

Çok amaçlı filtrelerde farklı zeolit kullanımları için amonyum ve askıda katı madde giderimi

Deniz KOCAMAZ ALKAŞ*, **Bilsen BELER BAYKAL**, **Cumali KINACI**

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Son yıllarda özellikle hassas alanlara deşarj konusunda Avrupa Birliği tarafından uygulanan ve Türkiye’de de yürürlükte olan “91/271/EEC” nolu “Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği” ile daha sıkı standartlar getirilen parametrelerden ikisi amonyum ve Askıda Katı Madde (AKM) parametreleridir. Bu çalışmanın amacı, klasik atıksu arıtma sistemleri çıkış sularında önemli bir problem olan amonyum ve askıda katı madde parametrelerini, standartların altına düşürmek için hazırlanan “klinoptilolit+kum” malzemeli çok amaçlı filtrelerde klinoptilolit konum ve miktarının giderim üzerindeki etkilerinin incelenmesidir. Deneysel çalışma kısmında öncelikle tez kapsamında kullanılan klinoptilolitin amonyum giderim kapasitesi belirlenmiştir. 20 mg/lt amonyum içeren atıksu konsantrasyonunda, 0,5-1 mm dane boyutunda klinoptilolit için pH 7.3’de bu çalışmada kullanılan Bigadiç klinoptilolitin amonyum tutma kapasitesi 10.4 mg/g olarak bulunmuştur. Sürekli deneylerin ilk aşamasında, çok amaçlı filtre sisteminde zeolit farklı konumlara yerleştirilerek amonyum ve AKM giderim verimleri belirlenmiştir. Daha sonra aynı filtrasyon hızında %25 ve %50 oranlarında klinoptilolit içeren iki farklı çok amaçlı filtre sistemi oluşturularak amonyum ve AKM giderim verimleri tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda toplam yatak hacminin %50’si oranında klinoptilolit kullanılan, klinoptilolitin üste yerleştirildiği aşığı akışlı sistem, 120 saatlik işletim süresinde %100 amonyum giderimi ve %82 AKM giderimi sağlamış olduğundan en uygun çok amaçlı filtre sistemi olarak önerilmiştir. Giriş amonyum ve AKM konsantrasyonlarına bağlı olarak pilot çalışmalar ile belirlenecek uygun filtre hızı ve temas süreleri için oluşturulabilecek çok amaçlı filtre sistemleri ile, amonyum ve AKM’nin birlikte giderimi için uygulamada verimli sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler:Çok amaçlı filtre, filtrasyon, iyon değiştirme, askıda katı madde giderimi, amonyum giderimi, klinoptilolit.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Deniz Kocamaz ALKAŞ. denizal@istanbul.edu.tr; Tel: (212) 4737070.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "Çok Amaçlı Filtrelerde Amonyum ve Askıda Katı Madde Giderim Esasları" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 28.03.2008 tarihinde dergiye ulaşılmış, 24.07.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.12.2008 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Ammonium and suspended solids removal in multi-purpose filters for different zeolite applications

Extended abstract

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. Classically suspended solids are removed in secondary treatment units, but if high suspended solids removal rate will be needed, filters are used for advanced treatment of suspended solids.

This study 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 for different zeolite placement types, and zeolite volume/bed volume ratios at the same filtration rate. In experimental analysis, Bigadiç clinoptilolite which is a natural zeolite from the western Anatolia is used as ion exchanger and sand is used as filtration support material. There are batch tests and column analysis in laboratory studies. In batch tests, the capacity of Bigadiç clinoptilolite was determined as 10.4 mg/g for 20 mg/l initial wastewater ammonium

concentration at pH 7.3 and 0.5-1 mm diameter zeolite is used.

In column analysis, different multi-purpose filters are designed with different zeolite placement types and zeolite volume/bed volume ratios, at the same filtration rate. Ammonium and suspended solids removal rates are observed and compared for all multi-purpose systems. The column analysis are 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, analysis are made in two stages. In both of the stages, systems are operated downflow and 0.5-1 mm zeolite and sand used as filter material.

In first stage three different systems are constituted to determine the effects of zeolite placement on ammonium and suspended solids removal;

1- A multi purpose filter in which 25% of filter material is zeolite and zeolite is located at the upper layer of the filter bed.

2- A multi purpose filter in which 25% of filter material is zeolite and zeolite is located at the bottom layer of the filter bed.

