) Düşük sıcaklık nedeniyle etkili bir biyolojik arıtmanın uygulanmasının güç olduğu deniz seviyesinden 1500 metre ya da daha yüksek olan dağlık bölgelerde kentsel atıksu deşarjı, bu gibi deşarjların çevreyi olumsuz yönde etkilemediğine ilişkin atıksu karakterizasyonu ve alıcı ortamın taşıma kapasiteleri ile alıcı ortamın kullanım planları da göz önüne alınarak ayrıntılı bilimsel araştırmalar yapılması şartıyla, yukarıda öngörülenlerden daha esnek bir arıtmaya tabi tutmak üzere mahallin en büyük mülki amirinin uygun görüşü alınır.

d) Kentsel atıksu arıtım sistemlerinin alıcı ortama deşarj izni, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nin 37 nci maddesinde yer alan hükümlere tabidir.

Hassas su alanları

Madde 11 — Hassas su alanlarında uyulması gereken şartlar aşağıda belirtilmiştir.

a) Mahallin en büyük mülki amiri, 10000 E.N.'dan fazla toplama alanlarından hassas alanlara yapılacak tüm deşarjların Tablo 2'de belirtilen şartlara uyması için gerekli tedbirleri alır.

b) Bir hassas su alanı içinde yer alan tüm kentsel atıksu arıtma tesisleri toplamında kirlilik yükünün, ilgili idarelerce, toplam fosforda minimum %75 ve toplam azotta minimum %75 arıtma veriminin gösterilmesi durumunda alternatifli olarak, münferit arıtma tesisi için bu Yönetmeliğin 11 inci maddesinin (a) bendinde belirtilen şartlar uygulanmaz.

c) Bir hassas su alanına kentsel atıksu arıtma tesislerinden yapılacak deşarjların, bu alanın kirliliğine katkısı olması durumunda söz konusu arıtma tesisleri için bu Yönetmeliğin 11 inci maddesinin (a) ve (b) bentlerindeki hükümler uygulanır. Bir hassas su alanının tamamı veya bir kısmı bir başka idarenin yetki sınırlarının içinde yer alması ve kentsel atıksu deşarjından etkilenmesi durumunda suları etkilenen idare, diğer idare ve Bakanlığı bilgilendirir. Her iki idare de etkilenen alanı korumak için bu Yönetmelik hükümlerine göre gerekli önlemlerin kaynağında alınmasını sağlayacak koordinasyonu yaparlar.

d) Bakanlık, dört yılda bir hassas su alanlarının gözden geçirilmesini sağlar.

e) Mahallin en büyük mülki amiri, (d) bendi gereğince yeni belirlenecek hassas su alanlarında, bu alanların tespiti ve belirlenmesinden itibaren yukarıdaki şartlara yedi yıl içinde uyulması için gerekli tedbirleri alır.

Hassas ve az hassas su alanlarının belirlenmesinde esaslar:

A) Hassas su alanları

Su alanları aşağıdaki gruplardan birine girmesi halinde hassas su alanı olarak belirlenir:

a) Ötrofik olduğu belirlenen ya da eğer gerekli önlemler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelecek doğal tatlı su gölleri, diğer tatlı su kaynakları, haliçler ve kıyı suları. Bu gibi alanlarda aşağıdaki hususlar dikkate alınarak, hangi besin maddesinin ileri arıtmayla azaltılacağı değerlendirilir;

1) Su değişiminin az olduğu, bu nedenle birikimin meydana gelebileceği göller ve aynı özellikleri taşıyan göllere ulaşan akarsularda; arıtımın ötrofikasyonun önlenmesi üzerinde herhangi bir etkisi varsa, fosfor giderimi arıtmaya eklenmelidir.

Büyük toplama alanlarından deşarjların yapıldığı yerlerde ayrıca azot giderimi de sözkonusu olabilir.

2) Su değişiminin az olduğu veya yüksek miktarda besi maddesi girdisi olan haliçler, koylar ya da diğer kıyı sularında; arıtımın ötrofikasyonun önlenmesi üzerinde herhangi bir etkisi varsa, büyük yerleşim yerlerinden bu alanlara yapılacak deşarjlarda fosfor ve/veya azot giderimi arıtmaya eklenmelidir.

b) Önlem alınmaması halinde, 20/11/2005 tarihli ve 25999 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine İlişkin Yönetmelik’in ilgili hükümlerinde belirlenen düzeylerden daha yüksek nitrat konsantrasyonları içerebilecek içme suyu temini amaçlanan yüzeysel su kaynakları,

c) Diğer yönetmelik hükümlerine göre bu Yönetmeliğin 8 inci maddesinde belirtilenden daha ileri arıtma gerektiren alanlar.

EK B Hedef Bazında Sonuçlar

Sürekli deneyler kapsamında ulaşılması gereken ana hedef;

İyon değişimi prosesi ile amonyum gideriminde kullanılan klinoptilolit ile filtrasyon prosesi ile AKM gideriminde kullanılan kumun, çok amaçlı bir filtre sistemi içinde birlikte kullanılarak, amonyum ve AKM gideriminin aynı sistem içinde gerçekleştirilebileceği en uygun koşulların araştırılmasıdır.

