

## AKTİF ÇAMUR PROSESTE AŞIRI ÇAMUR ÜRETİMİNİ AZALTMAK İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER

Engin GÜRTEKİN\*  
Nusret ŞEKERDAĞ\*

**Özet:** Aşırı çamur uzaklaştırılması ile ilgili çevresel kanunlar her geçen gün daha da kısıtlayıcı olmaktadır. Çamur ile ilgili problemlerin çözümünde en ideal yol, aktif çamur proseye oluşan aşırı çamuru arıtmaktansa proseye oluşan aşırı çamur üretimini azaltmaktır. Bu nedenle, aktif çamur prosesinde oluşan aşırı çamur üretimini azaltmak için yeni yöntemler ve teknolojiler geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu makalede, aşırı çamur üretimini azaltmak için kullanılan yöntemler verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aktif çamur proses, aşırı çamur, çamur azaltılması.

### The Methods Used For Reducing Excess Sludge Production in Activated Sludge Process

**Abstract:** The environmental laws connected with excess sludge production are being more and more stringent. An ideal way to solve sludge-associated problems is to reduce sludge production in the activated sludge process rather than the post-treatment of the sludge generated. Therefore, the development of innovative methods and technology for reducing excess sludge production in activated sludge process has to need. This article discusses the methods used for reducing excess sludge production in activated sludge process.

**Key Words:** Activated sludge process, excess sludge, sludge reduction.

## 1. GİRİŞ

Aktif çamur proses, farklı karakterizasyona sahip atıksuları arıtmak için kullanılmaktadır. Bu prosesin temel fonksiyonu, organik kirleticileri karbondioksit, su ve biyokütleyle dönüştürmektir. Biyokütle, arıtılmış sudan ayrılıp aşırı çamur denilen konsantre bir formda uzaklaştırılmaktadır. Aktif çamur proseye her mg biyokimyasal oksijen ihtiyacına (BOİ) karşılık 0.5 mg kuru ağırlıkta biyokütle oluşmaktadır. Aktif çamur proseye oluşan aşırı çamur ikincil bir katı olduğundan güvenli ve ekonomik bir yöntemle uzaklaştırılması gerekir. Aşırı çamur arıtımı, arıtma tesisinin toplam işletme maliyetinin %25-65'ne denk gelmektedir (Liu, 2003). Bu nedenle, aktif çamur proseye üretilen aşırı çamuru azaltmak için uygun yöntemler geliştirilmiştir. Bu makalede, aktif çamur proseye aşırı çamur üretimini azaltmak için kullanılan yöntemler incelenmiştir.

## 2. BİYOKÜTLE PARÇALANMASI

Biyokütle parçalanması prensibine dayanan uygulamalarda bakteri muhtevası dağılmaktadır. Bakteri muhtevası ikincil bir besi kaynağı durumunda olup bu besi kaynağı mikrobiyal metabolizmada yeniden kullanıldığında besi kaynağının bir kısmı karbondioksite dönüşmekte ve biyokütle sentezinde kullanılan besi miktarı azalmaktadır. Böylece, aktif çamur proseye oluşan aşırı çamur miktarı azalmaktadır. Kimyasal (ozon, klor), termokimyasal, mekanik ve enzimatik yöntemlerle aşırı çamur üretiminin azaltılması biyokütle parçalanması prensibine dayanmaktadır.

### 2.1. Ozon

Bu yöntemde aktif çamur prosesin geri devir hattına bir ozon ünitesi yerleştirilmektedir. Ozon ünitesinde ozonlanan aşırı çamur hem karbondioksit ve suya mineralize olmakta hem de biyolojik olarak arıtılabilen organikler haline dönüşmektedir. Ozon ünitesinden çıkan aşırı çamur havalandırma havuzuna beslenmektedir. Evsel ve endüstriyel atıksu arıtan tam ölçekli tesislerde, ozonla aşırı çamurun azaltılması için

\* Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ.

birçok çalışma yapılmıştır (Yasui ve diğ., 1994, Yasui ve diğ., 1996, Sakai ve diğ., 1997). Bu çalışmalarda, aşırı çamur üretilmediği gibi havalandırma havuzunda inorganik katı madde birikimi de önemsizdi.

Ozonlama ile aşırı çamur üretiminin azaltılmasının maliyeti yüksektir. Çünkü ozon üretimi için çok enerji gereklidir. Ancak, klasik aktif çamur prosete aşırı çamuru uzaklaştırmak için kullanılan çamur ünitesinin (yoğunlaştırma, çürütme, v.b.) ve kullanılan kimyasalların maliyeti dikkate alındığında ozon yönteminin maliyeti daha azdır (Liu, 2003). Ozon maliyetini azaltmak için, Kamiya ve Hirotsuji (1998) tarafından sürekli ozonlama yerine kesikli ozonlama kullanıldı. Bu çalışmada, sürekli ozonlama için kullanılan ozon miktarının % 30'u ile % 50 çamur üretiminde azalma sağlanmış ve aynı zamanda çamur çökeltme karakteristiğinde iyileşme gözlenmiştir. Lee ve diğ. (2005) değişken organik yük ve sıcaklıkta aktif çamur prosete aşırı çamur üretilmemesi için çamurun dinamik olarak ozonlamasını gerektiğini savundular.

