

İleri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde model bazlı proses optimizasyonu

Seval SÖZEN*, Derin ORHON, Emine UBAY ÇOKGÖR, Güçlü İNSEL, Özlem KARAHAN, Nevin YAĞCI, Serdar DOĞRUEL, Gülsüm Emel ZENGİN BALCI, Tuğba ÖLMEZ HANCI, Didem OKUTMAN TAŞ, Ebru DÜLEKGÜRGEN, Aslı Seyhan ÇIĞGIN, İlke PALA, Tuğçe KATIPOĞLU

İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Avrupa Birliği'ne uyum sürecinde ele alınan atık sorunu kapsamında, alıcı ortamlara yapılacak deşarjlarda konvansiyonal parametrelerin yanısıra azot ve fosfor (besi maddesi) parametrelerinin de belli standart değerlerin altına indirilmesi gerekli hale gelmiştir. Bu nedenle, "Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, 2006" ile uyum sürecinde olan ülkemizde azot ve fosfor standartları mevzuatımıza dâhil edilmiştir. "Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, 2006" kapsamında mevcut tesislerin besi maddesi giderimine yönelik olarak geliştirilmesi, yeni kurulacak tesislerin ise besi maddesi giderecek şekilde en uygun arıtma teknolojisi kavramı çerçevesinde boyutlandırılması gereklidir. Besi maddesi giderimine yönelik en uygun arıtma teknolojisi biyolojik prosesler, bunlar arasında en ekonomik çözüm ise aktif çamur sistemleri olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışma aktif çamur tesislerinin, Avrupa Birliği normlarında performansını sağlayabilecek optimum tasarım ve işletme süreçlerinin değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda, bir örnek olarak ele alınan İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nde mevcut durumda atıksu karakterizasyonu ve sistem performansı deneysel olarak belirlenmiş, elde edilen bilgiler kullanılarak sürekli kullanıma uygun olacak model-bazlı tasarım ile işletme simülasyon programları hazırlanmış ve işletme optimizasyonu çerçevesinde çıkış besi maddesi konsantrasyonlarının düşürülmesi amacıyla işletme senaryoları oluşturularak önerilerde bulunulmuştur. Yürütülen senaryo analizleri ile, havalandırma tanklarındaki çözünmüş oksijen seviyelerinin uygun ayarlanması, tesisin geri devir denitrifikasyonu prensibi yerine A^2O veya UCT tipi sistem şeklinde işletilmesi ile sistem veriminin artırılabilceği ve dolayısıyla çıkış besi maddesi konsantrasyonlarının azaltılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İleri biyolojik atıksu arıtma tesisi, atıksu karakterizasyonu, model-bazlı tasarım, işletme optimizasyonu.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Seval SÖZEN. sozens@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 65 44.

Bu makale İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen "İleri biyolojik atıksu arıtma tesislerinin tasarım kriterlerinin incelenmesi ve model bazlı proses optimizasyonu" başlıklı araştırma projesinden hazırlanmıştır. Makale metni 01.09.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 30.09.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.06.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Model based process optimization of enhanced wastewater treatment plants

Extended abstract

The Urban Wastewater Treatment Directive published in the Official Gazette No. 26047 of 08.01.2006 was adapted from the "The Council Directive (91/271/EEC)" concerning urban wastewater treatment was accepted in European Union Countries, which imposes enforcements about the collection and treatment of wastewater. This directive requires that also nitrogen and phosphorus (nutrients) to be removed together with the conventional parameters. In this context, it is very important to follow and apply the technological advances while the harmonization of legislations in Turkey with European Union Standards.

Mathematical models are frequently used for the design and optimum operation of wastewater treatment systems. In order to use the activated sludge models for the process design and control, it is crucial to understand the behavior of complex biological reactions under steady and dynamic conditions. The initial step for the use of models should be, a model calibration according to the data obtained from the treatment plant and an analysis of the behavior of the treatment plant under dynamic influent and environmental conditions (Vanrolleghem et al., 2003). After the calibration of the prepared model according to the operational conditions of the treatment plant, the model can be used for the optimization of the plant, meeting the effluent quality standards, minimizing operational costs and for developing appropriate process control strategies. On the other hand the effect of changes in the process conditions on the model stability should be taken into consideration (Insel et al., 2007).

The aim of this study was to evaluate the optimum design and operational criteria of advanced biological wastewater treatment plants by applying international monitoring and evaluation mechanisms that will increase the performance to norms required in the European Union. Accordingly, İSKİ Paşaköy Advanced Biological Wastewater Treatment Plant (ABWWTP) was chosen as a model plant and in the first stage on influent wastewater characterization, chemical oxygen demand (COD) fractionation and performance of the activated sludge system were experimentally determined.

In the second stage, using the dimensions of the İSKİ Paşaköy ABWWTP units and the experimentally determined operational parameters, model calibration studies were conducted. On this context, theoretical parameters of model-based design and operational simulation programs applied for the plant were evaluated.

In the last stage of the study, for operational optimization, according to the results obtained from the experimental and simulation studies conducted at İSKİ Paşaköy ABWWTP, operational scenarios were developed and suggestions were made.

In the scenario analysis reduction of effluent phosphorus and total nitrogen concentration was aimed and the effect of (i) the aeration system control, (ii) recycle denitrification (iii) influent VFA concentration was analyzed and the effect of (iv) different system configurations was evaluated.