Bu hedefe ulaşabilmek için araştırılması gereken unsurları özetleyecek olursak;

1) Klinoptilolit in daha önceki çalışmalarla amonyum giderim kapasitesi belirlenmiştir. Burada belirlenmesi hedeflenen AKM gideriminde ne gibi bir rol üstlendiğidir.

a) Klinoptilolit in AKM gideriminde ne derece etken olduğu araştırılmalıdır.

b)Çok amaçlı filtre sistemi içinde klinoptilolit kullanımının filtrasyon verimi üzerindeki etkisi araştırılmalıdır.

2) Kum filtrelerin AKM giderim kapasitesi daha önce yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Bu çalışma ile açıklığa kavuşturulması hedeflenen, kumun amonyum giderimindeki etkisidir.

a)Amonyum gideriminde kumun ne derece etken olduğu araştırılmalıdır.

b)Çok amaçlı filtre sistemi içinde kumun, zeolit üzerinde gerçekleşen iyon değişimi verimi üzerindeki etkisi araştırılmalıdır.

3)Amonyum giderimini ve AKM giderimini aynı anda, hedeflediğimiz verimle gerçekleştirebilmek için uygun çok amaçlı filtre sistemi çalışma koşulları tespit edilmelidir.

a)Amonyum ve AKM'nin her ikisi için birlikte, en yüksek verimin alınabileceği optimum koşullar belirlenmelidir.

b)Sistemin devamlılığının sağlanabilmesi için uygun geri yıkama ve rejenerasyon süreleri belirlenmelidir.

Bu unsurlara bağlı olarak belirlenen alt hedefler şunlardır;

- 1-Kumun iyon değişimi prosesinde etkinliği belirlenmelidir.
- 2-Zeolitın filtrasyon prosesinde etkinliği belirlenmelidir.
- 3-Kumun , zeolitın iyon değişim kapasitesi üzerindeki etkisi belirlenmelidir.
- 4- Zeolitın kumun filtrasyon kapasitesi üzerindeki etkisi belirlenmelidir.
- 5- Tüm bu belirlemeler yapılırken ortam koşullarının her iki mekanizma üzerindeki etkileri belirlenmelidir .

Alt hedeflere ulaşılabilmesi için şu deney adımları planlanmıştır;

- 1- Dane boyutu ve buna bağlı olarak porozitenin sistem üzerindeki etkileri incelenerek,çalışmalarda kullanılması uygun olan dane boyutu belirlenmelidir.
- 2- Kum ve zeolitın tek tek amonyum ve AKM giderim kapasiteleri belirlenmelidir.
- 3- Kum ve zeolitın birlikte amonyum ve AKM giderim kapasiteleri belirlenmelidir.
- 4-Temas süresi ve yüzey yükünün sistem üzerindeki etkileri belirlenmelidir.
- 5- Kum ve zeolitın çok amaçlı filtre sistemi içindeki miktar ve yerleşim şeklinin sistem verimi üzerindeki etkisi belirlenmelidir.
- 6-Giriş atıksu konsantrasyonunun sistem üzerindeki etkileri belirlenmelidir.
- 7-Yük kaybı artışı izlenerek sistem üzerindeki etkileri belirlenmelidir.
- 8- Geri yıkama zamanı ve klinoptilolit için rejenerasyon süresi ilişkisi tespit edilmelidir.

Bu kısımda, deneysel çalışma sonuçları hedefler bazında karşılaştırılmaktadır.

1.Dane Boyutu ve Porozitenin Etkisi

Her iki malzeme için de farklı dane boyutları sečilerek, filtrasyon ve iyon değişimi proseslerinin her ikisi için de dane boyutunun ve buna bağlı olarak porozitenin etkisi belirlenmelidir. Bu nedenle hem zeolit, hem de kum için farklı dane boyutu denemeleri yapılmıştır. Porozite, bir malzemenin boşluk hacminin toplam hacmine

oranı olduğundan yerleştirme şekli ve malzeme şekli ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle her malzeme için farklı dane boyutlarında farklı poroziteler söz konusu olacak, bu poroziteler yerleştirme şekline bağlı olarak da değişecektir. Bu çalışma kapsamında yapılan denemelerde hep aynı yerleştirme şekli kullanıldığından aynı malzemeye ait farklı dane boyutları için, her yerleştirme için ayrı porozite hesaplanmayacak, her boyut için temsili değer verilecektir. Bu temsili değer yapılan ölçümler sonucu bulunan yaklaşık değerdir.

A) Zeolit için,

Kullanılan zeolit boyutları;

0,5-1 mm (Porozite:0,45)