Ozon ile aktif çamur prosesin kombinasyonu aşırı çamur üretiminin azaltılmasında ve çamur çökeltme karakteristiğinin iyileşmesinde yararlı bir teknolojidir. Ancak, ozon seçici bir oksitleyici olmayıp farklı maddelerle reaksiyona girmekte ve aktif çamurun oksidasyon verimini azaltmaktadır. Ozonlama ile parçalanamayan organikler oluşmakta ve bunların toksisitesi problemlere neden olmaktadır. Ayrıca, ozonlamanın etkinliği aktif çamurun yapısına ve işletme şartlarına bağlı olup, ozon dozlama optimizasyonu ve dozlama modu seçimi çok zor olmaktadır (Liu, 2003).

## **2.2. Klor**

Ozonlama ile aşırı çamur üretiminin azaltılmasında maliyet yüksek olduğundan, Saby ve diğ. (2002) ozona alternatif olarak kloru kullanmışlardır. Bu yöntem, çalışma prensibi olarak ozon yöntemine benzemektedir. Klor ile aktif çamur proses kombinasyonunda aşırı çamur üretiminde % 65 azalma sağlanmıştır. Klor, ozon yöntemiyle karşılaştırıldığında maliyet bakımından avantajlıdır. Ancak, klor zayıf bir oksitleyici olduğundan kullanılan miktar ozonla karşılaştırıldığında daha yüksektir. Klorlama, trihalometan oluşumu, çamur karakteristiğinde bozulma ve aktif çamur proses çıkışında çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacında artış gibi dezavantajlara sahiptir (Wei ve diğ., 2003). Bu dezavantajlar, klasik çökeltme havuzları yerine membran ünitesi kullanılarak giderilebilmektedir (Liu, 2003).

## **2.3. Termokimyasal**

Aşırı çamur üretimini azaltmak için yüksek sıcaklık ve yüksek sıcaklıkla asit veya baz kombinasyonu birlikte kullanılabilir. Rocher ve diğ. (1999) tarafından yapılan bir çalışmada, 60 °C ve 20 dakikalık bekletme sonunda mikroorganizma bünyesinde maksimum salınabilir karbonun % 80'e ulaştığını ve termokimyasal hidrolizde sodyum hidroksitinin etkili kimyasal olduğunu belirtmişlerdir. Canales ve diğ. (1994) tarafından yapılan çalışmada geri devir çamurunu termal arıtıma (90 °C ve 3 saat bekleme zamanı) maruz bırakarak yaklaşık %60 çamur üretiminde azalma elde ettiler.

Termal ve termokimyasal yöntem; korozyon, koku, çıkışta yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı, yüksek dayanımlı malzeme gereksinimi, yedek parça ve bakım maliyetinin yüksek olması gibi dezavantajlara sahiptir. Ancak, son yıllarda aşırı çamur üretiminin azaltılması, hijyenizasyon, karbon kaynağı üretimi, biyogaz üretimi ve fosfat kazanımı gibi konulardan dolayı bu yöntem yeniden bir yönelim söz konusudur (Ødegaard ve diğ., 2004).

## **2.4. Mekanik**

Mekanik yöntem ile, mikroorganizma hücrelerine basınç uygulanmaktadır. Uygulanan basınç, hücre iç basıncından yüksek olması halinde mikroorganizma parçalanmaktadır. Çamurun mekanik olarak parçalanması, değişik endüstriyel ölçekteki başarılı uygulamalarından dolayı önem kazanmıştır. Karıştırmalı reaktör, ultrasonik parçalayıcı ve yüksek basınçlı homojenleştirici gibi mekanik metotlar bulunmaktadır (Ødegaard ve diğ., 2004).

## **2.5. Enzimatik**

Enzimler sayesinde hücre duvarını oluşturan bileşikler parçalanmakta ve bu sayede çamur üretimi azalmaktadır. Ancak, bu yöntemin dezavantajı enzimlerin pahalı oluşudur. Enzim yöntemi mekanik yöntemden sonra uygulanırsa aşırı çamur azalması verimini daha da artırabilir.

## **3. ENERJİ AYRIMI**

Metabolizma, anabolizma ve katabolizma reaksiyonlarını içine alan biyokimyasal dönüşümlerin toplamıdır. Aşırı çamur üretimi direkt olarak katabolizma ile üretilen enerji miktarına bağlıdır. Ancak

metabolik ayırıcılar, ağır metal, anormal sıcaklık ve anaerobik-aerobik devir gibi bazı şartlarda katabolizmadan anabolizmaya olan enerji aktarımı azalmaktadır (Liu ve Tay, 2001). Böylece biyokütle sentezi ve dolayısıyla aşırı çamur üretimi azalmaktadır.