The results of statistical data analysis of wastewater characterization studies conducted at İSKİ Paşaköy Advanced Biological Wastewater Treatment Plant aiming nitrogen and phosphorus removal revealed that due to low influent Chemical Oxygen Demand (COD), Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), Total Phosphorus (TP) and Volatile Fatty Acids (VFA) concentrations, high efficiencies of biological phosphorus removal was not achievable.

According to the scenario analysis performed for the treatment plant it has been concluded that it is possible to increase the removal efficiency of the system and achieve lower effluent total nitrogen and phosphorus concentrations by setting the dissolved oxygen levels to appropriate levels and operating the systems as an A^2O or a UCT type system instead of a recycle denitrification system.

It has been concluded that if the scenario analyses were applied it is not possible to meet the European Union Effluent Quality Standard of 1.0 mg/l for the phosphorus parameter. Experimental and model based studies have to be conducted for the installation of a fermentation process together with different system configurations that are required to meet the effluent quality standard by biological treatment.

Keywords: Paşaköy wastewater treatment plant, wastewater characterization, model based optimization, process control.

Giriş

Turizm potansiyelinin ve doğal güzelliklerin büyük bir kısmını barındıran ve bu özelliği ile ülke ekonomisine büyük katkıda bulunan bölgelerimizde atıksu sorunu, son yıllarda kirlenmeye paralel olarak güncellik kazanmakta ve bu sorunun çözümüne yönelik alternatifler büyük ilgi görmektedir. Turistik kıyı bölgelerimizde deniz ekosistem kalitesinin korunması, turizm ve sürdürülebilir kalkınma açısından önemi göz önüne alındığında, Türkiye'nin birçok bölgesinde öncelikli öneme sahiptir.

Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde 1991 yılında bu yana yürürlükte olan "Kentsel Atıksuların Arıtımı Direktifi (91/271/EEC)", Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından Türk mevzuatlarına uyarlanarak "Kentsel Atıksuların Arıtılması Yönetmeliği" adıyla 08 Ocak 2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik ile "Hassas Bölge" tanımını dâhilindeki tüm alıcı ortamlara yapılacak deşarjlarda konvansiyonal parametrelerin yanı sıra azot ve fosfor (besi maddesi) parametrelerinin de giderilmesi zorunlu kılınmıştır.

Ülkemizde Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde uygulanan ve atıksuların toplanması, arıtılması, uzaklaştırılması ile ilgili konularda çeşitli yaptırımlar getiren bu mevzuata uyum sağlayabilmesi için, mevzuatın gerektirdiği ölçüde arıtma yapılabilmesi ve bu kapsamda teknolojik gelişmelerin izlenmesi ve uygulanması büyük önem taşımaktadır.

Matematik modeller atıksu arıtma sistemlerinin tasarımı ve optimum koşullarda işletilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Modellerin kullanımını ilk aşamada, arıtma tesisinden elde edilen verilerle yürütülen model kalibrasyonu (model calibration) ile tesisin dinamik giriş ve çevresel koşullar altındaki davranışının incelenmesini hedeflemelidir (Vanrolleghem vd., 2003).

Oluşturulan model, ele alınan sistemin işletme koşullarına uygun olarak kalibre edildikten sonra arıtma tesisinin optimizasyonu, çıkış standartlarının sağlanması, işletme maliyetinin azaltılması, uygun proses kontrol stratejilerinin geliştiri-

lmesi amaçlarıyla kullanılabilir. Ancak, proses şartlarının değiştirilmesinin modelin güvenilirliğine etkisi de gözönüne alınmalıdır (Insel vd., 2007).

Aktif çamur sistemlerinin etkin olarak proses tasarımı ve kontrolünde kullanılabilmesi için kompleks yapıdaki biyolojik reaksiyonların denge ve dinamik koşullar altında davranışının anlaşılması gerekmektedir. Bunun için günümüzde azot ve fosfor giderimi yapan aktif çamur tesislerinin tasarımı, iletilmesi ve kontrolünde aktif çamur modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma ile ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinin, Avrupa Birliği normlarında performansını sağlayabilecek optimum tasarım ve işletme sürecinin, dünyada uygulanan izleme ve değerlendirme mekanizmalarının uyarlanması sureti ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu çerçevede, yürütülen çalışma bir örnek olarak seçilen İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nde (İBAAT), ilk aşamada, atıksu karakterizasyonu, kimyasal oksijen ihtiyacı fraksiyonasyonu ve aktif çamur sistemi performansı deneysel olarak belirlenmiştir.

İkinci aşamada ise İSKİ Paşaköy İBAAT ünite boyutları ve deneysel olarak belirlenen işletme parametreleri kullanılarak model kalibrasyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, tesis için uygulanan model-bazlı tasarım ile işletme simülasyon programlarının teorik parametreleri değerlendirilmiştir.

Çalışmanın son aşamasında ise, İSKİ Paşaköy İBAAT'nde gerçekleştirilen deney ve simülasyon sonuçları doğrultusunda, işletme optimizasyonuna yönelik olarak işletme senaryoları geliştirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Senaryo analizlerinde çıkış fosfor ve toplam azot parametrelerinin düşürülmesi amaçlanarak (i) havalandırma sisteminin kontrolü, (ii) geri devir denitrifikasyonunun etkisi (iii) giriş akımındaki uçucu yağ asidi konsantrasyonunun etkisi araştırılmış ve (iv) değişik sistem konfigürasyonlarının etkisi incelenmiştir.

