

UZUN HAVALANDIRMALI AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİNDE ARITMA VERİMİNİN İNCELENMESİ*

Ahmet YÜCEER ve Hakan DULKADİROĞLU
Ç.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada uzun havalandırmalı aktif çamur sisteminin arıtma veriminin bekleme süresi, aktif çamur ve çözülmüş oksijen konsantrasyonu ile değişimi incelenmiştir. Araştırma bir model arıtma tesisinde evsel atıksu eşdeğerinde organik madde içeren sentetik atıksu kullanılarak yapılmış ve arıtma verimi giriş ve çıkış KOD değerleri ölçülerek gözlenmiştir. Deneylerin sonucunda, hidrolik bekleme süresinin 18 saatten 36 saate ve çözülmüş oksijen konsantrasyonunun 2 mg/L'den 5 mg/L'ye yükseltilmesinin arıtma verimini belirgin şekilde etkilemediği, aktif çamur konsantrasyonunun 2000 mg/L'den 5000 mg/L'ye yükseltilmesinin ise çok az etkilediği görülmüştür. Buna bağlı olarak, dizayn parametreleri için literatürde çok geniş aralıkta değerlerin verildiği bu sistemlerin, ön yatırım ve işletme maliyetlerinin en düşük seviyede tutulabilmesi için iyi analiz edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

INVESTIGATION OF TREATMENT EFFICIENCY IN EXTENDED AERATION ACTIVATED SLUDGE SYSTEMS

ABSTRACT : In this study, variation of treatment efficiency with retention time, activated sludge and dissolved oxygen concentrations were investigated using extended aeration system. The investigation was carried out in a model treatment plant using synthetic wastewater in which the organic matter content roughly equal to moderate municipal wastewater. Treatment efficiency of the system was observed by measuring influent and effluent COD. According to results of the study, increasing retention time from 18 hours to 36 hours, DO concentration from 2 mg/L to 5 mg/L and MLSS concentration from 2000 mg/L to 5000 mg/L have a little effect on treatment efficiency. In the literature, design parameters of these systems are seen in very large range. Consequently, these systems should be well analyzed before application to save investment and operational costs.

* Bu çalışma Ç.Ü. Araştırma Fonu tarafından (FBE 94.163) nolu proje ile desteklenmiştir.

1. GİRİŞ

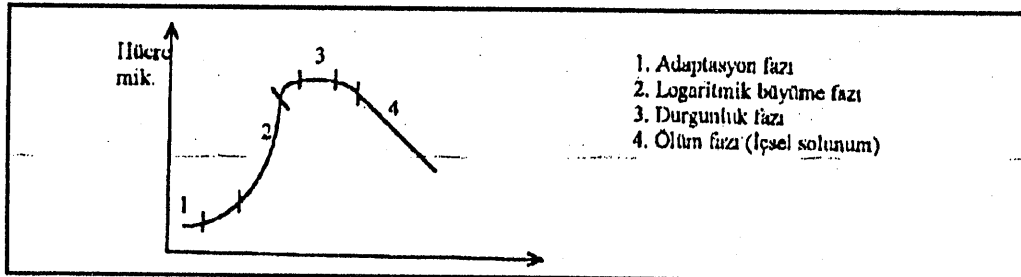
Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri yavaş ayrışan organik maddeler içeren atıksuların arıtılması veya evsel atıksuların arıtımında çamur oluşumunun azaltılması amacıyla kullanılan sistemlerdir. Bunun yanında, yatırım ve işletme maliyetlerinin düşük, bakım ve işletiminin kolay olması gibi avantajlarından dolayı küçük yerleşim birimlerinde tercih edilmektedir (1, 2).

Bu çalışmada, uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri ile evsel atıksuların arıtımında, arıtma veriminin farklı işletme koşullarıyla değişimi incelenmiştir. Bu amaçla bir model arıtma tesisinde orta karakterli evsel atıksuya eşdeğer organik yüke sahip sentetik atıksu kullanılarak, arıtma veriminin hidrolik bekletme süresi, aktif çamur ve çözülmüş oksijen konsantrasyonları ile değişimi, giriş ve çıkış KOİ değerlerine bağlı olarak araştırılmıştır.