3- A multi purpose filter in which 25% of filter material is zeolite and zeolite is mixed with sand through the filter bed.

In second stage two different systems are constituted to determine the effects of zeolite quantity on ammonium and suspended solids removal;

1- A multi purpose filter in which 25% of filter material is zeolite and zeolite is located at the upper layer of the filter bed.

2- A multi purpose filter in which 50% of filter material is zeolite and zeolite is located at the upper layer of the filter bed.

By the evaluation of experimental analysis, a multi-purpose filter in which 50% clinoptilolite used as upper layer is recommended with 100% ammonium removal and 82% suspended solids removal in working period of 120 hours. The success of this investigation could be an alternative both for the upgrading of existing treatment plants or polishing stage for ammonium and with a high removal suspended solids rate by using a multi-purpose filter.

Keywords: Multi purpose filter, filtration, ion exchange, suspended solids removal, ammonium removal, clinoptilolite

Giriş

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

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 geçerli olan ve Türkiye'de de yürürlükte bulunan 91/271/EEC nolu "Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği" ile sınırlama getirilen iki parametre "Amonyum" ve "Askıda Katı Madde (AKM)" parametreleridir. Bu yönetmeliğe göre toplam azot konsantrasyonu için verilen sınır değer 10 mg/l'te, AKM için verilen sınır değer ise 35 mg/l'te kadar düşürülmüştür.

Bu çalışmanın amacı, amonyum ve askıda katı madde parametrelerinin birlikte giderimi için ortak bir arıtma kademesi olarak önerilen çok amaçlı filtre sistemlerinde farklı zeolit konum ve miktarlarının her iki parametre giderim verimleri üzerindeki etkilerinin incelenmesidir.

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 gerçekleştiği ve ortak çalışma sisteminden nasıl etkilendiği incelenmemiştir (Belir Baykal vd., 1994a, Belir Baykal vd., 1994b, Belir Baykal vd., 1996a, Belir Baykal vd., 1996b, Belir Baykal 1998, İnan 2001). Bu

çalışma ile iyon değiştirici ve filtre malzemesinin birlikte kullanıldığı çok amaçlı bir filtre sistemi içine farklı miktar ve yerleşim şekillerinde zeolit yerleştirilerek, Askıda Katı Madde (AKM) ve amonyum parametrelerinin birlikte, en yüksek verimle giderilebileceği çalışma koşulları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma kapsamında iyon değiştirici malzeme olarak 0.5-1 mm dane çapında klinoptilolit ve filtrasyon malzemesi olarak 0.5-1 mm dane çapında kum kullanılmıştır. Klinoptilolit, yüksek iyon seçiciliğine sahip, katyon değişim kapasitesi yüksek ve amonyum için özel seçicilik gösteren doğal bir zeolittir. Bu çalışma çerçevesinde, ülkemizde zengin yatakları bulunan Balıkesir Bigadiç bölgesi klinoptiloliti kullanılmıştır. Balıkesir Bigadiç klinoptilolitinin kimyasal analizi Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Balıkesir Bigadiç klinoptiloliti kimyasal analizi (Belir Baykal vd.1996a)

Bigadiç Klinoptiloliti (%)	
SiO ₂	67.95
Al ₂ O ₃	10.74
K ₂ O	3.01
CaO	0.74
Na ₂ O	0.81
Fe ₂ O ₃	-
MgO	1.49
TiO	-
Si	15.36

Çalışma kapsamında kullanılan atıksu, Bahçeşehir evsel atıksu arıtma tesisine ait son çöktürme havuzları çıkışından temin edilmiştir. Bahçeşehir Atıksu Arıtma Tesisi, 21000 eşdeğer nüfus kapasiteli, uzun havalandırılmalı bir aktif çamur tesisidir. Bahçeşehir atıksu arıtma tesisi girişinden ve son çöktürme havuzları çıkışından alınan atıksu numunelerinde yapılan atıksu karakterizasyonu Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Atıksu karakterizasyonu

Parametre	Tesis giriş suyu kalitesi	Tesis çıkış suyu kalitesi
NH ₄ -N (mg/lt)	50-85	19-24
Toplam Kjehldal Azotu(mg/lt)	80-114	30-43
KOİ (mg/l)	400-800	40-58
BOİ ₅ (mg/l)	180-455	25-35
AKM (mg/l)	230-300	40-97
pH	7-8	7-7.5