Materyal ve yöntem

Tasarıma esas olacak verilerin elde edilmesi için atıksu karakterizasyonunun istatistiksel olarak değerlendirilmesi kapsamında, kurak hava debisini karakterize edici nitelikte kum tutucu çıkışından, haftanın her gününü kapsayacak biçimde farklı günlerde alınan 30 adet atıksu numunesi üzerinde detaylı bir karakterizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla alınan atıksu numuneleri, maksimum yük değerlerine karşılık gelen iki saatlik zaman diliminde 15'er dakikalık aralıklarla hazırlanan kompozit numunelerden oluşturulmuştur. Bu numunelerde, Uçucu Yağ Asidi (UYA), Toplam Kimyasal Oksijen İhtiyacı (TKOİ), Süzölmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (SKOİ), Çökelmiş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (Çök. KOİ), Askıda Katı Madde (AKM), Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM), Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), Amonyak Azotu (NH₄-N), Toplam Fosfor (TP), Orto-Fosfat (orto-P) ve Nitrat Azotu (NO₃-N) analizleri gerçekleştirilmiştir.

İSKİ Paşaköy İBAAT'nden alınan aktif çamur içindeki heterotrofik ve ototrofik biyokütle aktivitesini ölçülmesi amacı ile respirometrik analizler yürütülmüştür. Heterotrofik biyokütle aktivitesi oda sıcaklığında (20° C), Ekama ve diğerleri (1986) ve Insel ve diğerleri (2003) tarafından önerilen respirometrik bazlı yöntem ile ölçülmüştür. Ototrofik bakterilerin 20 °C'deki aktivitelerinin belirlenebilmesi amacıyla Spanjers ve Vanrolleghem (1995) tarafından önerilen respirometrik bazlı yöntem uygulanmıştır. Ra Combo-1000 respirometre cihazında yürütülen respirometrik deneyler atıksu arıtma tesisinin havalandırma reaktöründen alınan biyokütle numuneleri ile yürütülmüştür. Respirometrik profillerin modellenmesi ile biyokütle aktivitesi elde edilmiştir.

İSKİ Paşaköy İBAAT ünite boyutları ve deneysel olarak elde edilen işletme parametreleri WEST simülasyon programına tanımlanmış ve model kalibrasyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de İSKİ Paşaköy AAT'nin WEST programına tanımlanmış akım şeması gösterilmektedir.

Deneysel çalışmalarda Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ISO 6060 (1986) yöntemi uyarınca

gerçekleştirilmiştir. Diğer parametrelerin analizleri Standart Methodlar (APHA 2005)'da belirtildiği şekilde yapılmıştır. SKOİ, nitrat ve nitrit numuneleri 0.45 µm, UYA numuneleri ise 0.22 µm gözenek çapına sahip membran filtrelerden süzülerek elde edilmiştir. UYA analizleri Agilent 5890 model gaz kromatografında yürütülmüştür. Analizler için 30 m uzunluğunda, 1 µm kalınlığa sahip ve 0.53 mm delik genişlikli DB-FFAP kolon kullanılmıştır. Aseton ve çift distile su çözücü olarak kullanılırken, kuru hava, helyum ve hidrojen tüpleri ile de gaz sağlanmıştır. Nitrit ve nitrat analizleri, DIONEX ICS-1500 model iyon kromatografında yürütülmüştür.

Deneysel çalışma sonuçları

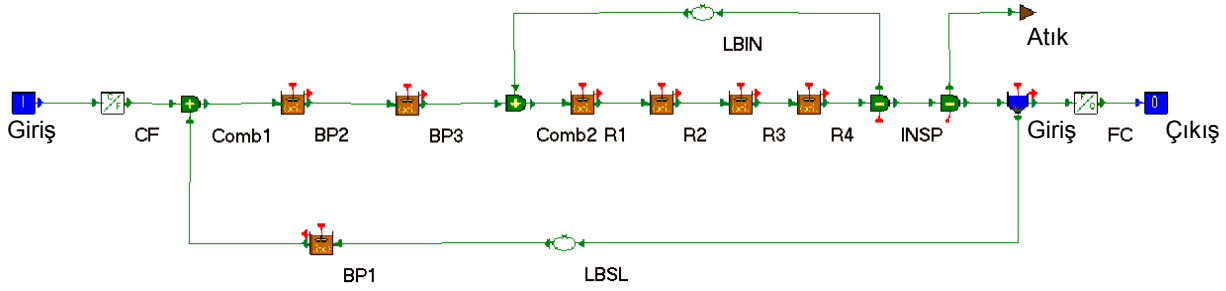
Atıksu karakterizasyonu

İSKİ Paşaköy İBAAT'nden alınan 30 adet numune üzerinde yürütülen deneyler sonucunda atıksu karakterizasyonu ve bu sonuçların istatistiksel değerlendirilmesi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Atıksu karakterizasyonu istatistiksel değerlendirmesi

