

## Çapraz akışlı filtrasyon kullanan aktif çamur sistemleri ile tuzlu atıksulardan azot giderimi

Gülsüm Emel ZENGİN<sup>1\*</sup>, Takao YAMAGISHI<sup>2</sup>, Nazik ARTAN<sup>1</sup>, Derin ORHON<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

<sup>2</sup>National Institute of Advanced Science and Technology (AIST), Tsukuba, Japonya

### Özet

Gaz rezervlerinden sondajlama işlemi ile çıkarılan ham doğal gaz, çeşitli hidrokarbonlar (etan, propan, butan, pentan), su buharı, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, helyum, azot gibi bileşenleri içermektedir. Ham doğal gazın bu bileşenlerden arındırılarak saf metanın elde edilmesi işlemi sonucunda yüksek konsantrasyonda amonyum azotu ve tuzluluk içeren atıksu oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında, doğal gazın üretimi sonucunda oluşan atıksuda, tuzluluğun nitrifikasyon ve denitrifikasyon proseslerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, çalışmada, laboratuvar ölçekli sürekli beslenen çapraz akış filtrasyonlu aktif çamur prosesi kullanılmıştır. Özellikle son yıllarda, membran biyoreaktörlerin nutrient gideriminde kullanılması ile ilgili çalışmalar ve uygulamalar gün geçtikçe artmaktadır. Membran biyoreaktörler, düşük hidrolik bekletme sürelerinde ve uzun çamur yaşlarında, aktif çamur sistemlerinde sıkça rastlanan biyokütle yıkanması problemine neden olmadan işletilebilmektedir. Yüksek yüklemeye potansiyeline sahip olması, sistemden atılacak atık çamurun minimum olması, kabarma problemi olmadan yüksek verimde işletilebilmesi başlıca avantajlarıdır. Bu çalışmada aşırı tuzlu atıksudan, çapraz akışlı filtrasyon kullanan aktif çamur sistemleri ile toplam azotun yüksek verimde giderilebileceği gösterilmiştir. Membran biyoreaktörlerin uzun çamur yaşlarında ve yüksek biyokütle konsantrasyonlarında işletilebilmesi sayesinde aktif çamur, aşırı tuzlu atıksuya alıştırılarak halofilik (tuz seven) mikroorganizmalar ortamda baskın hale gelebilmiştir. Bunun sonucunda da tuzluluğun azot giderme verimi üzerine olumsuz etkisi gözlemlenmemiştir. Çalışma kapsamında, toplam azot giderimi için optimum koşullar, çevrim içi analizler ve kesikli deneylerle belirlenerek toplam azot giderimi % 95 verimle sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çapraz akışlı filtrasyon, denitrifikasyon, nitrifikasyon, tuzluluk.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Gülsüm Emel ZENGİN. gzengin@ins.itu.edu.tr; Tel: (212) 285 65 40.

Bu makale, 07-09 Haziran 2006 tarihleri arasında İstanbul'da düzenlenen 10. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumunda sunulan bildirilen arasından, İTÜ Dergisi/e Su Kirlenmesi Kontrolü dergisinde basılmak üzere seçilmiştir. Makale metni 19.10.2006 tarihinde dergiye ulaşmış, 13.11.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Nitrogen removal in saline wastewater by an activated sludge process with cross-flow filtration

### Extended abstract

Natural gas production is generally based on the purification of methane from hydrocarbons (ethane, propane, butane, pentane),  $H_2S$ ,  $CO_2$ , helium and nitrogen after drilling from the gas well reservoirs and during the purification process of raw natural gas, wastewater containing high concentration of ammonium nitrogen and salinity is generated. The objective of this study was to investigate the effect of salinity on the nitrification and denitrification processes. Within this context the optimum conditions were determined for complete nitrogen removal in saline wastewater by an activated sludge process with cross-flow filtration.

In recent years, membrane bioreactors have been widely used for nutrient removal. Biomass separation membrane bioreactors can be operated at low hydraulic retention times and long sludge ages without the problem of biomass washout, which is very common in activated sludge systems. They enable complete solids removal from effluent, have a capability of high loading, produce low/zero sludge, effectively can be operated without sludge bulking problem.

In this study, a bench scale continuous feeding activated sludge process with cross-flow filtration was used. Polysulfon ultra-filter with nominal molecular weight cut-off value of 200000 Da and filtration area of 35 cm<sup>2</sup> was used for biomass separation and nitrification-denitrification was performed with intermittent aeration in the reactor vessel. The gas well wastewater containing 3% NaCl similar to marine water and 200 mg/l  $NH_4-N$  was seeded with activated sludge provided from a fish processing plant. The operational conditions of the reactor was set up as 6 hours intermittent cycle, 3 hours of anoxic and 3 hours of aeration with 10 minutes of feeding at the beginning of the anoxic period and the effluent was withdrawn during the aeration period and the system was run with  $NH_4-N$  loading rate of 0.1 g/l-day, and methanol loading rate of 0.19 g/l-day in the starting phase. Nitrification and denitrification performance in highly saline wastewater was determined by carrying out batch tests.