Materyal ve yöntem

Deneysel çalışma kesikli ve sürekli deneylerden oluşmaktadır. Kesikli çalışmalarda bu çalışmada kullanılan dane çapı olan 0.5-1 mm için Bigadiç klinoptilolitinin atıksu ve deiyonize su ile hazırlanmış NH₄Cl çözeltisi için amonyum izoterm eğrileri belirlenerek amonyum tutma kapasitesi tespit edilmeye çalışılmıştır. İzoterm çalışmasına başlamadan önce şartlandırma amacıyla zeolit 6-8 kez saf su ile yıkanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Daha sonra distile su ile hazırlanan 1M NaCl çözeltisi 48 saat süreyle 1 yatak hacmi/saat debi ile şartlandırma kolonlarına beslenerek klinoptilolit şartlandırması gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin sonunda kolonlardan alınan klinoptilolit, 6-8 kere saf su ile yıkanmış ve oda şartlarında serilerek kurutulmuştur.

İzoterm çalışmalarında farklı ağırlıklarda tartılan klinoptilolit örnekleri, başlangıç konsantrasyonları önceden bilinen belirli hacimde atıksu numuneleri ile 25⁰C'lik sabit sıcaklıkta çalkalayıcıda 150 dev/dakikalık çalkalama hızı ile 24 saat çalkalanmıştır. Literatürde bu tür izoterm çalışmalarında dengeye gelme süresi olarak 24 saatlik sürenin yeterli olduğu görülmüştür (Beler Baykal vd, 1996a, 1996b). Daha sonra numuneler çalkalayıcıdan çıkarılarak, çözelti ve klinoptilolit fazları birbirinden ayrılmış ve çözeltideki amonyum konsantrasyonları iyonmetre yardımıyla ölçülmüştür. Çözeltideki başlangıç ve son amonyum konsantrasyonları farkından katı fazdaki amonyum miktarı hesaplanmıştır. Bulunan değerler kullanılarak izoterm eğrileri çizilmiştir.

Sürekli deneyler çok amaçlı filtre sistemlerinde amonyum ve AKM gideriminin incelendiği kolon çalışmalarından oluşmaktadır. Kolon çalışmaları süresince, kolon çıkışlarından 2 saatlik aralıklarla numune alınarak amonyum ve AKM konsantrasyonları ölçülmüştür. AKM analizleri süzme seti ve cam elyaf filtreler, amonyum analizleri ise ± 0.1 mV doğruluğunda iyonmetre ve Jenway 924 328 model amonyak elektrodu kullanılarak yapılmıştır (Standart Methods, 1995).

Kırılma analizleri için 3 adet cam kolon, 1 adet 3 çıkışlı peristaltik pompa, manometre tüpleri ve besleme tanklarından oluşan bir sistem kurulmuştur. Sistem gece de çalışmaya devam ettiğinden bir adet otomatik numune alma cihazı (auto-sampler) kullanılmıştır. Cam kolonların her biri 3 cm iç çapında ve 1 metre yüksekliğinde olup, üzerleri dolm miktarının kolay belirlenebilmesi açısından derecelendirilmiştir. Kolonlar birinci aşamada üçlü, ikinci aşamada ikili olmak üzere paralel ve aşağı akışlı olarak çalıştırılmıştır. Kolon yatak yüksekliği tüm kolonlar için 50 cm'dir. Kolon dolgu malzemesi olarak 0.5-1 mm dane çapı aralığında kum ve Bigadiç klinoptiloliti kullanılmıştır.

Birinci aşamada yatak hacminin %25'i oranında klinoptilolit üstte, altta ve tamamen karışık olarak filtre içine yerleştirilmiş, böylece klinoptilolit farklı konumlarda kullanımının amonyum ve AKM giderimleri üzerindeki etkileri incelenmeye çalışılmıştır.