Parametre	Ortalama (Ş)	Standart sapma (s)	Değişim katsayısı (s/Ş)
Debi, m ³ /gün	76206	5358	0.07
TKOİ, mg/L	670	134	0.20
Çök. KOİ, mg/L	409	98	0.24
SKOİ, mg/L	249	81	0.32
UYA, mg/L	21	6	0.29
TKN, mg/L	79	16	0.21
NH ₄ -N, mg/L	60	17	0.28
TP, mg/L	14.8	2.8	0.19
PO ₄ -P, mg/L	9.0	2.8	0.31
AKM, mg/L	464	199	0.43
UAKM, mg/L	294	68	0.23

Ortalama değeri 76206 m³/gün olan kurak havaya ait atıksu debisi incelendiğinde standart sapmasının 5358 m³/gün olduğu ve çok değişkenlik göstermediği gözlenmektedir. Kirletici parametreler istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde, sırasıyla 670±134 mgKOİ/L, 79±16 mgN/L, 14.8±2.8 mgP/L ve 21±6 mgKOİ/L seviyelerinde olduğu görülen KOİ, TKN, TP ve UYA seviyelerinin bi-



Şekil 1. İSKİ Paşaköy İBAAT-WEST simülasyon şeması

yolojik fosfor giderimi açısından oldukça düşük olduğu görülmektedir. Tablo 1'den kirletici parametrelerin arasında en çok değişim gösterenin AKM olduğu anlaşılmaktadır. UAKM parametresindeki değişim 294 ± 68 mg/L seviyesinde olup AKM parametresine göre daha az değişim göstermektedir. UAKM'den bağımsız olarak AKM parametresinin daha yüksek olması arıtma tesisine kum-silt gibi inert maddelerin geldiğinin göstergesidir.

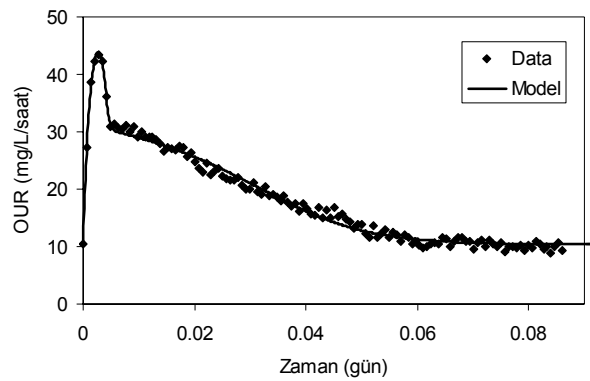
Model bazlı simülasyon çalışmaları

İSKİ Paşaköy İBAAT giriş atıksuyunun KOİ fraksiyonlarının, kinetik ve stokiyometrik parametrelerinin tespiti için İSKİ Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisi 24 saatlik kompozit kum tutucu çıkışından alınan ham atıksu ve havalandırma tankından alınan biyokütle ile organik karbon giderimi yapan bakteriler (heterotrofik) ve ototrofik (nitrifikasyon) bakteriler üzerinde respirometrik analizler yapılmıştır.

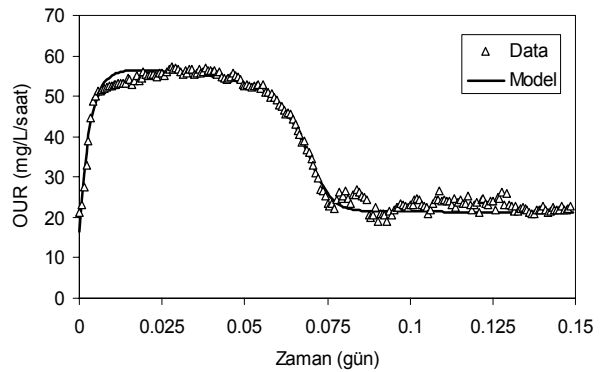
Respirometrik profillerin Aktif Çamur Model No.1 (ASM1) (Henze vd., 1987) modelleme yaklaşımıyla modellenmesi ile biyokütle aktivitesi ile birlikte modele ait stokiyometrik ve kinetik parametreler de belirlenmiştir. Şekil 2'de respirometrik deney sonuçları ve model kalibrasyonu ile elde edilen profiller verilmektedir.

Heterotrofik OTH profilinden hareketle, kolay ayrışan organik madde miktarı kompozit atıksu için 25 mg/L olarak bulunmuştur. Ham atıksuyun UYA içeriği de düşük seviyelerde olup, kolay ayrışabilen KOİ'nin hemen hemen tamamını oluşturmaktadır. Yavaş ayrışan organik madde fraksiyonu ise toplam atıksu KOİ'sinin

%84'ü mertebesinde olup KOİ fraksiyonlarının büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır.



(1)



(2)

Şekil 2. OTH profilleri ve model kalibrasyonu sonuçları (1) heterotrofik (2) ototrofik bakteriler

Tablo 2'de yürütülen respirometrik deney sonuçlarının modellenmesi sonucu elde edilmiş olan model kinetik ve stokiyometrik katsayılar verilmektedir. Belirlenen katsayılar evsel atıksuya ait literatür değerleri ile karşılaştırıldığında özellikle maksimum ototrofik çoğalma

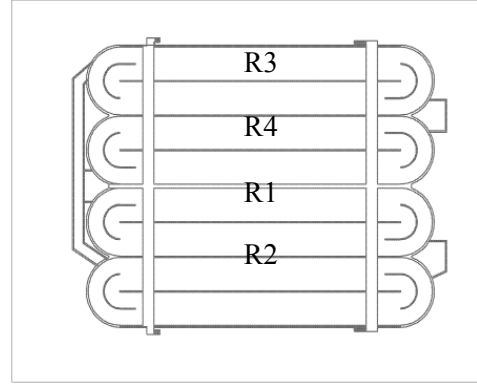
hızı, $\hat{\mu}_A$ ve maksimum hidroliz hızı, k_h düşük seviyelerdedir. Diğer model parametreleri ise literatürle uyum göstermektedir. Ototrofik bakterilerin aktivitesinin düşük olması arıtma tesisine zaman zaman ulaşan toksik maddelerin metabolizma üzerindeki olumsuz etkisi olarak yorumlanabilir.