### 3.1. Metabolik ayırıcılar

Nitrofenol, klorofenol, 3,3',4',5-tetraklorosalisilanilit (TCS), karbonilsiyanit-p-trifluorometoksifenilhidrazon, kresol, aminofenol gibi çok sayıda metabolik ayırıcı aktif çamur proste aşırı çamur üretimini azaltmak için denenmiştir. Strand ve diğ. (1999) aktif çamur proste aşırı çamur üretimini azaltmak için 12 farklı metabolik ayırıcı kullanmışlar ve 2,4,5-triklorofenolün (TCP) en etkili metabolik ayırıcı olduğunu bulmuşlardır. Chen ve diğ. (2002) 0.8 mg/L TCS konsantrasyonunda % 40 çamur üretiminde azalma olduğunu ve besi maddesi giderme veriminin etkilenmediğini tespit etmişlerdir. Yang ve diğ. (2003) aşırı çamur üretiminin azaltılmasında dört metabolik ayırıcının (p-klorofenol, m-klorofenol, m-nitrofenol ve o-nitrofenol) etkisini karşılaştırdı. m-klorofenolün çamur üretiminin azaltılmasında en etkili ve proses verimine ise en az etki eden metabolik ayırıcı olduğunu belirlemişlerdir. Metabolik ayırıcılar arasında TCS çevresel açıdan daha uygundur. Çünkü sabun, saç boyası, şampuan gibi birçok maddenin içeriğinde bulunmaktadır. Liu (2000) aşırı çamur üretiminin azaltılmasında metabolik ayırıcının konsantrasyonundan ziyade metabolik ayırıcı konsantrasyonunun biyokütle konsantrasyonuna oranının metabolik ayırıcıların etkisini belirlemede daha uygun olacağını belirlemiştir.

Besi ortamı, pH, bakterilerin farklı tipteki metabolik ayırıcılara olan duyarlılığı, mikroorganizmaların fizyolojik ve aktif olma durumu gibi birçok faktör metabolik ayırıcıların aşırı çamur üretiminin azaltılmasındaki verimini etkilemektedir (Liu, 2003).

Metabolik ayırıcıların çevreye zararlı olması, çözülmüş oksijen tüketiminde artışa neden olması, mikroorganizmaların uzun zaman diliminde metabolik ayırıcılara aklime olması, çamur çökme karakteristiğinde bozulma ve kimyasal oksijen gideriminde azalma gibi dezavantajlara sahiptir. Saf oksijen havalandırma aktif çamur prosesle metabolik ayırıcıların birlikte kullanımı aşırı oksijen tüketimi için alternatif bir çözüm olabilir (Liu, 2003). Yapılan çalışmalarda, metabolik ayırıcıların sürekli dozlanması söz konusudur. Dozlama biçiminde yapılacak değişikliklerin etkileri de araştırılmalıdır (Wei, 2003).

## 4. İŞLETME ŞARTLARI

### 4.1.Çözünmüş Oksijen

Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun yüksek olması halinde aşırı çamur üretimi azalmaktadır. Ancak, aşırı çamur üretiminin yüksek çözünmüş oksijen konsantrasyonu ile azaltılmasının mekanizması henüz açıklanamamıştır. Yüksek çözünmüş oksijenle aşırı çamur üretiminin azaltılması için iki hipotez sunulmuştur. Birinci hipotezde, yüksek çözünmüş oksijen konsantrasyonunun aktif biyokütleyi artırdığı savunulmaktadır. Dolayısıyla aktif çamur proste çamur yükü azalmakta ve daha düşük çamur üretilmektedir. İkinci hipotezde, yüksek çözünmüş oksijen konsantrasyonunun çamur flokları içerisindeki aerobik hacmin büyümesini sağlayan bir derin difüzyon olayını gerçekleştirdiği savunulmaktadır. Flok içerisinde hidroliz olan biyokütle aerobik olarak ayrışır ve oluşan çamur miktarı azalır (Liu ve Tay, 2001). Abbasi ve diğ. (2000) çözünmüş oksijen konsantrasyonunu 1.8'den 6 mg/L'ye çıkararak çamur üretiminde yaklaşık % 25 azalma elde etmişlerdir. Jung ve diğ. (2006) çamur üretimine kesikli havalandırmanın etkisini belirlemek için yaptığı kesikli deneylerde daha kısa işletme çevrim süresinin çamur üretiminin azaltılmasında daha etkili olduğunu belirlemişlerdir.

Yüksek çözünmüş oksijenin; filamentli bakteri büyümesinin önlenmesi, havalandırma havuzunda daha yüksek biyokütle temini, daha iyi çökelebilen çamur elde edilmesi, daha az çamur üretimi, yüksek oksijen transfer verimi ve daha stabil işletme gibi birçok avantajı vardır (Liu, 2003). Ancak havalandırma havuzuna oksijen temini aktif çamur prosesin toplam enerji gereksiniminin % 50'sinden daha fazla tekabül etmektedir. Dolayısıyla çamur üretimini azaltmak için çözünmüş oksijen konsantrasyonunun artırılması maliyeti artıracaktır.

### 4.2. Çamur Yaşı

Çamur yaşı, mikroorganizmaların aktif çamur proste kaldıkları zaman olarak tanımlanır. Mikroorganizmalar üreme yerine yaşam fonksiyonlarını devam ettirmeyi tercih etmektedirler. Yüksek çamur yaşına bağlı olarak mikroorganizmaların elde ettiği besi maddesi azalmakta ve mikroorganizma hücrelerinin muhafazası için kullanılan enerji ve mikroorganizmaların kendi hücrelerini sindirmelerinde (iç solunum) artış meydana gelmektedir. İç solunum sonucu, prosese giren besi maddesi karbondioksit ve suya

dönüşmekte ve proseste aşırı çamur üretimi azalmaktadır. Çamur yaşındaki artışa bağlı olarak proseste biyokütle konsantrasyonu artmaktadır. Low ve Chase (1999a) tarafından yapılan çalışmada biyokütle konsantrasyonunun 3'den 6 mg/L'ye artırılmasıyla % 12 ve 1.7'den 10.3 mg/L'ye artırılmasıyla % 44 aşırı çamur üretiminde azalma elde etmişlerdir.