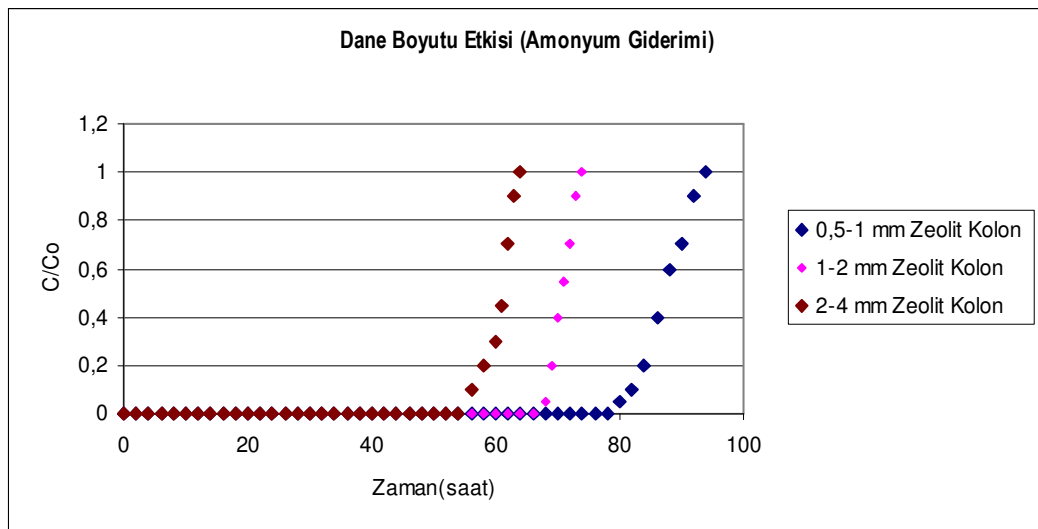
1-2 mm (Porozite: 0,51)

2-4 mm (Porozite: 0,64)

Kolon Çapı:5 cm, Filtre hızı:0,3 m³/m² saat, Yatak yüksekliği :50 cm

Şekil 1’de her biri farklı boyutta zeolit ile tamamen doldurulmuş olan üç kolon karşılaştırılmıştır.

A1) Dane Boyutu - Amonyum Giderimi İlişkisi



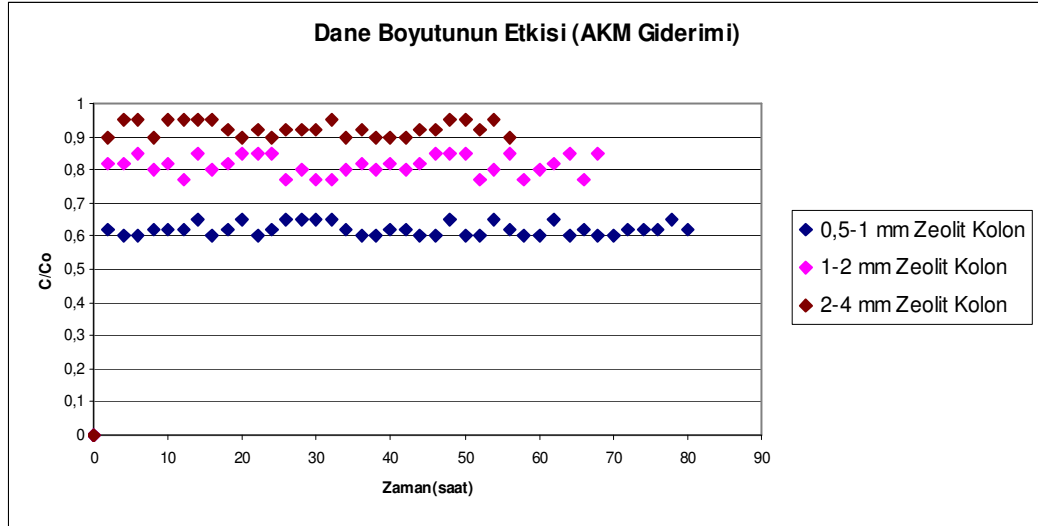
Şekil 1 Dane Boyutunun Amonyum Giderim Verimi üzerindeki Etkisi

Zeolitin dane boyutunun iyon değişimi ve filtrasyon prosesleri üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için çok amaçlı filtre malzemesinin tümü zeolit olarak seçilmiş ve bu durumda farklı dane çaplarının her iki proses üzerindeki etkileri izlenmiştir. Bu amaçla daha önceki çalışmalarda iyon değişiminde kapasitesi belirlenmiş olan üç zeolit çapı seçilmiş ve amonyum giderim kapasiteleri izlenmiştir. Çalışmada 0,5-1 mm, 1-2 mm ve 2-4 mm olarak üç farklı dane çapı incelenmiştir. Bu farklı dane çaplarına ilişkin poroziteler de yukarıda verilmektedir.

Şekil 1’de görüldüğü gibi tüm zeolit çapları için %100 Amonyum giderim verimi elde edilmiş, ancak en uzun sıfırdan farklılaşma noktası, daha önceki çalışmalarla uyumlu şekilde 0,5-1 mm’lik çap aralığı için elde edilmiştir (Mercer vd. 1970, Hlavay 1982, Baykal ve Güven 1997). Bu durum 0,5-1 mm’lik zeolitin düşük porozitesi ve yüksek yüzey alanı nedeniyle oluşmaktadır. En düşük sıfırdan farklılaşma noktası ise en yüksek poroziteye sahip olan 2-4 mm’lik çap aralığı için elde edilmiştir.

A2) Dane Boyutu- AKM Giderimi İlişkisi

Şekil 2’de dane boyutunun zeolit kolon AKM giderim verimi üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 2 Dane Boyutunun AKM Giderim Verimi üzerindeki Etkisi

Zeolitin çok amaçlı filtre sistemi içinde tamamen kullanılarak , bir filtre malzemesi olarak düşünüldüğü durum, zeolitin AKM giderimi açısından fonksiyonunu izleyebilmek açısından gerçekten önemli bir tecrübe olmuştur. Filtrasyon açısından

bakıldığında da en yüksek AKM giderimi, %40 mertebesinde ve 0,5-1 mm lik en düşük çap için elde edilmiştir. Bu durum 0,5-1 mm'lik zeolit dane boyutunun diğer boyutlara göre daha düşük poroziteye sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak filtrasyon ile AKM giderimi için %40 verim iyi bir sonuç değildir. Yüksek poroziteye sahip olan 2-4 mm'lik çap için ise ancak %0,5 oranında, dikkate alınamayacak kadar az AKM giderim verimi elde edilmiştir.