Senaryo analizleri

Havalandırma sistemi kontrolü

Havalandırma tankı 4 adet biyoreaktörden ibaret olup ön denitrifikasyon ve simültane nitrifikasyon denitrifikasyon prensibine göre işletilmektedir. Atıksular öncelikle kum tutucu sonrasında anaerobik reaktörlerden sonra Şekil 3'ten verilen havalandırma tankına girmekte ve ile 1, 2, 3 ve 4 nolu tankları takip etmektedir. İçsel geri devir (nitrat geri devri) 4 nolu tanktan 1 nolu tanka yapılmaktadır. 3 ve 4 nolu tanklarda çözülmüş oksijen sürekli kontrol edilmektedir.

Tablo 3'te kalibrasyon için kullanılan veriler ve denge durumu koşullarında havalandırma tankı içerisinde çözülmüş oksijenin (ÇO) ayarlanması ile elde edilebilecek çıkış suyu kalitesini gösteren 3 ayrı senaryoya ait simülasyon sonuçları verilmektedir.



Şekil 3. Havalandırma tankı reaktör konfigürasyonu

Havalandırma tankı reaktörlerinin içinde ÇO konsantrasyonları ortalama değer olarak alınmıştır. Tanklara sağlanacak oksijen proses şartlarında hacimsel oksijen transfer katsayısı, K_{La} olarak gösterilmiştir. Özetle Senaryo 1 ve 2'de mevcut ön denitrifikasyon sistemine ek olarak ÇO konsantrasyonlarını ayarlayarak çıkış suyu kalitesi hesaplanmıştır. Diğer senaryoda ise içsel geri devir (IR) kaldırılarak simültane nitrifikasyon denitrifikasyon prosesi incelenmiştir.

Tablo 4'te elde edilen senaryo analizi simülasyon sonuçlarına göre ön denitrifikasyon prosesi-

Tablo 2. İSKİ Paşaköy İleri Atıksu Arıtma Tesisi için tahmin edilen parametreler (20 °C)

Parametre	Birim	Değer	Literatür
Heterotrofik biyokütle			
Maksimum heterotrofik çoğalma hızı, $\hat{\mu}_H$	gün ⁻¹	3.5	1.0-6.0
Heterotrofik yarı doygunluk sabiti, K_S	mgKOİ/L	4.0	0.3-20
Heterotrofik içsel solunum hızı, b_H	gün ⁻¹	0.20	0.10-0.25
Maksimum hidroliz hızı, k_h	gün ⁻¹	1.50	0.5-3.0
Hidroliz yarı doygunluk sabiti, K_X	gKOİ/gKOİ	0.02	0.005-0.30
Heterotrofik dönüşüm oranı, Y_H	gKOİ/gKOİ	0.58	0.40-0.70
Aktif heterotrofik biyokütle konsantrasyonu*	mgKOİ/L	2500	-
Ototrofik biyokütle			
Maksimum ototrofik çoğalma hızı, $\hat{\mu}_A$	gün ⁻¹	0.56	0.2-1.2
Ototrofik çoğalma yarı doygunluk sabiti, K_{NH}	mgKOİ/L	0.35	0.1-3.0
Ototrofik içsel solunum hızı, b_A	gün ⁻¹	0.15	0.05-0.17
Ototrofik dönüşüm oranı, Y_A	gKOİ/gN	0.24	0.10-0.25
Aktif ototrofik biyokütle konsantrasyonu*	mgKOİ/L	150	-

*Havalandırma tankı içindeki aktif biyokütle konsantrasyonu

Tablo 3. İSKİ Paşaköy İBAAT senaryo analizleri

Parametre	Birim	Mevcut durum	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Havalandırma tankı					
ÇO Konsantrasyonu					
R1	mgO ₂ /L	0.01	0.01	0.01	0.42
R2	mgO ₂ /L	0.73	1.81	0.90	0.44
R3	mgO ₂ /L	1.86	1.86	1.83	0.44
R4	mgO ₂ /L	2.10	0.30	0.80	0.48
Hacimsel oksijen transfer katsayısı, K _L a _r					
R1	mgO ₂ /L	-	-	-	130
R2	mgO ₂ /L	150	220	165	115
R3	mgO ₂ /L	190	190	190	100
R4	mgO ₂ /L	150	70	110	85
İçsel Geri Devir Oranı, IR					
Nitrat Tüketim Hızı, NTH	-	3.6	3.6	4.1	0.0
BP1					
R1	mgN/L/saat	8.0	5.9	6.7	2.8
R2	mgN/L/saat	6.4	5.2	6.1	2.7
R3	mgN/L/saat	1.7	0.8	1.6	2.5
R4	mgN/L/saat	0.8	0.8	0.8	1.8
R4					
R1	mgN/L/saat	0.6	3.3	1.6	8.5
Çıkış besi maddesi konsantrasyonu					
Amonyum Azotu	mgN/L	0.7	1.5	0.8	1.9
Nitrat Azotu	mgN/L	9.5	7.3	8.0	11.0
Toplam Azot	mgN/L	10.2	8.8	8.8	12.9
Orto-Fosfat	mgP/L	5.6	3.6	4.7	7.0