#### 4.3. pH

Evsel atıksu arıtımında kullanılan aktif çamur prosesler için optimum pH aralığı 7.0-7.5 aralığındadır. pH, aktif çamur proseste aşırı çamur üretiminin azaltılmasında etkili bir parametre değildir. Ancak, metabolik ayırıcı ve termokimyasal gibi yöntemlerin etkinliği uygun pH seçimi ile artmaktadır. Low ve Chase (1998) tarafından çalışmada 100 mg/L paranitrofenol ilavesinde pH 7.0'den 6.2'ye düşürüldüğünde biyokütle azalımı % 62'den % 77'ye artmıştır. Termokimyasal yöntemde ise, yüksek pH ile termal arıtımın kombinasyonu biyokütle arıtımında daha etkilidir (Rocher ve diğ., 1999).

#### 4.4. Sıcaklık

Aktif çamur proseste biyolojik reaksiyon hızları sıcaklığa bağlıdır. Yüksek sıcaklık çamur üretiminin azaltılmasında etkili bir faktördür. Tian ve diğ. (1994) 8°C sıcaklıkta çamur üretiminin 20°C göre %12-20 daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Düşük sıcaklıkta daha yüksek çamur üretimi flok içinde organik formda hücre protoplazmasının birikmesinden kaynaklanmaktadır (Lishman ve diğ., 2000).

#### 4.5. Aşırı karbon

Birçok bakteri türü, aşırı karbon ve sınırlı nutrientin bulunduğu şartlarda aşırı metabolit üretmektedirler. Aynı zamanda, bakterilerin karbon alım hızı ve karbondioksit oluşumu artmakta ve biyokütle üretimi azalmaktadır. Aşırı karbon şartlarında, biyokütle üretiminin azalması durumu için iki olasılık üzerinde durulmaktadır. Birinci olasılık, proton ve K<sup>+</sup> gibi iyonların sitoplazma membran potansiyelini zayıflatması ve enerji ayırımına neden olmasıdır. İkinci olasılık, organizmaların metabolik reaksiyon yolunu değiştirmesidir (Low ve Chase, 1999b).

Genel olarak, aktif çamur proseste karbon hücre büyümesi için sınırlayıcı durumdadır. Bu yöntem, nutrientin sınırlı olduğu endüstriyel atıksuların biyolojik arıtımında uygulanabilir. Ancak, karbon konsantrasyonunu gerekli olan değer altına indirmek için ilave arıtım gerekecektir (Low ve Chase, 1999b).

#### 4.6. Mikroorganizma

Aktif çamur proseste, bakteri dışında protozoa, metaoza ve kurt gibi birçok organizma bulunabilmektedir. Aktif çamur proseste aşırı çamur üretimini azaltmak için bakteri ile beslenen protozoa, metaoza ve kurt gibi organizmaların sayısı artırılabilir. Çünkü bakteri ile daha yüksek organizmalar (protozoa, metaoza ve kurt gibi) arasındaki besi zincirinde enerji kaybı meydana gelmektedir. Bu enerji kaybının maksimum olması halinde çamur üretimi de minimum olmaktadır. Aktif çamur proseste protozoa ve metazoa'nın bulunması halinde iyi bir çıkış elde edildiği bilinmektedir. Son yıllarda ise, bunların çamur üretiminin azaltılmasında üstlendikleri rol üzerinde durulmaktadır. Ratsak ve diğ. (1994) tarafından yapılan çalışmada *P. fluorescens* ile beslenen *T. pyriformis* ile biyokütle üretiminde %12-43 azalma sağlanmıştır.

Kurtlar ise aktif çamur proseste gözlenen en büyük organizmalardır. Kurtlar, aktif çamur proseste aşırı çamur üretiminin azaltılmasında etkili organizmalardır. Ancak, aktif çamur proseste kurtların gelişimini sağlayan işletme şartları halihazırda bilinmemektedir. Özellikle tam ölçekli aktif çamur proseste, uzun zaman diliminde kurtların büyümesinin stabilize edilememesi bu yöntemin dezavantajıdır. Wei ve diğ. (2003) membran ve aktif çamur proses kullanarak kurtlar ile çamur üretiminin azaltılmasını karşılaştırdılar. Aktif çamur proseste kurt sayısı daha fazlaydı. Aktif çamur proseste kurt sayısı 71 toplam kurt/mg uçucu katı madde (UKM) iken membran proseste 10 toplam kurt/mg UKM'dir. Membran reaktörde kurtların çamur azalmasında ve çamur çökmesinde bir etkisi yoktur. Fakat, aktif çamur proseste kurtlar çamur üretimini azaltmış ve çamur çökme özelliğini iyileştirmişlerdir. Aktif çamur proseste çamur oluşumu (0.17 kg askıda katı madde (AKM)/kg kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)) ve çamur hacim indeksi (60 ml/g) membran prosesten çok daha düşüktür (0.40 kgAKM/kgKOİ, 133 ml/g). Her iki reaktörde kurt büyümesine sekiz işletme parametresinin (AKM, hidrolik bekleme zamanı (HRT), çamur yaşı (SRT), çamur yükü (F/M), geri devir oranı, sıcaklık, pH ve çözünmüş oksijen) etkisi de araştırıldı. Membran reaktörde kurt büyümesini etkilemeyen tek parametre F/M oranı iken aktif çamur proseste SRT idi. Liang ve diğ. (2006) dört mikrofauna (*aeolosoma hemprichi*, *daphnia magna*, *tubifex tubifex* ve *physa acuta*) ile yaptığı çalışmada, çamur indirgeme oranlarını sırasıyla 0.8, 0.18, 0.54 ve 0.1 mg çamur/mg fauna olarak bulmuşlardır. Liang ve diğ. (2005) bir mikrofauna (*aeolosoma hemprichi*) aşıladığı aktif çamur proseste yaptığı çalışmada %39-65 çamur azalması elde ettiler.