Nitrification rate was gradually increased from 94 mg N/l.day to 370 mg N/l.day and stable nitrification was obtained up to 70<sup>th</sup> day of the study. The performance of the reactor on the 50<sup>th</sup> day was studied and it was observed that nitrate concentration during nitrification period increased to a stable value within 90 minutes therefore the intermittent cycle was decreased to 4 hours; 2 hours anoxic and 2 hours aeration, which lead to an increase in flow and in nitrogen loading rate to 750 ml/day and 0.15 g/l.day respectively. In the first phase of this study, methanol was added in theoretical value of stoichiometric equation of denitrification but it was observed that this value was not enough for complete denitrification. Thus addition of methanol was increased to 1.5 times of its theoretical value. The batch denitrification tests showed that methanol as an external carbon source worked efficiently whereas denitrification performance of the original activated sludge was not good with methanol. Nitrogen removal efficiency increased from 53% to 90% and denitrification rate increased from 22 mg/l.day to 254 mg/l.day on the 37<sup>th</sup> day and reached to 414 mg/l.day on the 57<sup>th</sup> day of the study due to the addition of methanol. So it was concluded that halophilic (salt-loving) microorganisms became dominant within the acclimation to saline environment. Batch nitrification tests also proved the acclimation of the activated sludge to highly saline wastewater, as the nitrification rates were better than that of the activated sludge in low salinity wastewater. In literature, it was emphasized that denitrifiers possessed a higher tolerance capability and better adaptation to high salinity when it is compared with the nitrifiers which was also observed in this study that nitrification process was more sensitive to salinity than denitrification. In the last phase of this study, the nitrogen load was increased from 0.1 to 0.15 g/l.day and the sludge was removed daily with a sludge age of 40 days. It was observed that in this period the mixed liquor concentrations became stable with a higher ratio of VSS/SS and the removal efficiency of total nitrogen reached to 95%.

Consequently, it was demonstrated that the complete nitrogen removal in highly saline wastewater can be accomplished with cross-flow filtration due to the capability of operating at high nitrogen loading and longer sludge ages.

**Keywords:** Cross-flow filtration, denitrification, nitrification, salinity..

## Giriş

Azot gideren sistemlerde, arıtma teknolojilerinin giderme verimi üzerine etkisi bilinmektedir. Özellikle son yıllarda, membran biyoreaktörlerin nutrient gideriminde kullanılması ile ilgili çalışmalar ve uygulamalar artmıştır. Membran biyoreaktörler, düşük hidrolik bekletme sürelerinde ve uzun çamur yaşlarında, aktif çamur sistemlerinde sıkça rastlanan biyokütle yıkanması probleminin neden olmadan işletilebilmektedir. Yüksek yükleme potansiyeline sahip olması, sistemden atılacak atık çamurun minimum olması, kabarma problemi olmadan yüksek verimde işletilebilmesi başlıca avantajlarıdır. Membran biyoreaktörler düşük hidrolik bekletme sürelerinde ve düşük çamur yükleme hızlarında işletilebilmesi nedeniyle daha az çamur üretmektedir (Stephenson vd., 2000). Membran biyoreaktörlerin aktif çamur proseslerine göre önemli avantajlarından biri, evsel atıksuda 25000 mg/l, bazı endüstriyel atıksularda ise 80000 mg/l'ye kadar yüksek biyokütle konsantrasyonlarında dolayısıyla düşük reaktör hacimlerinde çalışabilme özelliğidir. Membran biyoreaktörlerle azot giderimi ile ilgili çalışmalarda, 5 ile 72 gün arasındaki çamur yaşlarında ve 0.05 ile 0.66 kg/BOİ-gün arasındaki organik yüklemelerde nitrifikasyonun gerçekleştiği ve çamur yaşının 10 günden 50 güne artırılması ile amonyak gideriminin %80'den %90'lara yükseltildiği rapor edilmiştir (Stephenson vd., 2000) Denitrifikasyon prosesinde ise denitrifikasyon hızının BOİ yüklemesine bağlı olduğu, 0.438 g/l-gün değerinden düşük yüklemelerde denitrifikasyonun gerçekleşmediği gözlemlenmiştir (Suwa vd., 1992).