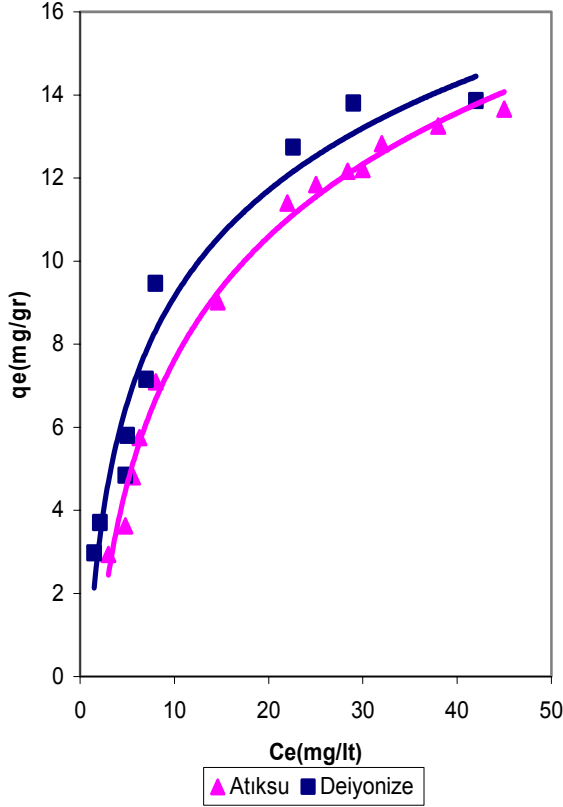
İkinci aşamada ise yatak hacminin %25'i ve %50'si oranında klinoptilolit üste yerleştirilerek farklı klinoptilolit miktarlarının amonyum ve AKM giderimi üzerindeki etkileri incelenmeye çalışılmıştır.

Deneysel çalışma sonuçları ve değerlendirmeler

Kesikli deneyler

Öncelikle kesikli sistemler oluşturularak izoterm çalışmaları yapılmıştır. Şekil 1'de 0.5-1 mm klinoptilolit dane çapı kullanılarak çizilen izoterm eğrileri gösterilmektedir. İzoterm

eğrileri atıksu ve deiyonize su ile hazırlanan NH_4Cl çözeltisi kullanılarak iki farklı koşulda çizilmiş, atıksudaki yarışan iyon etkisi bu şekilde tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1. 0.5-1 mm aralığında klinoptilolit dane çapı kullanılarak oluşturulan izoterm eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 1'de gösterilmekte olan izoterm eğrileri incelendiğinde deiyonize su ile hazırlanan NH_4Cl çözeltisi ile yapılan denemelerde daha yüksek amonyum giderimi elde edildiği gözlenmektedir. Bu durum atıksuda bulunan yarışan iyonların varlığından kaynaklanmaktadır. Deiyonize suda klinoptilolit amonyum yerine tutabileceği farklı iyonlar bulunmadığından klinoptilolit tüm tutma kapasitesi amonyum iyonları için kullanılmakta, bu da amonyum giderim kapasitesini arttırmaktadır.

Kesikli deneyler sonucunda 20 mg/Lt amonyum içeren atıksu konsantrasyonunda, 0.5-1 mm dane boyutunda klinoptilolit kullanıldığında pH

7.3 için bu çalışmada kullanılan Bigadiç klinoptilolitinin kapasitesi 10.4 mg/g olarak bulunmuştur. Bu sonuç Bigadiç klinoptiloliti için daha önce yapılan çalışmalarla belirlenen kapasitelerle uyumludur (Belç Baykal ve Akça Güven 1997, İnan 2001).

Sürekli deneyler

Sürekli deneyler her birinde paralel kolonların çalıştırıldığı iki aşama halinde gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada farklı zeolit konumları, ikinci aşamada ise farklı zeolit miktarları kullanılarak hazırlanan çok amaçlı filtreler için amonyum ve AKM giderim verimleri karşılaştırılmıştır. Filtrelerde danecik boyutu-filtre çapı ilişkisi dikkate alınarak kolon çalışmalarında kullanılan klinoptilolit boyutları 0.5-1 aralığında seçilmiştir. (Kolon çapı 3 cm olduğundan bu çalışma için kolon çapı/dane çapı oranı 30-60 arasında değişmektedir.) Ghosh ve diğerleri (1967) tarafından yapılan çalışma sonucunda bu oranın 40'dan büyük olması tavsiye edilmektedir.