## 5. PROSES BİÇİMİ

### 5.1. OSA proses

Bu prosesin aktif çamur prosesden farkı geri devir hattına bir anaerobik veya anoksik reaktör yerleştirilmesidir. Bu prosesle aşırı çamur üretimi azalmaktadır. Chudoba ve diğ. (1992a, 1992b) OSA prosesle aşırı çamur üretiminin azaltılmasını enerji ayrımı yöntemine göre açıklamışlardır. Buna göre, mikroorganizmalar besi maddesi olmayan anaerobik şartlara maruz bırakıldıklarında enerji üretmediklerinden enerji kaynağı olarak kendi enerji rezervlerini kullanırlar. Mikroorganizmalar, aerobik reaktöre geri devir ettirildiğinde hücre sentezinden önce anaerobik reaktörde harcadıkları enerjilerini yeniden depolarlar. Bu durumda, besi maddesi katabolizma için kullanılmakta ve katabolizma ile anabolizma arasında enerji dengesizliği meydana gelmektedir. Böylece aşırı çamur üretimi azalmaktadır. OSA prosesle aktif çamur proses karşılaştırıldığında, biyokütle üretimi sırasıyla 0.13-0.29 kgAKM/kgKOİ ve 0.28-0.47 kgAKM/kgKOİ olarak bulunmuştur (Chudoba ve diğ. 1992a, 1992b). Chen ve diğ. (2001, 2003) OSA prosesle aşırı çamur üretimini azaltılmasında enerji ayrımının, yavaş büyüyen mikroorganizma türlerinin ve çözünmüş mikrobiyal ürünlerin etkisinin olmadığını belirlemişlerdir. Çamur üretiminin anaerobik veya anoksik reaktörde düşük ORP (oksidasyon-indirgeme potansiyeli) sayesinde biyokütlenin parçalanması yöntemine göre azaldığını savunmuşlardır. Saby ve diğ. (2003) OSA prosesin anaerobik reaktöründe ORP değerinin -250 mV olması halinde, +100 mV olması durumuna göre % 36 ve aktif çamur prosesine göre % 58 aşırı çamur üretiminin azaldığını belirlemişlerdir. Lishman ve diğ. (2000) anoksik ve aerobik ardışık kesikli reaktör kullanarak yaptıkları çalışmada, aerobik reaktörde çamur oluşumunun %25-32 daha düşük olduğunu ve bunun bakteri ile beslenen protozoa ve metazoza'dan kaynaklandığını savunmuşlardır. Bu nedenle, OSA prosesle aşırı çamur üretiminin azaltılmasında etkili olan mekanizma araştırılmalıdır.

OSA proses, aşırı çamur üretiminde azalma, KOİ gideriminde ve çamurun çökebilme kapasitesinde iyileşme gibi avantajlara sahiptir.

### 5.2. Membran reaktör

Membran reaktörler yüksek çamur yaşında işletilebilmektedir. Çünkü, çıkış suyu ile çamuru ayırmak için çökeltme havuzu yerine membran kullanarak çamur bekleme zamanı hidrolik bekleme zamanından bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir. Yüksek çamur yaşı membran reaktörlerin daha yüksek çamur konsantrasyonlarında işletilmesine olanak sağlamaktadır. Reaktörde yüksek çamur konsantrasyonu nedeniyle çamur yükü daha düşük olmaktadır. Mikroorganizmalar, besi maddesinin çoğunu yaşamlarının devamı için kullanmakta ve bu nedenle üremeleri kısıtlı hale gelmektedir. Bu şekilde, aşırı çamur üretimi olmaz veya oldukça azalır (Wei ve diğ., 2003).

Membran reaktörler, aktif çamur prosesle karşılaştırıldığında, mükemmel çıkış kalitesi, daha az çamur üretimi, işletme kolaylığı gibi avantajlara sahiptir. Ancak, membran reaktörler oluşan çamurun çok zor çökmesi ve susuzlaştırılması, reaktörde oksijen yetersizliği ve membran tıkanması gibi dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle, membran reaktörleri tam çamur yaşında işletmek uygun değildir (Wei ve diğ., 2003).