Azot giderimini etkileyen bir diğer önemli etken ise tuzluluktur. Ancak tuzluluğun etkisi çok iyi bilinmemektedir. Intrasungka (1999), yüksek tuzluluk içeren deniz ürünleri endüstrisi arıtma tesisinden alınan atıksuda, laboratuvar ölçekli ardışık kesikli reaktörler kullanarak nutrient giderimi üzerine çalışmıştır. Tuzluluğun etkisini belirlemek amacıyla sistem başlangıçta düşük tuzlulukta işletilmiş, tuzluluk oranı kademeli olarak artırılmıştır. Araştırma sonucunda tuzluluk oranı düşük durumda (%0.3-%2 NaCl) yüksek verimde nutrient giderimi gözlemlenmiş ancak

tuzluluk oranı %5 NaCl'e yükselince verim belirgin şekilde azalmıştır. Hamoda (1995) tarafından yürütülen bir diğer çalışmada, yüksek tuzluluğa alıştırmış biyokütle ile işletilen karbon gideren aktif çamur tesisinde, uzun çamur yaşına bağlı olarak halofilik (tuz seven) mikroorganizmaların ortamda baskın hale geldiği ve bunun sonucunda verimin tuzluluktan etkilenmediği belirlenmiştir. Panswad (1999), yüksek tuzluluğa alıştırmamış biyokütle ile karbon ve azot gideren aktif çamur prosesinde tuzluluğun sırasıyla 0'dan 30 g/l NaCl değerine artırıldığında, karbon giderim veriminin %97'den %60'a, azot giderim veriminin %88'den %68'e düştüğünü, yüksek tuzluluğa alıştırmış biyokütle ile karbon ve azot gideren aktif çamur prosesinde tuzluluğun sırasıyla 5'den 30 g/l NaCl değerine artırıldığında ise, karbon giderim veriminin %90'dan %71'e, azot giderim veriminin %85'den %70'e düştüğünü rapor etmiştir.

Gaz rezervlerinden sondajlama işlemi ile çıkarılan ham doğal gaz, çeşitli hidrokarbonlar (etan, propan, butan, pentan), su buharı, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, helyum, azot gibi bileşenler içermektedir. Saf metanın elde edilebilmesi için ham doğal gazın bu bileşenlerden arındırılması gerekmektedir ve bu saflaştırılma işlemi sonucunda yüksek konsantrasyonda amonyum azotu ve tuzluluk içeren atıksu oluşmaktadır. Çalışma kapsamında, doğal gazın üretimi sonucunda oluşan atıksuda, tuzluluğun nitrifikasyon ve denitrifikasyon proseslerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, çapraz akışlı filtrasyon kullanan aktif çamur sistemi ile tuzlu atıksulardan azot giderimi için optimum koşullar belirlenmiştir.

## Materyal ve yöntem

Bu çalışmada, laboratuvar ölçekli sürekli düzende beslenen çapraz akış filtrasyonlu aktif çamur prosesi kullanılmıştır. Şekil 1'de çalışmada kullanılan reaktör düzeni gösterilmiştir. Otomatik pH ve çözünmüş oksijen kontrolörü olan 1 l'lik reaktör düzeneğinde membranla biyokütle ayırımı, moleküler ağırlık kesim boyutu 20000 Da, filtrasyon alanı 38.5 cm<sup>2</sup> olan polisülfondan ultrafiltrasyon membranı (Toyo Roshi, Japonya) kullanılarak sağlanmıştır. Re-

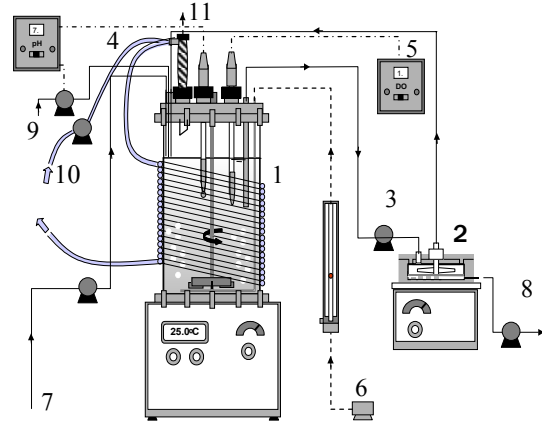
aktör, su ürünleri endüstrisi arıtma tesisinden alınan aktif çamur ile aşılanmıştır. Reaktöre beslenen atıksu karakteri Tablo 1’de verilmiştir. Reaktörde, aralıklı havalandırma ile nitrifikasyon ve denitrifikasyonun gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Başlangıç koşullarında sistem, 3 saat karıştırma (ilk 10 dakikası besleme), 3 saat havalandırma olmak üzere 6 saatlik çevrimlerde çalıştırılmıştır. Sistem performansını izlemek için günlük  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  ve TOK analizleri yapılmıştır.  $\text{NO}_2\text{-N}$  ve  $\text{NO}_3\text{-N}$  ölçümleri için yüksek performanslı sıvı kromatograf (Agilent 1100, Japonya),  $\text{NH}_4\text{-N}$  ölçümü için katyonik iyon kromatograf (HIC6A, Shimadzu Corporation, Japonya), TOK analizi için TOK analizörü (TOC-500, Shimadzu Corporation, Japonya) ve oluşan  $\text{N}_2\text{O}$  ölçümü için gaz kromatograf (HP 5890A GC, Hewlett Packard Corporation, ABD) kullanılmıştır. Anyonik kromatografi yönteminde detektör iletkenlik olduğu için yüksek klorür konsantrasyonlarının girişimi söz konusu olduğundan aşırı tuzlu atıksuda  $\text{NO}_2\text{-N}$  ve  $\text{NO}_3\text{-N}$  analizi için yöntem modifiye edilmiştir. Yüksek performanslı sıvı kromatograf’ta UV absorpsiyon detektörü, anyonik iyon kromatografi kolonu ve 1.2 ml/dak akış hızında 15 mM NaCl içeren taşıyıcı faz kullanılmıştır.