Bu adımda zeolitin dane boyutunun etkisi hem iyon değişimi için, hem de filtrasyon açısından incelenmiştir. 2-4 mm çap aralığının yüksek porozitesi nedeniyle yapılacak çalışmalarda her iki proses açısından da uygun olmadığına karar verilerek , bundan sonraki adımlar için 2-4 malzeme boyutu inceleme dışına alınmıştır. 0,5-1 mm dane boyutu için iyon değişiminde beklenen şekilde çok yüksek verim sağlanmış, filtrasyon için ise yaklaşık %40 giderim verimi elde edilmiştir. Bu verim filtrasyon ile AKM giderimi açısından istenen düzeyde bir sonuç olmasa da zeolitin de AKM giderimi açısından kısmi katkısının olabileceğini göstermektedir. Ancak bu boyut aralığının düşük porozitesi nedeniyle tıkanma sorunlarına yol açması ve bu aşamada filtre hızının oldukça düşük olması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu durumda yerleşim yeri, yerleşim şekli, geri yıkama ve rejenerasyon alternatifleri gibi çeşitli konular incelendikten sonra sistem için uygun boyut konusunda karar verilmesinin daha doğru olacağı düşünülmektedir.

B) Kum için,

Kullanılan kum boyutları;

0,5-1 mm (Porozite:0,36)

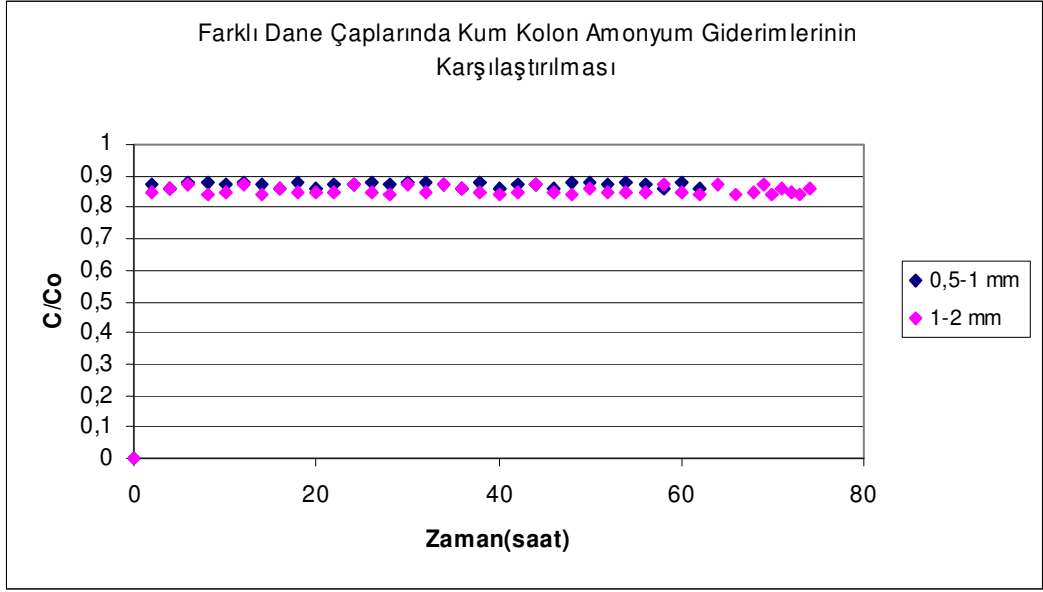
1-2 mm (Porozite: 0,42)

Kolon Çapı:5 cm, Filtre hızı:0,3 m³/m² saat, Yatak yüksekliği :50 cm

Her biri farklı boyutta kum ile 50 cm yüksekliğinde doldurulmuş olan iki kolon karşılaştırılmıştır.

B1)Dane Boyutu- Amonyum Giderimi İlişkisi

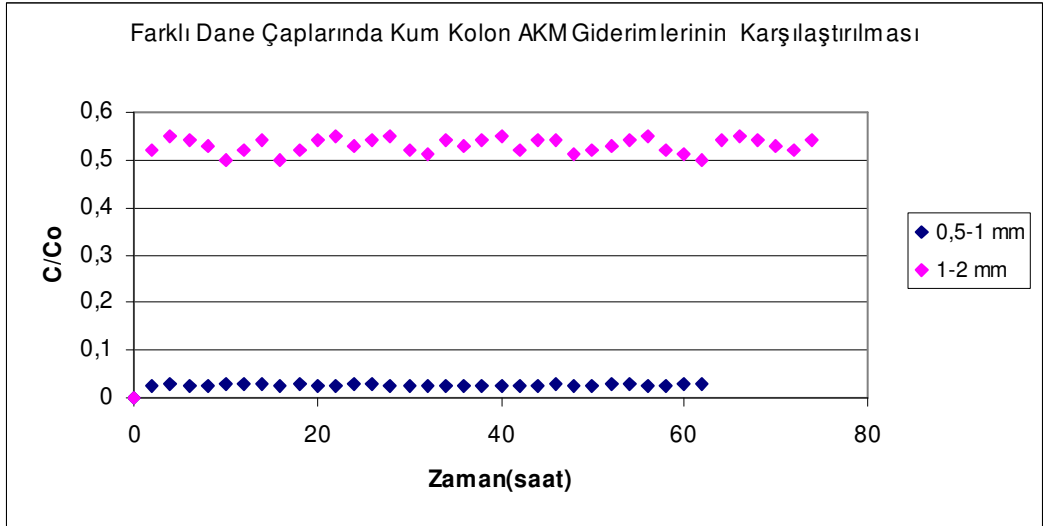
Şekil 4'de kum dane boyutunun amonyum giderimi üzerindeki etkisi gösterilmektedir.