### 5.3. İki kademe sistem

Aktif çamur prosesle, protozoa ve metazoza'nın bulunması disperse bakterinin büyümesini engellemekte ve bunun yanında protozoa ve metazoza'nın bakteri ile beslenmesini zorlaştıran flok veya film oluşturan bakteriler gelişmektedir. Bundan dolayı, iki kademeli sistemler geliştirilmiştir. Birinci kademe, disperse bakterinin gelişimi için kısa çamur bekletme zamanında işletilir. İkinci kademe, protozoa ve metazoza'nın gelişmesi için uzun çamur bekleme zamanında işletilmektedir. Lee ve Welander (1996) iki kademeli sistem kullanarak çamur üretiminde %60-80 azalma elde etmişlerdir. Ghyoot ve diğ. (2000) ikinci kademeyi aktif çamur ve membran olarak projelendirerek iki kademeli sistemde yaptıkları çalışmada, membranlı iki kademe sistemde %20-30 daha düşük çamur oluşumu elde ettiler. Bunun nedeni olarak membran reaktörde daha fazla protozoa ve metazoza'nın bulunmasını gösterdiler. Ancak, nitrifikasyon kapasitesi azalmış, azot ve fosfor konsantrasyonu da artmıştır.

### 5.4. Anaerobik reaktör

Anaerobik reaktör atıksu arıtımında kullanıldığında aerobik reaktöre göre daha az biyokütle oluşmakta ve yan ürün olarak metan gazı oluşmaktadır. Ancak anaerobik reaktörün yüksek konsantrasyonda organik kirleticilerin arıtımında kullanılması ve işletme kontrolünün çok daha önemli olması bu reaktörün dezavantajlarıdır. Ayrıca, anaerobik arıtılmış atıksular deşarj standartlarına uygun olmayıp deşarjdan önce bir aerobik kademe gerekmektedir.

## 5.5. Diğer kombine prosesler

Song ve diğ. (2003) membran reaktörle ozonlamayı birleştirerek yaptığı çalışmada, ozonun membran reaktörde çamur azalmasını ve nutrient giderimini artırdığını bulmuşlardır.

Saktaywin ve diğ. (2005) anaerobik/aerobik (A/O) prosesle ozonlama ve kristallendirme proseslerini birleştirerek yaptıkları çalışmada aşırı çamur üretiminde azalma ve fosfor kazanımını sağladılar. Bu proseste, 30 mg O<sub>3</sub>/gAKM ozon tüketimiyle %30 çözünürlük elde ettiler.

Wang ve diğ. (2005) ağ filtre modüllü ardışık kesikli reaktörde %83.9 çamur üretiminde azalma elde ettiler. Alkali ön arıtmadan sonra çamur üretiminde azalma %80'di ve alkali arıtımın etkisi gözlenmiştir.

Zhu ve Chen (2005), aktif çamur prosesin geri devir hattına iki fakültatif havuz yerleştirerek yaptığı çalışmada aşırı çamur birinci fakültatif havuza geri devir edildi. Bu proseste aşırı çamur üretimi ve inert organik madde birikimi gözlenmemiştir.

Yoon ve diğ. (2004) aşırı çamur üretimini azaltmak için membran reaktör ile çamur parçalama prensibini birleştirdi. Havalandırma reaktöründe AKM konsantrasyonu 7.5 g/l civarında iken, klasik membran reaktörde AKM konsantrasyonu 28 günde 7.0 g/l'den 13.7 g/l'ye artmıştır.

Xing ve diğ. (2005) çamur deşarjı yapmayarak 123 gün boyunca işlettikleri eğik plaklı membran reaktörün performansını araştırdılar. 6 saatlik hidrolik bekleme zamanında kimyasal oksijen ihtiyacı, amonyak azotu ve bulanıklık verimlerini sırasıyla 92.1, 93 ve 99.9 olarak buldular.

## 6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Aşırı çamur üretimi aktif çamur proseste karşılaşılan en ciddi problemlerden biridir. Aşırı çamur arıtımının maliyeti aktif çamur prosesin işletme maliyetinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle, aktif çamur proseste oluşan aşırı çamur üretiminin azaltılması büyük önem taşımaktadır.

Aşırı çamur üretiminin azaltılmasında kullanılan yöntemler, biyokütle parçalanması ve enerji ayırımı prensibine dayanmaktadır. Ayrıca, mevcut işletme şartları ve proses biçimi değiştirilerek de aşırı çamur üretiminin azaltılması mümkün olmaktadır. Ozon ve membran reaktör yöntemi aşırı çamur üretiminin azalmasında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Diğer metotlar halen araştırma safhasındadır. Ozon üretiminin maliyeti sarf edilen enerjiden dolayı oldukça yüksektir. Klor işletme maliyeti bakımından ozona göre avantajlıdır. Ancak, daha az oksitleyici özelliğe sahip olup, trihalometan gibi istenmeyen klorlu yan bileşikler oluşmaktadır. Termokimyasal yöntem, korozyon ve koku oluşumu gibi dezavantajlara sahiptir. Mekanik ve enzimatik yöntemlerde maliyet yüksektir. Metabolik ayırıcıların çevreye zararlı olması, çamur çökme karakteristiğini bozması ve mikroorganizmaların bunlara zamanla aklima olması gibi dezavantajları vardır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun yüksek olması işletme açısından birçok avantaja sahiptir. Ancak çözünmüş oksijen konsantrasyonunun yüksek olması havalandırma maliyetini artıracaktır. Çamur yaşı, pH ve sıcaklık gibi işletme şartlarının aktif çamur proseste aşırı çamur üretiminin azaltılmasında uygulanabilirliği kısıtlıdır. Aşırı karbon yöntemi, aktif çamur prosesin verimini azaltmaktadır. Aktif çamur proseste aşırı çamur üretiminin azaltılmasında kurt gibi organizmaların kullanılması stabil olmayan büyümelerinden dolayı sakıncalıdır. OSA proses, maliyet bakımından avantajlıdır. Ancak, anaerobik veya anoksik reaktörde oksidasyon-indirgeme potansiyelinde düzensizlik aşırı çamur üretimini azaltmak yerine daha da artırabilir. Membran reaktörlerin inşaat ve işletme masrafları yüksektir. Ayrıca, reaktörde oksijen yetersizliği ve membran tıkanması gibi dezavantajları da mevcuttur. İki kademeli sistemler, maliyet bakımından uygulanabilirliği kısıtlıdır. Anaerobik reaktörler, deşarj standartlarını sağlayamama gibi bir dezavantaja sahiptirler.