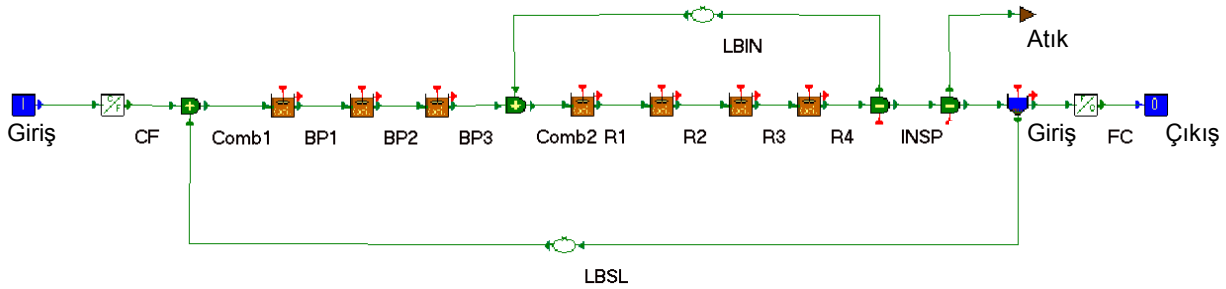
ne ek olarak havalandırma tanklarında oksijen seviyeleri ayarlanarak toplam azot ve fosfor giderimi iyileştirilmiştir. Özellikle ikinci reaktörde (R2) oksijen seviyesi artırılıp son reaktörde (R4) oksijen konsantrasyonu azaltılarak toplam denitrifikasyon verimi artırılmıştır. Mevcut durumda ve senaryolardaki Nitrat Tüketim Hızları (NTH) hesaplanmıştır. Denitrifikasyon veriminin artmasına paralel olarak biyolojik fosfor giderimi de iyileştirilmiştir.

Geri devir çamurunda denitrifikasyonun etkisi

İSKİ Paşaköy İBAAT, Geri Devir Çamurunun Denitrifikasyonu (GDÇD) için çalıştırılan BP1 tankının etkisini belirlemek için respirometrik

analizlerde elde edilen sonuçlar kullanarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Simülasyon diyagramı Şekil 4'te verilmektedir. Proseste işletme parametreleri ile ilgili bir değişiklik yapılmamıştır. Arıtma tesis işletme parametreleri, çıkış besi maddesi konsantrasyonları ile birlikte performans analizi Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 4'te görülen çıkış kalitesi değerlerine göre tesis standart A²O prensibine göre çalıştırıldığında biyolojik azot ve fosfor çıkış kalitesi iyileşmektedir. KOİ/TKN=10.5 oranının nispeten yüksek olmasından dolayı azot giderimi daha verimli sağlanmaktadır. Buna bağlı olarak aşırı biyolojik fosfor gideriminde iyileşme görülmektedir.



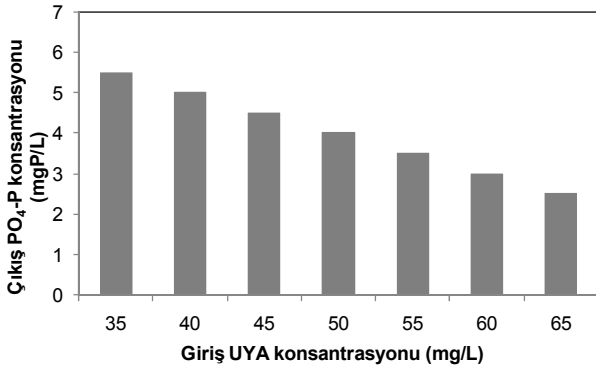
Şekil 4. İSKİ Paşaköy İleri Atıksu Arıtma Tesisinin geri denitrifikasyonsuz WEST işletme şeması

Tablo 4. GDÇD ve standart A²O prosesleri performans analizi

Parametre	Birim	GDÇD	Standart A ² O
BP1 Çıkış			
Amonyum Azotu, NH ₄ -N	mgN/L	1.9	28.8
Nitrat Azotu, NO ₃ -N	mgN/L	0.6	0.3
Orto-Fosfat, PO ₄ -P	mgP/L	8.1	11.8
BP3 Çıkış			
Amonyum Azotu, NH ₄ -N	mgN/L	30.7	30.8
Nitrat Azotu, NO ₃ -N	mgN/L	0.0	0.0
Orto-Fosfat, PO ₄ -P	mgP/L	24.0	25.5
Arıtma Çıkış Kalitesi			
Amonyum Azotu, NH ₄ -N	mgN/L	0.7	1.5
Nitrat Azotu, NO ₃ -N	mgN/L	9.5	7.0
Toplam Azot, TN	mgN/L	10.2	8.5
Orto-Fosfat, PO ₄ -P	mgP/L	5.6	4.5

Giriş akımındaki UYA konsantrasyonunun etkisi

Şekil 1’de verilen simülasyon akım diyagramı kullanılarak giriş atıksuyunda UYA konsantrasyonundaki değişimin çıkıştaki orto fosfat (PO₄-P) parametresine etkisi araştırılmıştır. Şekil 5’te giriş atıksuyundaki UYA konsantrasyonunu artırarak elde edilen çıkış PO₄-P parametresi diyagramı gösterilmiştir. Buna göre UYA’da her 10 mgKOİ/L artışı yaklaşık 1 mg/L fosfor giderimi sağlamıştır.