Şekil 3 Kum Dane Boyutunun Amonyum Giderimi Üzerindeki Etkisi

B2) Dane Boyutu- AKM Giderimi İlişkisi

Şekil 4'de kum dane boyutunun AKM giderimi üzerindeki etkisi gösterilmektedir.



Şekil 4 Kum Dane Boyutunun AKM Giderimi Üzerindeki Etkisi

Farklı boyuttaki kum kolonlar Amonyum giderimi açısından incelendiğinde , kumun Amonyum gideriminde başarılı olmadığı görülmektedir. Hem 0,5-1 mm dane çapı için, hem de 1-2 mm dane çapı için yaklaşık olarak aynı mertebede ,%10 civarında Amonyum giderimi sağlanabildiği tespit edilmiştir. Her iki çap için benzer sonuç alınması , dane çapının bu durumda etken olmadığını da göstermektedir.

AKM giderimi açısından farklı boyuttaki kum kolonlar incelendiğinde 0,5-1 mm için %97'lik AKM giderimi sağlandığı, buna karşın 1-2 mm'lik dane boyutu için AKM giderim veriminin %50'ler civarında kaldığı görülmektedir. Bu durum boyut küçüldükçe porozitenin düşmesiyle birlikte tutulan madde miktarının artmasında kaynaklanmaktadır. Ancak boyut küçüldükçe tıkanma çabuklaşmakta, ani yük kaybı artış noktası kısalmaktadır.

2. Kum ve Zeolitin Tek Tek AKM ve Amonyum Giderim Kapasiteleri

Bu belirleme hem 0,5-1 mm çap aralığı, hem de 1-2 mm çap aralığı için inceleme yapılmıştır.

Kolon Çapı:5 cm, Filtre hızı:0,3 m³/m² saat, Yatak yüksekliği :50 cm

A) 0,5-1 mm Dane Çapı İçin,

Kullanılan malzeme dane boyutları:

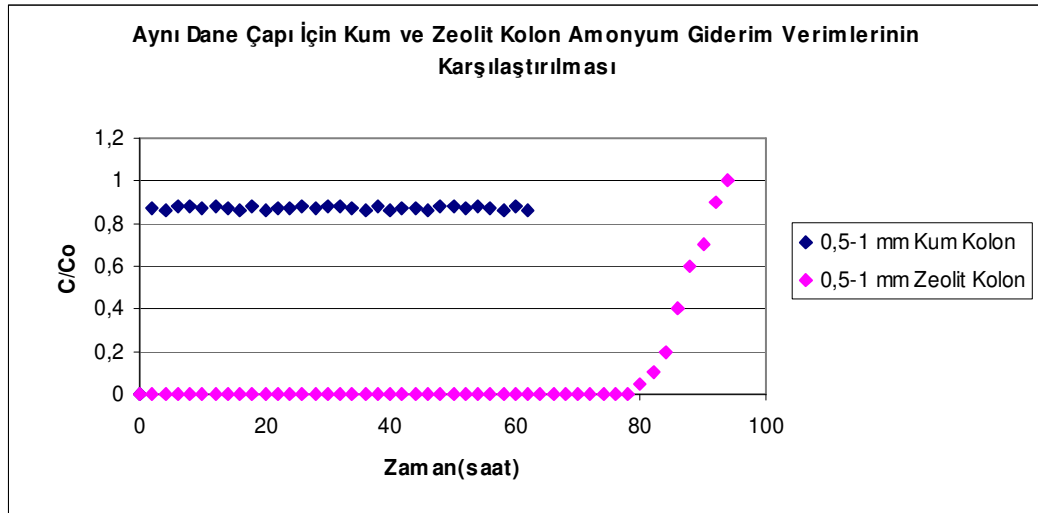
0,5-1 mm kum (Porozite:0,36)

0,5-1 mm zeolit (Porozite:0,45)

Her ikisi de aynı boyutta olmak üzere biri kum, diğeri zeolit ile 50 cm yüksekliğinde doldurulmuş olan iki kolon karşılaştırılmıştır.

A1) Amonyum Giderimi

Şekil 5'de 0,5-1 mm çap aralığı için kum ve zeolitin amonyum giderim verimleri gösterilmektedir.