Farklı zeolit konumlarının çok amaçlı filtre sistemi amonyum ve AKM giderimi üzerindeki etkilerinin incelenmesi (Birinci aşama)

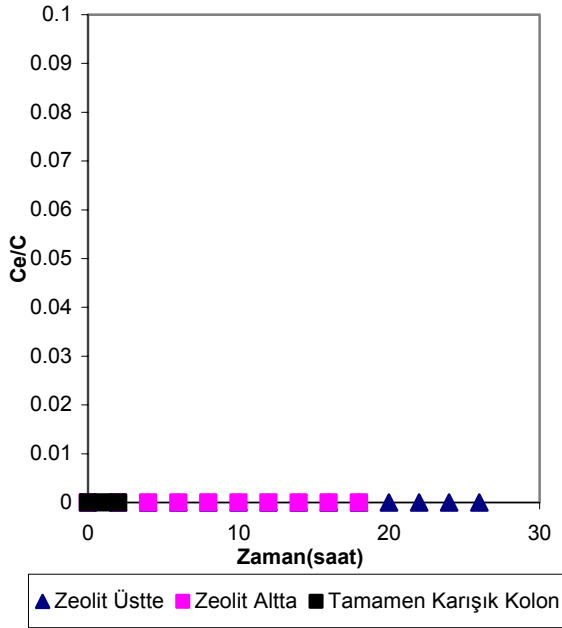
Bu aşamada çok amaçlı filtre içindeki klinoptilolit, farklı konumlara yerleştirilmiştir. Filtre içine 12.5 cm yüksekliğinde klinoptilolit (yatak hacminin %25'i oranında) üstte, altta ve tamamen karışık olarak yerleştirilmiştir. Böylece çok amaçlı filtre içinde kullanılacak en uygun yerleştirilme konumu belirlenmeye çalışılmıştır. Kolonlar paralel ve aşağı akışlı olarak çalıştırılmıştır. Sistem aşağı akışlı olarak çalıştırıldığından klinoptilolit üstte yerleştirilmesi, girişte yer alması anlamına gelmektedir.

Birinci aşama çalışma koşulları Tablo 3'te özetlenmektedir.

Bu aşamada %25 oranında klinoptilolit farklı konumlara yerleştirildiği üç çok amaçlı kolon oluşturularak amonyum ve AKM giderim verimleri incelenmiştir. Birinci aşamada elde edilen amonyum giderimleri Şekil 2'de gösterilmektedir.

Tablo 3. Birinci aşama çalışma koşulları

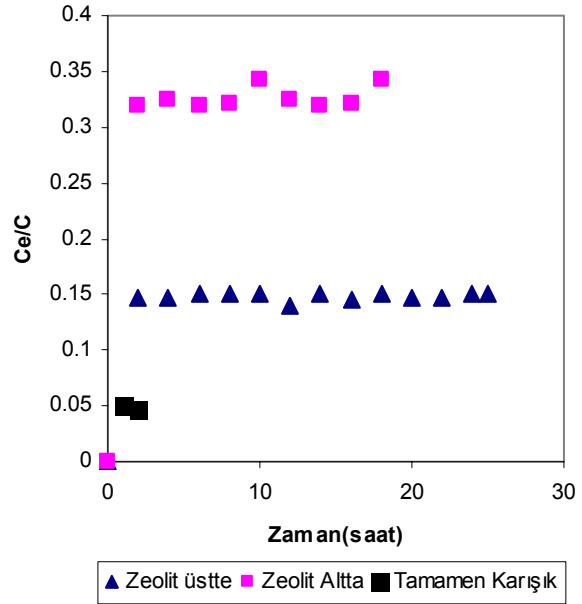
$T_h=30$ dak(Kum kolon hidrolik bekletme süresi)
$T_c=7,5$ dak (Zeolit kolon temas süresi)
Kolon çapı:3 cm
Yatak Yüksekliği:50 cm
Klinoptilolit yatak yüksekliği: 12,5 cm
Debi: 11.78 ml/dak
(0,5-1 mm kum porozite 0.36, Cu:1.34)
(0,5-1 mm zeolit porozite 0.45, Cu:1.9)
Giriş Amonyum Kons. (C): 20 mg/l
Giriş AKM: 90 mg/l
Yüzey alanı:7,07 cm ²
Yatak hacmi: 353 ml
Yükleme hızı : 1 m ³ /m ² saat



Şekil 2 Birinci aşamada elde edilen amonyum giderim verimlerinin karşılaştırılması

Farklı yerleşim şekilleri için amonyum giderimleri incelendiğinde her üç yerleşim şekli için de zeolitin yüksek amonyum tutma kapasitesi nedeniyle %100 amonyum gideriminin gerçekleştiği, farklı zeolit konumlarının esas olarak işletim sürelerine etki ettiği görülmektedir.