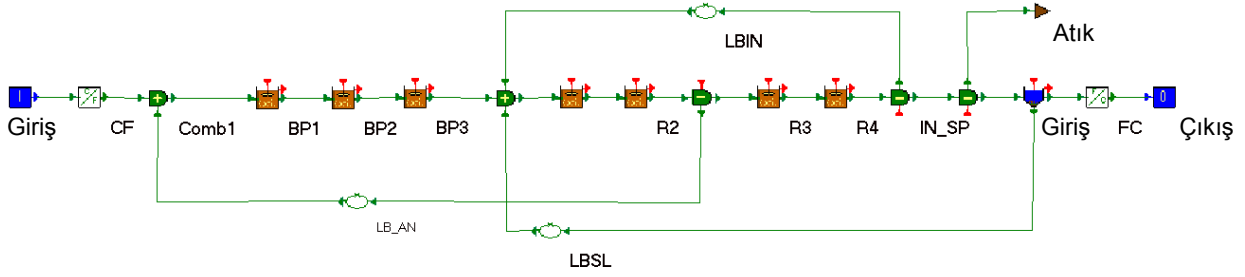
Şekil 5. Giriş atıksuyu UYA konsantrasyonunun çıkış PO₄-P kalitesine etkisi

Cokgor ve diğerleri (2006) tarafından İSKİ Ata-köy Atıksu Arıtma Tesisi’nden alınan atıksu numuneleri primer çamuru üzerinde yürütülen fermentasyon çalışmalarının sonucunda her 7.0 gr UAKM’den 1 g UYA elde edildiği tespit edilmiştir. İSKİ Paşaköy arıtma tesisi için benzer bir değerlendirme yapıldığında giriş atıksu

debisi Q=77000 m³/gün, UAKM konsantrasyonunu 275 mgUAKM/L olduğuna göre ön çökeltme işlemi uygulandığında ortalama %40 UAKM giderimde elde edilecek KM miktarı 8500 kg olmaktadır. Elde edilebilecek UYA miktarı günde 1210 kgKOİ/gün olmaktadır. Bu değer giriş atıksuyundaki UYA değerini ancak 15-20 mgKOİ/L arttırabilmektedir. Bu durumda ek olarak en fazla 1.5 mg/L fosfor giderimi sağlanabilir.

Mevcut sistemin UCT sistemi ile karşılaştırılması

İSKİ Paşaköy İBAAT’nin atıksu karakterizasyonu incelendiğinde ölçülen KOİ/TKN oranında University Cape Town (UCT) tipi aktif çamur konfigürasyonu önerilmektedir. Mevcut konfigürasyonun biyolojik nütrient giderimi performansı ile karşılaştırmak amacı ile tesis WEST bilgisayar programı kullanılarak UCT konfigürasyonunda simüle edilmiştir (Şekil 6). Bu konfigürasyonda çamur akımı ile gelen nitrat geri devri anoksik tanklara (R1, R2) yapılmaktadır. Bio-P tanklarına (BP1-BP3) çamur geri devri ise nitratın minimum seviyede olduğu anoksik tank çıkışından yapılmaktadır. Bu durumda geri devir denitrifikasyondan elde edilen avantaj bu prosesle kazanılmış olmaktadır. Aynı zamanda geri devir denitrifikasyonu sırasında nitratın tamamen tükenmesi sonucunda fosfor salımı da engellenmiş olmaktadır. Proses verimi incelendiğinde, UCT prosesi ile daha düşük çıkış toplam azot ve fosfor konsantrasyonlarının elde edilebileceği belirlenmiştir (Tablo 5).



Şekil 6. UCT Sisteminin WEST Programındaki Akım Şeması

Tablo 5. UCT sistemi sonuçlarının mevcut sistem ile karşılaştırılması

Parametre	Birim	Değer	
		GDÇD	UCT
Amonyum Azotu, NH ₄ -N	mgN/L	0.7	1.8
Nitrat Azotu, NO ₃ -N	mgN/L	9.5	6.7
Toplam Azot, TN	mgN/L	10.2	7.5
Orto-Fosfat, PO ₄ -P	mgP/L	5.6	3.7

Sonuçlar

Besi maddesi (azot ve fosfor) giderimini hedefleyen İSKİ Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nde yürütülen atıksu karakterizasyonu çalışmaları sonucunda elde edilen istatistiksel veriler incelendiğinde girişteki KOİ, TKN, TP ve UYA konsantrasyonlarının düşük olması nedeniyle biyolojik fosfor gideriminin verimli bir şekilde gerçekleştirilemediği tespit edilmiştir.

İSKİ Paşaköy İBAAT atıksuyuna ait kinetik ve stokitometrik katsayıların belirlenmesi amacıyla yürütülen respirometrik deney sonuçları modellenmiş ve belirlenen katsayılar evsel atıksuya ait literatür değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda, ototrofik bakterilerin aktivitesine ait katsayıların düşük olduğu ve bunun atıksu ile tesise ulaşan toksik maddelerin biyokütle üzerindeki olumsuz etkilerinden kaynaklandığı belirlenmiştir.