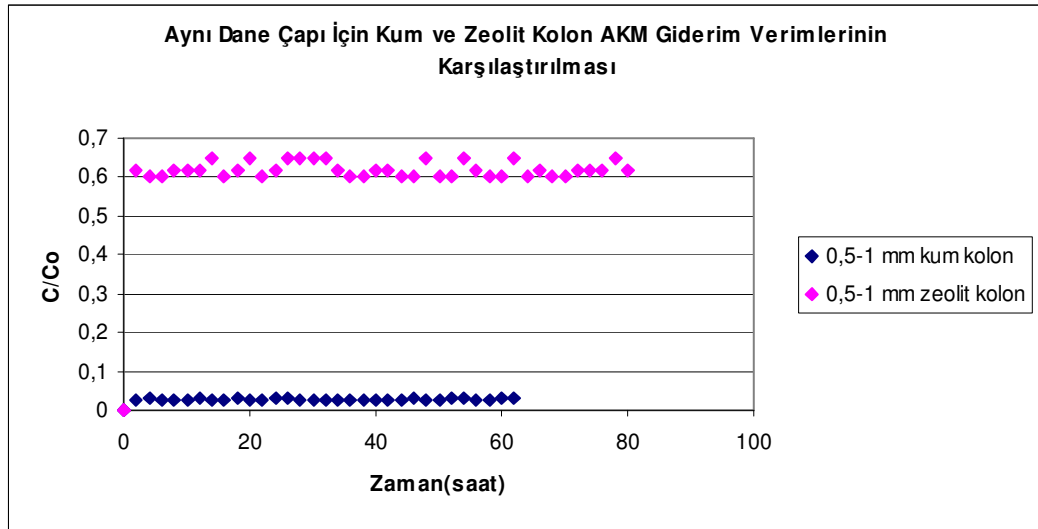
Şekil 5 0,5-1 mm çap aralığı için Kum ve Zeolitin Amonyum Giderimi

Kum ve zeolitin aynı dane boyutunda Amonyum giderim kapasitelerinin incelenmesi, her iki malzemeyi de kullanmayı düşündüğümüz çok maçlı filtre sistemi içindeki davranışları ile ilgili ön bilgi sağlamamıza yardımcı olmuştur. Yapılan inceleme sonucunda 0,5-1 mm dane çapı için şekilde de görüldüğü gibi zeolit kullanıldığında 80 saate yakın bir süre %100 Amonyum giderimi sağlanabilmektedir. Kum kolonda ise yaklaşık 60 saatte tıkanma oluşmuş ve ancak %15 mertebesinde Amonyum giderimi sağlanabilmektedir.

Bu durum zeolitin Amonyum gideriminde ne derece etkin bir iyon değiştirme kapasitesi olduğunu göstermektedir. Kum üzerinde oluşan %15'lik giderimin ise sadece fiziksel yolla, tutunma ile oluştuğu düşünülmektedir.

A2) AKM Giderimi

Şekil 6'da 0,5-1 mm çap aralığı için Kum ve Zeolitin AKM Giderim Verimleri gösterilmektedir.



Şekil 6 0,5-1 mm çap aralığı için Kum ve Zeolitin AKM Giderimi

Kum ve zeolitin aynı çap incelemesinde AKM giderimlerine bakılacak olunursa kumun 62 saatte tıkanıldığı, buna karşın %97 civarında AKM giderimi sağladığı görülmektedir. Zeolit kolonda ise 80 saate kadar hiçbir tıkanma belirtisi oluşmamış, ancak amonyum için sıfırdan ani farklılaşma noktası oluştuğundan çalışma burada durdurulmuştur. Bu zaman zarfında zeolitin AKM giderim kapasitesinin ise yaklaşık olarak %40'lar civarında sabit kaldığı izlenmektedir. Burada zeolit, porozitesiyle orantılı olarak AKM giderimine katkı sağlamaktadır.

B) 1-2 mm Dane Çapı İçin

Kullanılan malzeme dane boyutları:

1-2 mm kum (Porozite: 0,42)

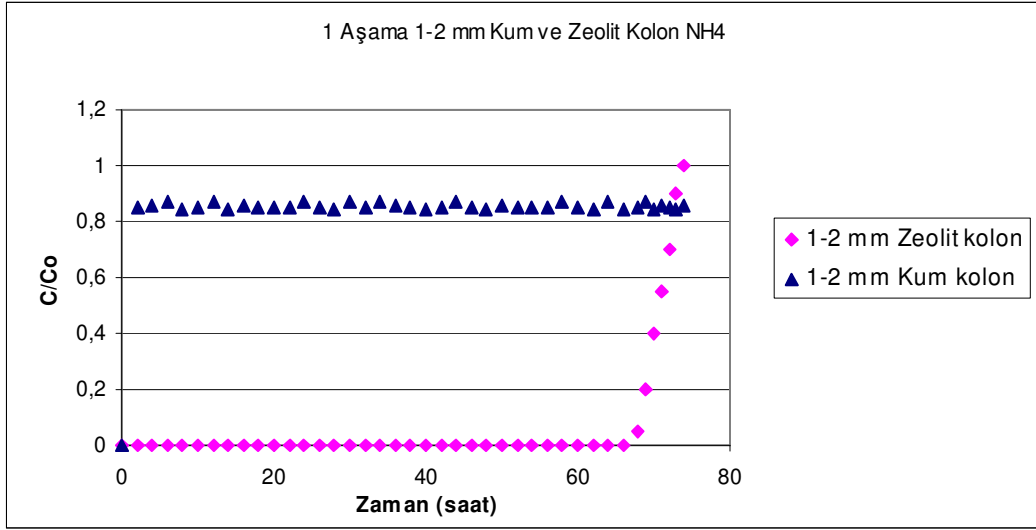
1-2 mm zeolit (Porozite: 0,51)

Her ikisi de aynı boyutta olmak üzere biri kum, diğeri zeolit ile 50 cm yüksekliğinde doldurulmuş olan iki kolon karşılaştırılmıştır.