Birinci aşamada elde edilen AKM giderimleri Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Birinci aşamada elde edilen AKM giderim verimlerinin karşılaştırılması

AKM giderimleri incelendiğinde en iyi sonucun zeolitin tamamen karışık olarak kullanıldığı kolon için alındığı, ancak bu kolonda işletim süresinin sadece 2 saat olduğu görülmektedir. Zeolitin üstte olduğu kolon için % 85 verim elde edilirken, zeolitin alta yerleştirilmesiyle AKM giderim verimi %68'e kadar düşmüştür. Her üç kolonda da işletim süresinin tıkanma nedeniyle sonlandığı görülmektedir.

Klinoptilolitin üstte, altta veya tamamen karışık oluşu, kolon işletim sürelerinde çok belirgin değişikliklere neden olmuştur. Özellikle karışık kolonda porozite azaldığından, işletim süresi de buna bağlı olarak tıkanma sebebiyle 2 saate düşmüştür. Bu durumun klinoptilolitin boşluklarının, küresel kum taneleri tarafından doldurulmasıyla oluştuğu düşünülmektedir. İki saatlik işletim süresinin çok kısa olduğu düşünüldüğünde birinci aşama için AKM giderimi, amonyum giderimi ve işletim süresi birlikte değerlendirildiğinde, en iyi sonuç klinoptilolitin üstte yer aldığı kolon için ortaya çıkmıştır. Bu durumda 26 saat işletim süresi ve %85 gibi yüksek AKM giderimi sağlanmıştır. Amonyum için ise klinoptilolitin yüksek

amonyum giderim kapasitesinden kaynaklanan %100'lük giderim verimi söz konusudur.

Farklı zeolit miktarlarının çok amaçlı filtre sistemi amonyum ve AKM giderimi üzerindeki etkilerinin incelenmesi (İkinci aşama)

Bu aşamada debi, yüzey yükü, kolon çapı, kolon hacmi gibi başlangıç koşulları bir önceki aşama ile aynı tutulmuş, sadece yatak hacminin %50'si ve %25'i olmak üzere iki farklı zeolit miktarı kullanılarak hazırlanan çok amaçlı iki filtre sistemi üzerinde amonyum ve AKM giderimleri karşılaştırılmıştır. Birinci aşamada en iyi sonuç klinoptilolitin üstte yer aldığı sistem için alındığından, bu aşamada her iki kolonda da klinoptilolit üstte yerleştirilmiştir.

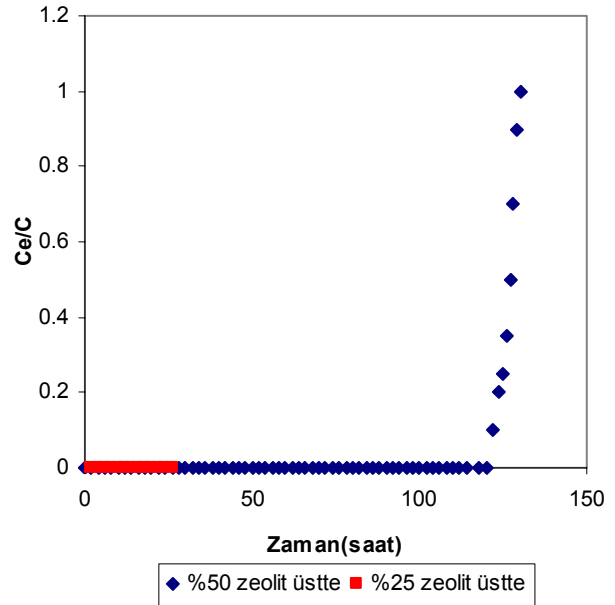
Tablo 4. İkinci aşama çalışma koşulları

$T_h=30$ dak (Her iki kolon için hidrolik bekleme süresi)
$T_c=15$ dak (%50'si zeolit kolonda temas süresi)
$T_c=7,5$ dak (%25'i zeolit kolonda temas süresi)
Kolon çapı: 3 cm
Yatak Yüksekliği: 50 cm
Debi: 11.78 ml/dak
(0,5-1 mm kum porozite 0.36, Cu:1.34)
(0,5-1 mm zeolit porozite 0.45, Cu:1.9)
Giriş Amonyum Kons. (C): 20 mg/lit
Giriş AKM: 68 mg/lit (%50 zeolit içeren kolon)
Giriş AKM: 90 mg/lit (%25 zeolit içeren kolon)
Yüzey alanı: 7,07 cm ²
Yatak hacmi: 353 ml
Yükleme hızı : 1 m ³ /m ² saat

İkinci aşamada elde edilen amonyum giderimleri Şekil 4'te gösterilmektedir

Şekil 4'te gösterilmekte olan %50 ve %25 oranında farklı miktarlarda zeolitin kullanıldığı iki sistem için amonyum giderimleri incelendiğinde her iki sistem için de %100 amonyum gideriminin gerçekleştiği görülmektedir. Ancak %25 oranında zeolit içeren kolonda %75 oranında kum bulunduğundan 26.