İSKİ Paşaköy İBAAT çıkış azot ve fosfor konsantrasyonlarının Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'ne uygun olarak iyileştirilmesi için arıtma tesisinin optimize edilmesi amacıyla model bazlı senaryo analizi sonuçları ve öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Havalandırma tanklarındaki çözünmüş oksijen seviyelerinin uygun ayarlanması ile tesisin azot ve fosfor giderim veriminin iyileştirilebileceği ve tesis çıkışında fosfat konsantrasyonunun 3.6 mgP/L mertebelerine indirilebileceği belirlenmiştir.
- Geri devir denitrifikasyonunun etkisi incelendiğinde tesisin standart A²O prensibine göre çalıştırılması durumunda azot ve fosfor çıkış kalitesinin iyileştirilebileceği belirlenmiştir. KOİ/TKN oranının yüksek tutulması ile azot giderim verimi ve buna bağlı olarak aşırı biyolojik fosfor giderim verimi artırılabilir. KOİ/TKN oranının düşük değerlere ulaşması ise, çıkış nitrat standardını tutturmada sıkıntı yaratacak ve çıkıştaki nitrat azotu konsantrasyonunun yükselmesi sonucunda biyolojik fosfor giderimi olumsuz etkilenecektir. Prosesin çevrimiçi ölçümlerle kontrol edilmesi önerilmektedir.
- Biyolojik fosfor giderimi için gerekli olan UYA seviyesi giriş atıksuyunda çok düşük seviyelerdedir (ortalama 20 mg/L). Giriş UYA seviyesinin düşük olması fosfor giderim veriminin az olmasına neden olmaktadır. Ancak, tesisin uçucu askıda katı madde konsantrasyonu dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda, sistemin UYA kon-

santrasyonunun artırılması durumunda mevcut koşullarda ek olarak en fazla 1.5 mg/L fosfor giderimi sağlanabileceği tespit edilmiştir.

- Atıksu arıtma tesisinin UCT tipi sistem şeklinde tasarlanması durumunda, çıkış toplam azot ve fosfor konsantrasyonları sırası ile 7.5 ve 3.7 mg/L seviyesine düşürülebileceği belirlenmiştir. Geri devir denitrifikasyonu yerine bu konfigürasyonun uygulanması durumunda nitratın tamamen tükenmesi ve paralel olarak fosfor salımının engellenmesi ile ek avantaj sağlanabileceği ortaya konulmuştur.

Sonuç olarak, önerilen senaryo analizlerinin uygulanması durumunda, çıkış azot konsantrasyonunun nüfusu 100 000 kişiden fazla olan yereleşim yerleri için Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği'nde verilen deşarj limiti olan 10.0 mg/L değerinin altına düşürülebileceği, ancak fosfor parametresi için deşarj limiti olan 1.0 mg/L değerinin sağlanamayacağı tespit edilmiştir. Bu standardın biyolojik arıtma ile sağlanabilmesi için fermentasyon prosesi ile birlikte değişik sistem konfigürasyonları için deneysel olarak ve model bazlı sistem optimizasyonu çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

- APHA, (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater, 21th Ed., Washington D.C.
- Cokgor, E.U., Zengin, G.E., Tas, D.O., Oktay, S., Randall, C.W. ve Orhon, D., (2006). Respirometric assessment of primary sludge fermentation products, *Journal of Environmental Engineering-ASCE*, **132**, 1, 68-74.

- Ekama, G.A., Dold, P.L. ve Marais, G.v.R., (1986). Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of heterotrophs in activated sludge systems, *Water Science and Technology*, **18**, 91-114.
- Henze, M., Grady C.P.L.Jr., Gujer, W., Marais, G.v.R. ve Matsuo, T., (1987). Activated sludge model No.1, IAWPRC Science and Technical Report No. 1, IAWPRC, London.
- Insel, G., Orhon, D. ve Vanrolleghem, P.A., (2003). Identification and modelling of aerobic hydrolysis mechanism-application of optimal experimental design, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **78**, 4, 437-445.
- Insel, G., Sin, G., Lee, D.S., De Pauw, D., Weijers, D. ve Vanrolleghem, P.A., (2007). Evaluation of prediction performance of ASM2d for an intermittently aerated carousel type EBPR plant after three years its calibration, 10th IWA Specialist Conference "Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, 9-13 Eylül, Vienna. .
- ISO 6060, International Standards Organization, Water Quality – Determination of the chemical oxygen demand, Ref.No. ISO 6060-1986.
- Kentsel Atıksuların Arıtılması Yönetmeliği, (2006). 08 Ocak 2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmi Gazete.
- Spanjers, H. ve Vanrolleghem, P.A., (1995). Respirometry as a tool for rapid characterization wastewater and activated sludge, *Water Science and Technology*, **31**, 2, 105-114.
- Vanrolleghem, P.A., Insel, G., Petersen, B., Sin, G., De Pauw, D., Nopens, I., Dovermann, H., Weijers, S. ve Gernaey, K., (2003). A comprehensive model calibration procedure for activated sludge models, *Proceedings, 76th Annual Technical Exhibition and Conference, October 11-15, 2003, Los Angeles, California U.S.A.*