Tablo 1. Atıksu karakterizasyonu

Parametre	Konsantrasyon (mg/l)
$\text{NH}_4\text{-N}$	200
TOK	55
Na	11577
Cl	21135
K	336
$\text{SO}_4$	2554
$\text{NO}_2$	*
$\text{NO}_3$	*
$\text{PO}_5$	*

\*ölçüm değerlerinin altında

Aşırı tuzlu ortamdaki nitrifikasyon ve denitrifikasyon performanslarını değerlendirmek ve optimum koşulları belirlemek için kesikli deneyler yürütülmüştür.



Şekil 1. Çapraz akışlı filtrasyonun şematik diyagramı

1. mekanik karıştırıcı reaktör; 2. ultrafiltreli sıvı-katı ayırma düzeni; 3. çamur devri pompası; 4. pH kontrolörü; 5. ÇO sensörü; 6. havalandırma pompası; 7. giriş; 8. ultrafiltre düzeneğinden süzülerek deşarj edilen çıkış suyu için emme pompası; 9. pH kontrolü için kullanılan tampon çözelti hattı; 10. su soğutucu hattı; 11. çıkış gazı toplayıcısı

### Kesikli nitrifikasyon testi

Aşırı tuzlu ortamdaki nitrifikasyon performansı, zamana göre kararlı hale geldikten sonra alınan aktif çamur numunesi kullanılarak belirlenmiştir. Tam karışımdan alınan 7540 mg UAKM/l konsantrasyonundaki 87.5 ml numune 10000 rpm’de santrifüj edilip 97.5 ml’ye yüksek tuzluluğu temsil etmek üzere reaktör çıkışından alınan üst faz ile, düşük tuzluluğu temsil etmek üzere ise evsel atıksu aktif çamurunun üst fazı ( $0.45 \mu\text{m}$ ’den süzölmüş) ile seyreltilmiş ve 2.5 ml amonyum çözeltisi (25 mg/l) eklenerek 100 ml’ye tamamlanmıştır. Atıksu karakterleri Tablo 2’de verilmiştir. Sistemin pH’sı 6.8 ve ÇO değerleri ise 1-2 mg/l  $\text{O}_2$  değerleri arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Sistem sürekli olarak havalandırılmış ve 2 saat süresince her 15 dakikada bir  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  ve TOK analizleri için numune alınmıştır.

### Kesikli denitrifikasyon testi

Denitrifikasyon performansını belirlemek için yürütülen kesikli deneyde, tam karışımdan alınan 7540 mg UAKM/l değerine denk 17.5 ml numune 10000 rpm’de santrifüj edilip 18.5

ml'ye yüksek tuzluluk örneği için reaktör çıkış suyu ile, düşük tuzluluk örneği için ise 0.45 µm'den süzölmüş evsel aktif çamur süzöntüsü ile seyreltilerek serum şişelerine aktarılmıştır. 1 ml metanol çözeltisi ve şahit numune için 1 ml musluk suyu ve en son olarak 0.5 ml nitrit ve nitrat çözeltileri (1000 ppm) ilave edilerek 20 ml'ye tamamlanmıştır. Hava payı saf azot gazı ile giderilerek şişe mühürlenmiştir. Sistem 200 rpm'de karıştırılarak 2 saat süresince her 15 dakikada numune alınmıştır. En etkili karbon kaynağını belirlemek üzere, glikoz, metanol, asetat çözeltilerinden ve şahit deneyi için musluk suyundan 1 ml alınarak tam karışımdan alınmış 17.5 ml numune, 1 ml reaktör çıkışından alınan süzöntü ve 0.5 ml 1000 ppm'lik nitrit-nitrat çözeltileri 60 ml'lik serum şişesine aktararak azot gazı ilavesi ile şişeler mühürlenmiştir. Sistem 2 saat süresince 200 rpm'de karıştırılarak her 15 dakikada numune alımı gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Yüksek ve düşük tuzluluktaki atıksuların karakterizasyonu

Parametre	Birim	Reaktör çıkışı	Evsel Atıksu Aktif Çamurunun Üst Fazı	Deniz suyu
Na	mg/l	11014	1728	10500
Cl	mg/l	19564	3272	19000
Na/Cl	-	0.564	0.528	0.553