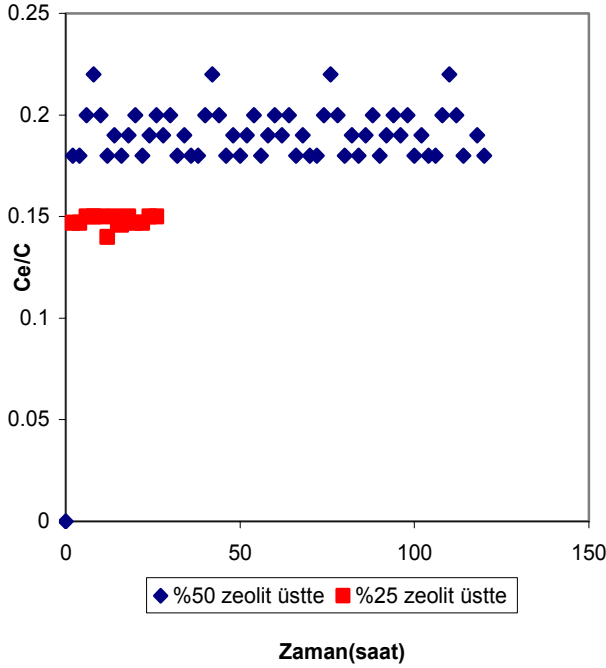
saatte tıkanma nedeniyle işletim süresi sonlanmıştır (Tıkanma noktası yük kaybının 80 cm'ye ulaştığı nokta olarak kabul edilmiştir). %50 oranında zeolit içeren kolonda ise işletim süresi bitimi 120. saatte amonyum için dönüm noktasına ulaşılmasıyla oluşmuş, hala tıkanma gerçekleşmemiştir, (Amonyum için dönüm noktası, çıkış amonyum konsantrasyonunun (Ce) 0 mg/lit' yi aşmaya başladığı nokta olarak kabul edilmiştir).



Şekil 4. İkinci aşamada farklı zeolit miktarları için elde edilen amonyum giderim verimlerinin karşılaştırılması

Şekil 5'te farklı zeolit miktarları için elde edilen AKM giderim verimleri karşılaştırılmaktadır.

Şekil 5 incelendiğinde, %50 oranında zeolit kullanılan sistemde %82 AKM giderimi elde edilirken, %25 oranında zeolit kullanılan sistemde %85 oranında AKM giderimi sağlandığı görülmektedir. İşletim süreleri açısından da bakıldığında %25 oranında daha fazla zeolitin kullanıldığı sistemde (%50 zeolit kullanılan sistem) sadece %3'lük AKM giderim verimi kaybı ile işletim süresininin 26 saatten 120 saate çıktığı, aynı zamanda %100'lük de amonyum giderimi elde edildiği belirlenmiştir.



Şekil 5. İkinci aşamada farklı zeolit miktarları için elde edilen AKM giderim verimlerinin karşılaştırılması