Aşırı çamurun mineralize olmasıyla azot, fosfor ve hatta çözünmüş organik madde konsantrasyonunda artışlar olabilmektedir. Bu nedenle, çıkış suları deşarj edilmeden önce nutrientlerin giderilmesi gerekmektedir. Çünkü nutrientler alıcı sularda ötrofikasyona neden olmakta ve çözünmüş oksijeni azaltmaktadır. Çamur azaltılması için kullanılan yöntemler mikrobiyal değişime de neden olmaktadır.

Aşırı çamur azaltmak için kullanılan yöntemler, ilave yatırım ve işletme maliyeti gerektirmektedirler. Ancak bir yandan da oluşan çamur miktarının azaltılması çamur arıtım ve uzaklaştırma maliyetini azaltmaktadır. Aşırı çamur üretimini azaltmak için kullanılan yöntemler, renk problemleri, nutrient salınımı, metabolik ayırıcıların toksisitesi gibi birçok çevresel problemlere de neden olmaktadır. Bu nedenle, çamur azaltılmasında kullanılan yöntemler, ekonomik ve çevresel faktörler göz önünde tutularak uygulanabilirliği değerlendirilmelidir.

## 7. KAYNAKLAR

1. Abbasi, B., Dullstein, S. and Rabiger, N. (2000) Minimization of excess sludge production by increase of oxygen concentration in activated sludge flock: experimental and theoretical approach, *Water Research*, 34, 139-146.
2. Canales, A., Pareilleux, A., Rols, J., Goma, G. and Huyard, A. (1994) Decreased sludge production strategy for domestic wastewater treatment, *Water Science and Technology*, 30(8), 97-106.
3. Chen, G.H., Yip, W.K., Mo, H.K. and Liu, Y. (2001) Effect of sludge fasting/feasting on growth of activated sludge cultures, *Water Research*, 35(4), 1029-1037.
4. Chen, G.H., Mo, H.K. and Liu, Y. (2002) Utilization of metabolic uncoupler, 3,3',4',5-tetrachlorosalicylanilid (TCS) to reduce sludge growth in activated sludge culture, *Water Research*, 36(8), 2077-2083.
5. Chen, G.H., An, K.J., Saby, S., Brois, E. and Dijafer, M. (2003) Possible cause of excess sludge reduction in an oxic-settling-anaerobic activated sludge process (OSA process), *Water Research*, 37(16), 3855-3866.
6. Chudoba, P., Chudoba, J. and Capdeville, B. (1992a) The aspect of energetic uncoupling of microbial growth in the activated sludge process: OSA system, *Water Science and Technology*, 26(9-11), 2477-2480.
7. Chudoba, P., Morel, A. and Capdeville, B. (1992b) The case of both energetic uncoupling and metabolic selection of microorganisms in the OSA activated sludge system, *Environmental Technology*, 13, 761-770.
8. Gyhoot, W. and Verstraete, W. (2000) Reduced sludge production in a two-stage membrane-assisted bioreactor, *Water Research*, 34(1), 205-215.
9. Jung, S.J., Miyanaga, K., Tanji, Y. and Unno, H. (2006) Effect of intermittent aeration on the decrease of biological sludge amount, *Biochemical Engineering Journal*, 27, 246-251.
10. Kamiya, T. and Hirotsuji, J. (1998) New combined system of biological process and intermittent ozonation for advanced wastewater treatment, *Water Science and Technology*, 38, 145-153.
11. Lee, N.M. and Welander, T. (1996) Use of protozoa and metazoans for decreasing sludge production in aerobic wastewater treatment, *Biotechnology Letters*, 18(4), 429-434.
12. Lee, J.W., Cha, H.Y., Park, K.Y., Song, K.G. and Ahn, K.H. (2005) Operational strategies for an activated sludge process in conjunction with ozone oxidation for zero excess sludge production during winter season, *Water Research*, 39, 1199-1204.
13. Liang, P., Huang, X. and Qian, Y. (2005) Excess sludge reduction in activated sludge process through predation of *Aeolosoma hemprichi*, *Biochemical Engineering Journal*, baskıda.
14. Liang, P., Huang, X., Qian, Y., Wei, Y. and Ding, G. (2006) Determination and comparison of sludge reduction rates caused by microfaunas predation, *Bioresource Technology*, 97(6), 854-861.
15. Lishman, L.A., Legge, R.L. and Farquhar, G.H. (2000) Temperature effects on wastewater treatment under aerobic and anoxic conditions, *Water Research*, 36(8), 2263-2276.
16. Liu, Y. (2000) Effect of chemical uncoupler on the observed growth yield in batch culture of activated sludge, *Water Research*, 34(7), 2025-2030.
17. Liu, Y. and Tay, J.H. (2001) Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process, *Biotechnology Advances*, 19(2), 97-107.
18. Liu, Y. (2003) Chemically reduced excess sludge production in activated sludge process, *Chemosphere*, 50, 1-7.
19. Low, E.W. and Chase, H.A. (1998) The use of chemical uncouplers for reducing biomass production during biodegradation, *Water Science and Technology*, 37(4-5), 399-402.
20. Low, E.W. and Chase, H.A. (1999a) The effect of maintenance energy requirements on biomass production during wastewater treatment, *Water Research*, 33(3), 847-853.
21. Low, E.W. and Chase, H.A. (1999b) Reducing production of excess biomass during wastewater treatment, *Water Research*, 33(5), 1119-1132.
22. Ødegaard, H. (2004) Sludge minimization technologies-an overview, *Water Science and Technology*, 49(10), 31-40.
23. Ratsak, C.H., Kooi, B.W. and van Verseveld, H.W. (1994) Biomass reduction and mineralization increase due to the ciliate *Tetrahymena Pyriformis* grazing on the bacterium *Pseudomonas Fluorescens*, *Water Science and Technology*, 29(7), 119-128.
24. Rocher, M., Roux, G., Begue, A.P., Louvel, L. and Rols, J.L. (1999) Towards a reduction in excess sludge production in activated sludge process: biomass physicochemical treatment and biodegradation, *Applied Microbiology Biotechnology*, 51(6), 883-890.
25. Saby, S., Dijafer, M. and Chen G.H. (2002) Feasibility of using a chlorination step to reduce excess sludge in activated sludge process, *Water Research*, 36, 656-666.