### Deneyel çalışma sonuçları

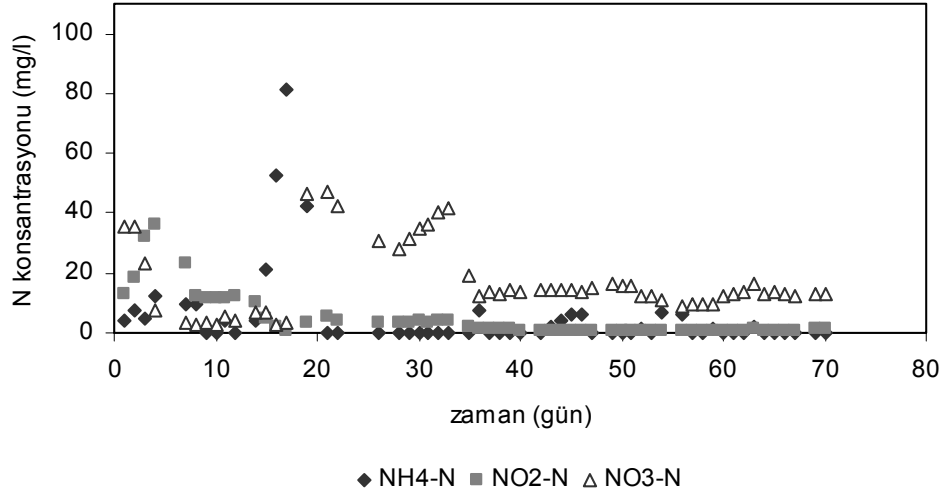
Çalışma kapsamında, ham doğal gazın saflaştırılması işlemi sonucunda oluşan ve yüksek konsantrasyonda amonyum azotu ve tuzluluk içeren atıksuda, tuzluluğun nitrifikasyon ve denitrifikasyon proseslerine etkisi araştırılmıştır. Reaktör, su ürünleri endüstrisi arıtma tesisinden alınan aktif çamur ile aşılansarak biyokütlenin tuzlu atıksuya aklımasyon süresi hızlandırılmıştır. Şekil 2'de sistem performansını izlemek amacıyla yürütölen günlük analiz sonuçları gösterilmiştir. Reaktör performansında, başlangıçtaki 34 günlük alıştırma evresinde, aklımasyona bağılı olarak salınımlar gözlemlenmiştir. Reaktör kararlı hale geldikten sonra nitrifikasyon hızı 94 mg N/l-gün değerinden 370 mg/l-gün değerine yükselmiştir.

Reaktörün 50'inci işletme gününde çevrim içi performansını belirlemek için yürütölen kesikli deneyde, 6 saatlik çevrim süresince reaktörden her 15 dakikada alınan numunelerde ölçölen parametrelerdeki zamana bağılı değışimler Şekil 3'de gösterilmiştir. Nitrifikasyon fazında, nitrat konsantrasyonunun 90 dakika içinde kararlı hale geldiğı belirlenmiştir. Bunun sonucunda çevrim süresi 6 saatten 4 saate (2 saat anoksik, 2 saat havalandırma) düşürölererek debi 750 ml/gün ve azot yükü 0.15g/l-gün değerlerine yükseltilmiştir.

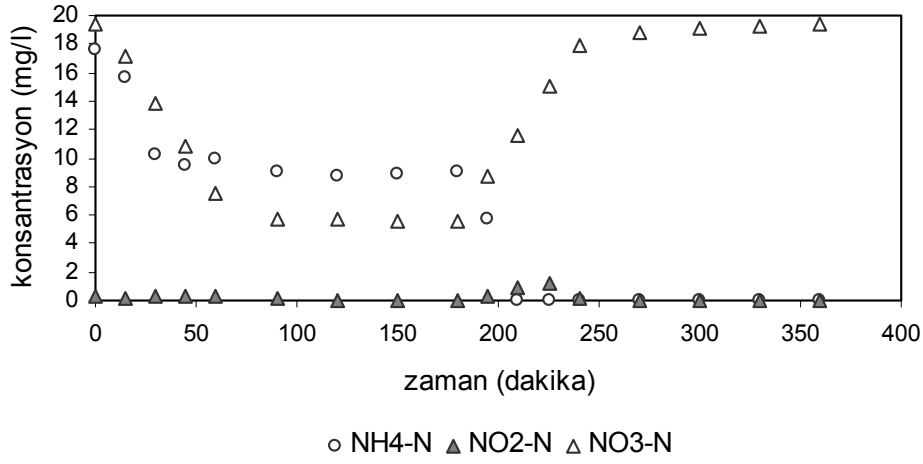
Reaktörün başlangıç koşullarında, aktif çamur sistemden atılmamıştır. Ancak biyokütlenin atıksuya aklımasyonu sağılandıktan sonra sistem performansını iyileştirmek amacıyla 55'inci günde çamur yaşı 40 güne karşılık gelecek şekilde sistemden fazla çamur atılmıştır. Bunun sonucunda sistem başlangıçta 6000 mg/l UAKM, 0.81 UAKM/AKM oranı ve 0.1 g/l-gün azot yükü değerlerinde işletilirken, 55'inci günden sonra reaktör, 4000 mg/l UAKM, 0.83 UAKM/AKM oranı ve 0.15 g/l-gün azot yükü değerlerinde kararlı hale gelmiştir.