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde verim ve işletim süreleri açısından birinci aşama için en iyi sonucun 0.5-1 mm aralığında %25 oranında klinoptilolit üstte kullanıldığı, klinoptilolit+kum çok amaçlı sisteminde elde edildiği görülmektedir. Bu durumda 26 saat işletim süresinde %100 amonyum giderimi ve %85 AKM giderimi sağlanmıştır. İkinci aşamada ise bu sistem ile %50 zeolitin üstte yer aldığı sistem karşılaştırılmıştır. Klinoptilolit üstte kullanıldığı sistem için işletim süresi 120 saat, amonyum giderim verimi %100 ve AKM giderim verimi %82 olarak tespit edilmiştir. Sadece %3'lük AKM verim kaybı ile çok daha uzun işletim süresi elde edildiğinden, çok amaçlı filtre sistemi için en uygun seçeneğin bu olduğu düşünülmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışma 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 çok amaçlı bir filtre için en uygun çalışma şartları farklı zeolit miktar ve konumları için 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/lt giriş amonyum konsantrasyonlu atıksu için 0.5-1 mm dane boyutunda pH 7.3 iken, bu çalışmada kullanılan Bigadiç klinoptilolitinin amonyum tutma kapasitesi 10.4 mg/g olarak bulunmuştur.
- Kum+zeolitten oluşan çok amaçlı filtre sistemleri için yapılan sürekli deneylerde bulunan tüm sistem verimleri ve işletim süreleri dikkate alındığında amonyum için tüm sistemlerde %100 verim elde edilebildiği görülmüştür. AKM için ise en iyi sonucun %95 verim ile %25 klinoptilolit karışık olarak yerleştirildiği çok amaçlı filtre sisteminde elde edildiği belirlenmiştir. Fakat bu sistemde tıkanma nedeniyle 2 saatte işletim süresi sona ermiştir. Verim yanında işletim süreleri de dikkate alındığında %50 yatak hacminde klinoptilolit üstte yer aldığı çok amaçlı filtre sisteminin 120 saat işletim süresine sahip olduğu, aynı zamanda bu sistemle % 82 AKM giderim verimi elde edildiği dikkate çekilmektedir. Bu nedenle %50 yatak hacminde klinoptilolit üstte yer aldığı sistem, amonyum ve AKM'nin birlikte, en uygun koşullarda giderilebildiği, çok amaçlı filtre sistemi olmuştur.

Sonuç olarak bu çalışma ile önerilen çok amaçlı filtre sistemi içinde zeolit ve kumun, iyon değişimi ve filtrasyon proseslerini birlikte gerçekleştirebildiği tespit edilmiştir. İkinci aşamada farklı zeolit miktarları için elde edilen AKM giderim verimleri incelendiğinde %25 oranında daha fazla zeolitin kullanılması ile

sadece %3'lük AKM giderim verimi kaybı ile işletim süresinin 26 saatten 120 saate çıktığı, aynı zamanda %100'lük de amonyum giderimi elde edildiği belirlenmiştir. Bu sonuç kum filtresi kolonların içine zeolit eklenmesi ile oluşturulacak çok amaçlı filtre sistemlerinin ne derece faydalı olacağını açıkça vurgulamaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar sonunda bu sistemlerde zeolitin girişe yerleştirilmesinin amonyum ve AKM giderimi açısından daha iyi sonuç vereceği tespit edilmiştir.

Bu çalışma ile çok amaçlı filtreler, amonyum ve AKM gideriminde daha sıkı standartların sağlanabilmesi konusunda denenebilecek bir yöntem olarak farklı zeolit konum ve miktarları için değerlendirilmiştir. 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 olacaktır.

Kaynaklar

- Belers Baykal B, Sekoulov I., Oldenburg M. (1994a) Stagemwise Operation and Second Stage Removal of Ammonia, *İTÜ 4. Endüstriyel Kilenme Kontrolü Sempozyumu*, Sayfa 369.
- Belers Baykal B, Oldenburg M., Sekoulov I., (1994b) Post Equalization of Ammonia Peaks, *Water Research*, **28-9**, 2039
- Belers Baykal B, Akça Güven D., Yalçın Ç., Günez Ş. (1996a) Klinoptilolit Kullanımı ile Atıksulardan Amonyak Giderimi, *SKKD*, **6-1**, 25
- Belers Baykal B, Oldenburg M., Sekoulov I., (1996b) The Use of Ion Exchange In Ammonia Removal Under Constant and Variable Loads, *Journal of Environmental Technology*, **17**, 717.
- Belers Baykal B, (1998) Clinoptilolite and Multipurpose Filters for Upgrading Effluent Ammonia Quality Under Peak Loads, *Water Science and Technology*, **37-9**, 235
- Ghosh, M.M., O'Connor J.T, Engelbrecht R.S, (1967). Removal of Iron by Filtration, 879-895
- İnan, H., (2001) Atıksulardan İyon Değişimi ile Amonyak / Amonyak Piklerinin Giderim Esasları ve Bigadiç Klinoptilolitinin Kullanımı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, 8 Ocak 2006
- Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (1995). 19th Edition, APHA/AWWA/WEF, Washington , ABD
- Urban Wastewater Treatment Directive (91/271/EEC), 21 May 1991.