26. Saby, S., Dijafer, M. and Chen, G.H. (2003) Effect of low ORP in anoxic sludge zone on excess sludge production in oxic-settling-anoxic activated sludge process, *Water Research*, 37(1) 11-20.
27. Sakai, Y., Fukase, T., Yasui, H. and Shibata M. (1997) An activated sludge process without excess sludge production, *Water Science and Technology*, 36(11), 163-170.
28. Saktaywin, W., Tsuno, H., Nagare, H., Soyama, T. and Weerapakkaron, J. (2005) Advanced sewage treatment process with excess sludge reduction and phosphorus recovery, *Water Research*, 39, 902-910.
29. Strand, S.E., Harem, G.N., Stensel, H.D. (1999) Activated-sludge yield reduction using chemical uncouplers, *Water Environment Research*, 71, 454-458.
30. Song, K.G., Choungb, Y.K., Ahtf, K.H., Cho, J., Yun, H. (2003) Performance of membran bioreactor system with sludge ozonation process for minimization of excess sludge production, *Desalination*, 157, 353-359.
31. Tian, S., Lishman, L. and Murphy, K.L. (1994) Investigation into excess sludge activated sludge accumulation at low temperatures, *Water Research*, 28(3), 501-509.
32. Wei, Y., Van Houten, R.T., Borger, A.R., Eikelboom, D.H. and Fan, Y. (2003) Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment, *Water Research*, 37, 4453-4467.
33. Wei, Y.S., van Houten, R.T., Borger, A.R., Eikelboom, D.H. and Fan, Y.B. (2003) Comparison performances of membran bioreactor (MBR) and conventional activated sludge (CAS) processes on sludge reduction induced Oligochaete, *Environment Science and Technology*, 37(14), 3171-3180.
34. Wang, W., Jung, Y.J., Kiso, Y., Yamada, T. and Min, K.Y. (2005) Excess sludge reduction performance of an aerobic SBR process equipped with a submerged mesh filter unit, *Process Biochemistry*, baskıda.
35. Xing, C.H., Yamamoto, K. and Fukushi, K. (2005) Performance of an inclined-plate membran bioreactor at zero excess sludge discharge, *Journal of Membrane Science*, baskıda.
36. Yang, X.F., Xie, M.L., Liu, Y. (2003) Metabolic uncouplers reduce excess sludge production in an activated sludge process, *Process Biochemistry*, 38, 1373-1377.
37. Yasui, H. and Shibata M. (1994) An innovative approach to reduce excess sludge production in the activated sludge process, *Water Science and Technology*, 30 (9), 11-20.
38. Yasui, H., Nakamura, K., Sakuma S., Iwasaki, M. and Sakai, Y. (1996) A full-scale operation of a novel activated sludge process without excess sludge production, *Water Science and Technology*, 34(3-4), 395-404.
39. Yoon, S.H., Kim, H.S., Lee, S. (2004) Incorporation of ultrasonic cell disintegration into a membrane bioreactor for zero sludge production, *Process Biochemistry*, 39(12), 1923-1929.
40. Zhu, H. and Chen, J. (2005) Study of hydrolysis and acidification process to minimize excess biomass production, *Journal of Hazardous Materials*, 127, 221-227.