Su ürünleri endüstrisi arıtma tesisinden alınan aktif çamur reaktöre beslenmeden önce kesikli denitrifikasyon deneyi yürütölmüştür. Deney sonucunda, karbon kaynağı olarak asetatın metanole göre denitrifikasyon hızının daha yüksek olduğı saptanmıştır. Ancak maliyetinin daha düşük olması nedeniyle reaktöre başlangıç fazında, 0.19 g/l-gün metanol ilavesi yapılmıştır. Aktif çamurun aşırı tuzlu ortama aklime edilmesinden sonraki değışiklikleri incelemek, özellikle metanol ve asetatın organik karbon kaynağı olarak denitrifikasyon prosesinde performansını test etmek amacıyla kesikli denitrifikasyon testi yürütölmüştür.

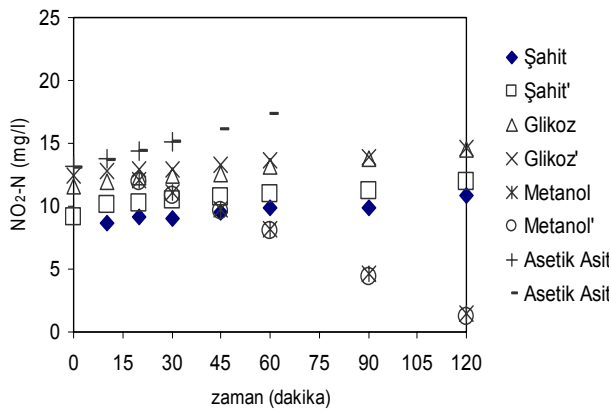
Şekil 4, 29'uncu günde yürütölen kesikli deney sonuçlarını göstermektedir. Karbon kaynağı olarak metanolun ve asetatın kullanıldığı setlerde denitrifikasyon hızlarının daha yüksek olduğı tespit edilmiştir (Şekil 4). Şahit numune ile yürütölen deney sonucunda karbon kaynağı ilavesinin gerekliliğı ve glüközün ise etkili olmadığı görölmüştür. Karbon kaynağı olarak asetata göre



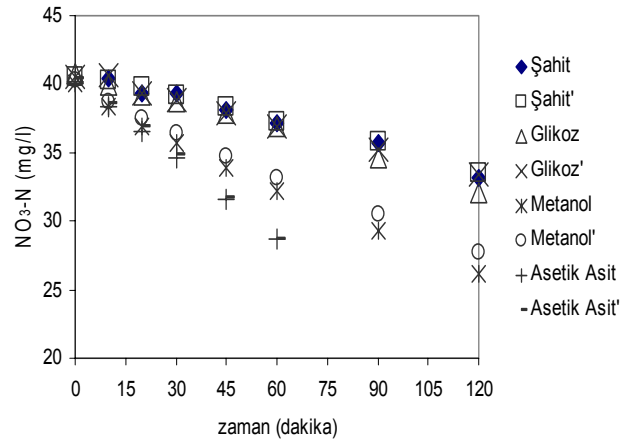
Şekil 2. Reaktörün azot giderme performansı



Şekil 3. 50'inci gündeki çevrim içi performansı



Şekil 4a. Kesikli denitrifikasyon deneyi



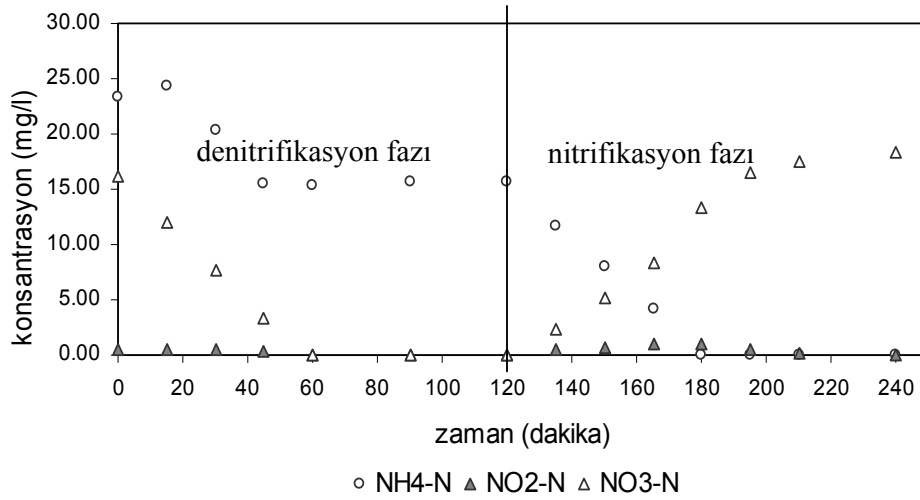
Şekil 4b. Kesikli denitrifikasyon deneyi

maliyetinin düşük olması nedeniyle metanol kullanılmasına karar verilmiştir. Bununla birlikte hesaplanan teorik değer yeterli olmadığından metanol ilavesi 1.5 kat artırılmıştır. Bu artış sonucunda azot giderme verimi %53'den %90'a, denitrifikasyon hızı 37'inci günde 22 mg/l-gün'den 254 mg/l-gün'e, 57'inci günde ise 414 mg/l-gün'e yükselmiştir.