B1) Amonyum Giderimi

Şekil 7 incelendiğinde 1-2 mm çap için de 0,5-1 mm çap için elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Kum kolon için amonyum giderimi %18 civarında gerçekleşirken zeolit kolonda ise yine %100 amonyum giderim

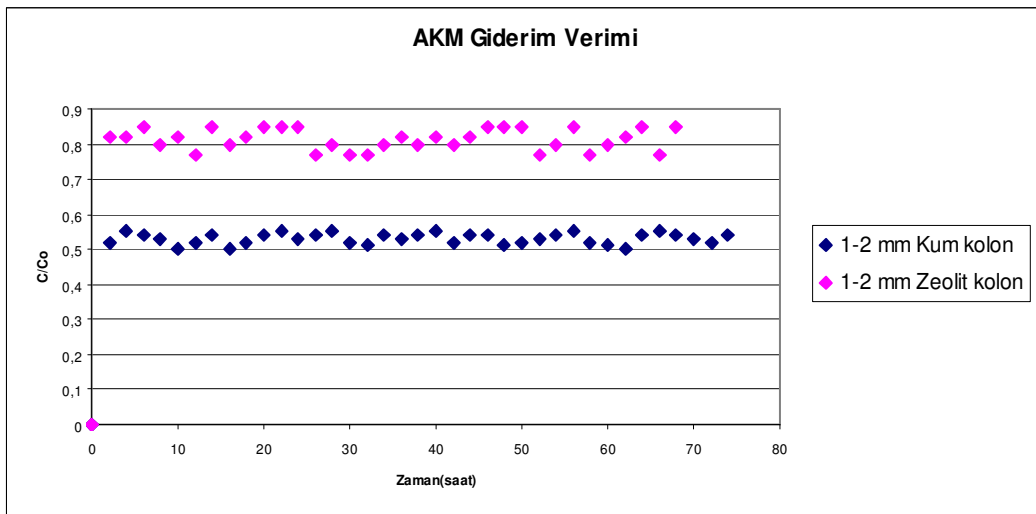
veriminin sağlandığı , ancak daha büyük çap kullanıldığından sıfırdan ani farklılaşma noktası azalarak 68 saate düşmüştür.



Şekil 7 1-2 mm çap aralığı için Kum ve Zeolitin Amonyum Giderimi

B2) AKM Giderimi

Şekil 8 incelendiğinde 1-2 mm çapında kumun AKM gideriminin %20 civarında olduğu, buna karşın kum kolonda %50 giderim sağlandığı görülmektedir. Çapın artmasıyla birlikte işletim süreleri de uzamıştır. Ancak yukarıda da bahsedildiği gibi 0,5-1 mm çapında kum ve zeolit kolonlar için deneyin tekrarlanması 0,5-1 mm/ 1-2 mm kum ve zeolit AKM gideriminin daha net karşılaştırılmasını sağlayacaktır.



Şekil 8 1-2 mm çap aralığı için Kum ve Zeolitin AKM Giderim Verimleri

3. Kum ve Zeolitin Birlikte Kullanıldığı Çok Amaçlı Filtre Sistemi İçin AKM ve Amonyum Giderim Kapasiteleri

Debi: 11.78 ml/dak

Filtrasyon hızı : 1 m³/m² saat

Porozite:0,36 (Kum için) 0,45 (Zeolit için)

Giriş Amonyum Kons:20 mg/l

Giriş AKM: 68mg/l

Bu aşamada zeolitin üstte kullanıldığı çok amaçlı filtre sistemi , sadece zeolit kolon ve sadece kum kullanılan kolonlarla karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmada kullanılan kolonlar:

1-Zeolit Kolon:

Kolon yüksekliği 1 m, Kolon çapı 3 cm, Yatak yüksekliği 50 cm, Tc=30 dak

2-Kum Kolon:

Kolon yüksekliği 1 m, Kolon çapı 3 cm, Yatak yüksekliği 50 cm, Th=30 dak

3-Kum+Zeolit Kolon:

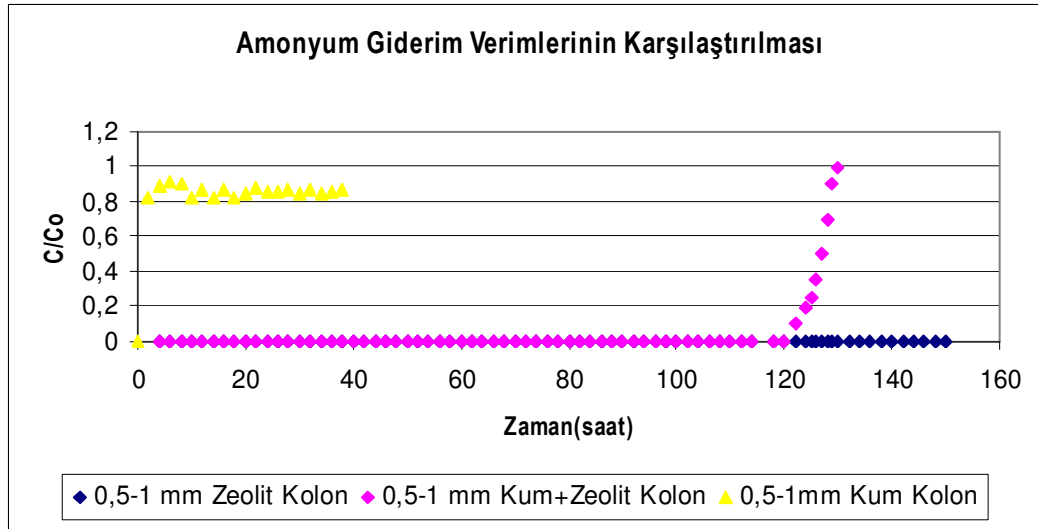
Kolon yüksekliği 1 m, Kolon çapı 3 cm,

Yatak yüksekliği 50 cm,

Th=30 dak (Tüm kolon) Tc=15 dak (Zeolit kısım)

A)Amonyum Giderimi

Şekil 9'da tek malzemeli ve çok malzemeli kolon sistemleri amonyum giderim verimleri karşılaştırılmıştır.



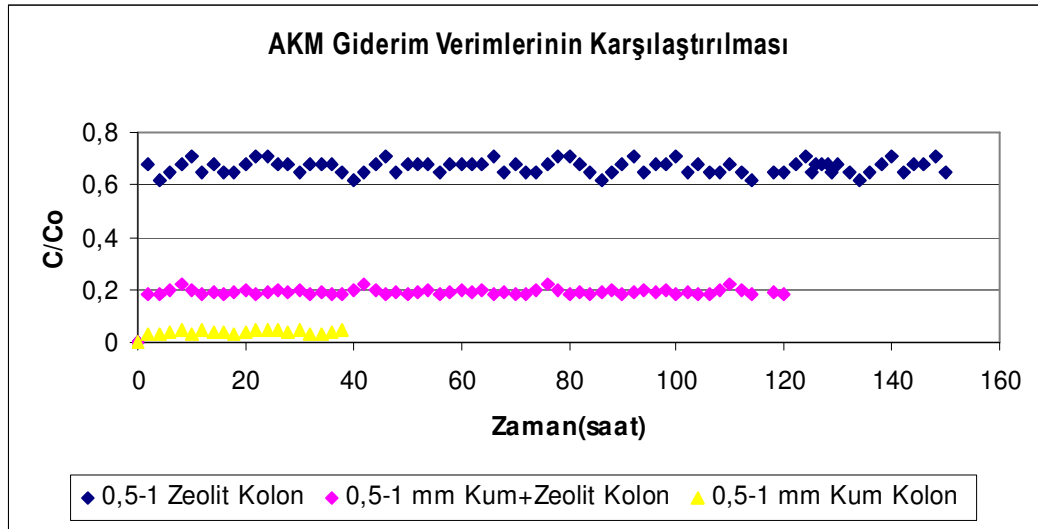
Şekil 9 Tek malzemeli ve çok malzemeli kolon sistemleri amonyum giderim verimlerinin karşılaştırılması

Tek tek zeolit ve kum kullanılan kolonlarla , çok amaçlı kum+zeolit kolon için amonyum giderimlerine bakıldığında , zeolit kolonun $T_c=30$ dak olan yüksek temas süresi nedeniyle 150 saatte hala %100 Amonyum giderimini sürdürdüğü görülmektedir. Buna karşın kum kolonda amonyum giderimi %17 civarında gerçekleşmiş ve tıkanma nedeniyle 38 saatte işleme son vermek gerekmiştir.

Kum + zeolitten oluşan ve zeolitin üstte kullanıldığı sistem için ise zeolitin varlığıyla amonyum giderimi %100'e ulaşmış ve amonyum için sıfırdan ani farklılaşma noktası ancak 120 saatte oluşmuştur. Bu da göstermektedir ki çok amaçlı kolon, Amonyum giderimi açısından bakıldığında verimli olarak çalışabilmektedir.

B) AKM Giderimi

Şekil 10'da tek malzemeli ve çok malzemeli kolon sistemleri AKM giderim verimleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 10 Tek malzemeli ve çok malzemeli kolon sistemleri AKM giderim verimlerinin karşılaştırılması

AKM giderimleri açısından bakıldığında kum kolonun %96 verimle 38 saat çalışabildiği görülmektedir, 38. saatte kolon tıkanma nedeniyle durdurulmuştur. Zeolit kolon ise 150. saatte hala tıkanmamıştır, ancak sadece %35'ler mertebesinde AKM giderimi yapabilmektedir. Kum ve zeolitin birlikte kullanıldığı ve zeolitin %50 oranında üste yerleştirildiği çok amaçlı sistem içinde ise AKM giderim verimi kumun varlığı nedeniyle %82'ye kadar çıkmıştır. Bu da göstermektedir ki çok amaçlı sistem AKM giderimi açısından da iyi bir performans göstermektedir.

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında İstanbul'da doğmuştur. Haydarpaşa Anadolu Teknik Lisesi Elektronik Bölümünden 1991 yılında mezun olmuş, aynı yıl İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimine başlamıştır. 1995 yılında lisans öğrenimini bitirdikten sonra aynı üniversitede Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamış ve 1998 yılında yüksek lisansını tamamlamıştır. Halen İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.