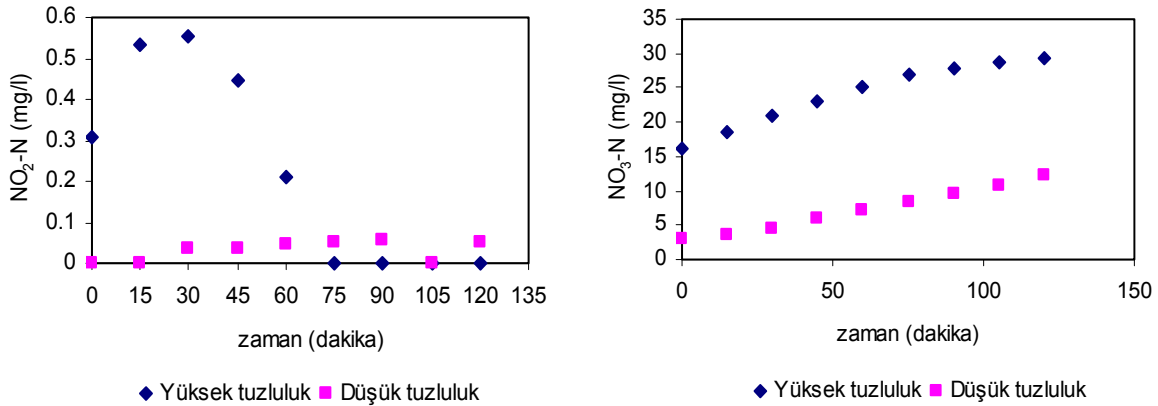
Reaktörün 57'inci işletme gününde, çevrim içi performansını değerlendirmek amacıyla 4 saatlik çevrim süresinde yürütülen kesikli deney sonuçları Şekil 5'de gösterilmiştir. Deney sonucunda fazla çamurun atılması, metanol ilavesinin ve azot yüklemesinin artması ile nitrifikasyon denitrifikasyon proseslerinin iyileşerek %95 verimle toplam azot gideriminin sağlandığı belirlenmiştir.

### Tuzluluğun etkisi

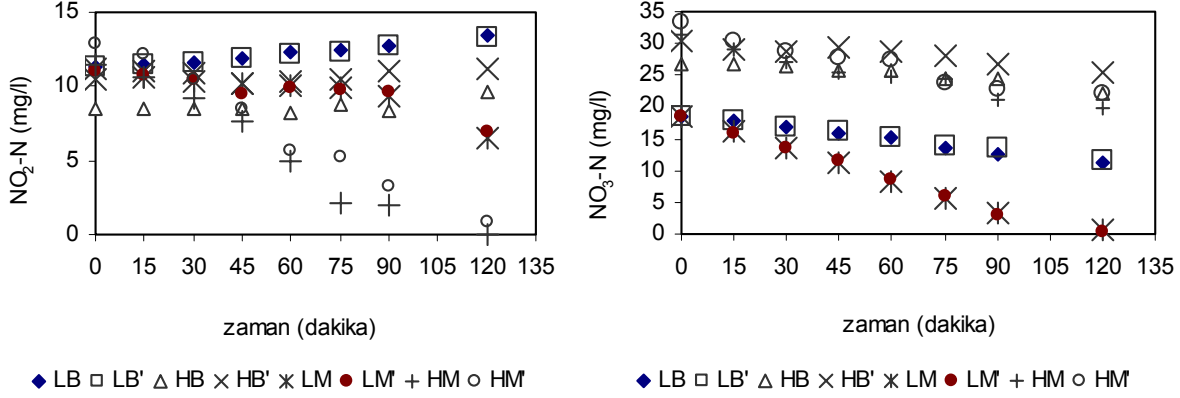
Aktif çamur üzerine tuzluluğun etkisi kesikli denitrifikasyon ve nitrifikasyon deneyleri ile test edilmiştir. Şekil 6'da, tuzluluğun nitrifikasyon üzerine etkisi, Şekil 7'de ise denitrifikasyon üzerine etkisi gösterilmiştir. Yüksek tuzluluk örneği için reaktör çıkışı, düşük tuzluluk örneği için evsel atıksu arıtma tesisinden alınan aktif çamurun süzüntü fazı kullanıldığından giriş nitrit ve nitrat konsantrasyonları her iki set için farklıdır. Şekillerden de görüleceği gibi, nitrifikasyon hızı yüksek tuzluluk örneğinde daha yüksek ölçülmüştür. Dolayısıyla literatürdeki çalışmaların aksine, biyokütle için aşırı tuzlu ortama alıştırmış olması sonucunda tuzluluğun olumsuz etkisi gözlemlenmemiştir.



Şekil 5. 57'inci gündeki çevrim içi performansı



Şekil 6. Tuzluluğun nitrifikasyon performansı üzerine etkisi



Şekil 7. Tuzluluğun denitrifikasyon performansı üzerine etkisi

Tablo 5. Denitrifikasyon performansı

Numune	Denitrifikasyon hızı	Denitrifikasyon hızı
	NO <sub>3</sub> →NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub> →N <sub>2</sub>
Düşük tuzluluk-şahit (LB)	-0.0622	-0.0449
Yüksek tuzluluk-şahit (HB)	-0.0371	-0.0320
Düşük tuzluluk-metanol (LM)	-0.1566	-0.1864
Yüksek tuzluluk-metanol (HM)	-0.0949	-0.2017

Denitrifikasyon performansını değerlendirmek için her iki yüksek tuzluluk ve düşük tuzluluk örnekleri için metanol ve şahit deneyleri yürütülmüştür (Şekil 7). Deney sonuçları, yüksek tuzluluk içeren atıksuda karbon kaynağı olarak metanol kullanıldığında denitrifikasyon hızının düşük tuzluluğa göre çok daha yüksek olduğunu göstermiştir (Tablo 5).

## Sonuçlar

Bu çalışma sonucunda çapraz akışlı filtrasyon ile aşırı tuzlu atıksuda toplam azotun yüksek verimde giderilebileceği gösterilmiştir. Membran biyoreaktörlerin uzun çamur yaşlarında ve yüksek biyokütle konsantrasyonlarında işletilebilmesi sayesinde aktif çamur, aşırı tuzlu atıksuya alıştıırılarak halofilik (tuz seven) mikroorganizmalar ortamda baskın hale gelebilmiştir ve tuzluluğun azot giderme verimi üzerine olumsuz etkisi gözlemlenmemiştir.

Kesikli denitrifikasyon deneyleri sonucunda asetat ve metanolun karbon kaynağı olarak kullanılması sonucunda denitrifikasyon hızlarının daha

yüksek olduğu gözlemlenmiş, ancak maliyetinin daha düşük olması nedeniyle metanol kullanımına karar verilmiştir. Kesikli nitrifikasyon deneyi sonucunda da biyokütlenin aşırı tuzlu ortama alıştıırılmış olması sonucunda tuzluluğun olumsuz etkisi gözlemlenmemiştir. Literatürdeki çalışmalara benzer olarak denitrifikasyon prosesinde rol oynayan bakterilerin nitrifikasyonda rol alanlara göre daha yüksek toleransa sahip olduğu ve nitrifikasyon bakterilerinin tuzluluğa karşı çok daha hassas olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, toplam azot giderimi için optimum koşullar, çevrim içi analizler ve kesikli deneylerle belirlenerek toplam azot giderimi %95 verimle sağlanmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışma, Japan International Cooperation Agency (JICA) desteği ile “National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Ecological Control and Microbiology Group, Tsukuba”da gerçekleştirilmiştir.



## Kaynaklar

- Hamoda M. F. and Al-Attar M. S. (1995) Effects of high sodium chloride concentrations on activated sludge treatment, *Water Science and Technology*, **31**, 9, 61-72.
- Intrasungkha N., Keller J., Blackall L. (1999) Biological nutrient removal efficiency in treatment of saline wastewater, *Water Science and Technology*, **39**, 6, 183-190.
- Orhon, D, Artan, N. (1994) Modelling of Activated Sludge Systems, Lancaster, PA, Technomic Publishing Co. Inc., 589.
- Panswad T. and Anan C. (1999) Impact of high chloride wastewater on an anaerobic/anoxic/aerobic process with and without inoculation of chloride acclimated seeds, *Water Research*, **33**, 5, 1165-1172.
- Panswad T. ve Anan C. (1999) Specific oxygen, ammonia and nitrate uptake rates of a biological nutrient removal process treating elevated salinity wastewater, *Bioresource Technology*, **70**, 237-243.
- Sakairi M. A. C., Yasuda K., Matsumura M. (1996) Nitrogen removal in seawater using nitrifying and denitrifying bacteria immobilized in porous cellulose carrier, *Water Science and Technology*, **34**, 7-8, 267-274.
- Stephenson T., Judd S., Jefferson B., Brindle K. (2000) Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment, London, IWA Publishing.
- Suwa Y., Yamagishi T., Urushigawa Y., Hirai M. (1989) Simultaneous organic carbon removal – nitrification by an activated sludge process with cross-flow filtration, *Journal of fermentation and bioengineering*, **67**, 2, 119-125.
- Suwa Y., Suzuki T., Toyohara H., Yamagishi T., Urushigawa Y. (1992) Single-stage, single-sludge nitrogen removal by an activated sludge process with cross-flow filtration, *Water Research*, **26**, 9, 1149-1157.
- Yamagishi T., Leite J., Ueda S., Yamaguchi F., Suwa Y. (2001) Simultaneous removal of phenol and ammonia by an activated sludge process with cross-flow filtration, *Water Research*, **35**, 13, 3089-3096.