2. UZUN HAVALANDIRMALI TESİSLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi, aktif çamurdaki organik maddelerin büyük oranda okside olmasını sağlamak amacıyla atıksu ve aktif çamur karışımının uzun süre havalandırıldığı bir arıtma yöntemidir. Bu sistemde genellikle atıksu ızgara ve kum tutucudan geçirildikten sonra ön çökeltme uygulanmadan havalandırma havuzuna verilir. Burada uygulanan uzun süreli havalandırmadan sonra son çökeltmeyle atıksudan ayrılan aktif çamur, uygulanan çamur yaşına bağlı olarak büyük oranda havalandırma havuzuna geri verilir (1, 2, 3).

Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri, klasik aktif çamur sistemlerinden farklı olarak, içsel solunum fazında işletilir. Şekil 1'deki bakteriyel büyüme eğrisinden görülebileceği gibi, aktif çamur sistemlerinde oksidasyon süresinin artmasıyla çamur hacmi azalmaktadır. Ancak, oksidasyon süresinin çok artırılması sistemde aşırı çamur birikmesine ve çıkış suyuyla beraber çamur kaçarak arıtma veriminin düşmesine neden olabilir. Bunun yanında, bu sistemlerde çamur üretiminin çok az olduğu ve 8-12 aylık periyotlarla çamur atılmasının yeterli olacağı bildirilmektedir (4). Yapılan çalışmalar, bu sistemlerde biriken fazla çamurun, aktif olmayan ve başlıca polisakkaritlerden oluşan biyolojik olarak inert maddelerden meydana geldiğini ortaya koymuştur (3). Dolayısıyla sistemden atılan fazla çamur tasfiyeye gerek kalmadan kurutma yataklarına verilebilmektedir.



Şekil 1. Bakteriyel büyüme eğrisi.

UZUN HAVALANDIRMALI AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİNDE ARITMA VERİMİNİN İNCELENMESİ

Bu sistemin diğer bir avantajı ise, yüksek verimle arıtma yapabilmesi ve aşırı organik yüklere karşı dayanıklı olmasıdır.

Bu sistemlerde, çamur geri devir oranı yüksek uygulandığı ve sistemden çok az çamur atıldığı için MLSS konsantrasyonu klasik aktif çamur sistemlerine oranla yüksek olmaktadır (5). Bunun sonucunda ise mikroorganizmalara yeterli miktarda oksijen temin edilebilmesi ve katı maddelerin askıda tutulabilmesi için daha fazla oksijene (havaya) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum da enerji sarfiyatının ve dolayısıyla işletme maliyetinin artmasına neden olmaktadır.

Tablo 1'den görülebileceği gibi, uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri için çeşitli kaynakların belirttiği dizayn değerleri çok geniş sınırlar içerisinde değişmektedir. Ele alınan atıksu özelliklerinin belirtilmediği bu kaynaklara göre, örneğin hidrolik bekletme süresi 16-120 saat, aktif çamur konsantrasyonu 2000-6000 mg/L arasında uygulanabilmektedir. Arıtma tesisi dizaynı sırasında bu parametreler için seçilecek değerlerin, tesisin performansı ile yatırım ve işletme maliyetlerini önemli ölçüde etkileyeceği açıktır. Bekletme süresinin 16 saat yerine 32 saat seçilmesi, iki kat büyüklükte bir havalandırma havuzu ve havalandırma kapasitesi, buna bağlı olarak da daha fazla enerji gerektirecektir. Bundan dolayı tesis dizayn edilirken atıksu özellikleri, ön yatırım ve işletme maliyetleri gözönünde bulundurularak en uygun değerler ortaya konmalıdır.

Tablo 1. Uzun havalandırmalı sistemler için dizayn parametreleri.

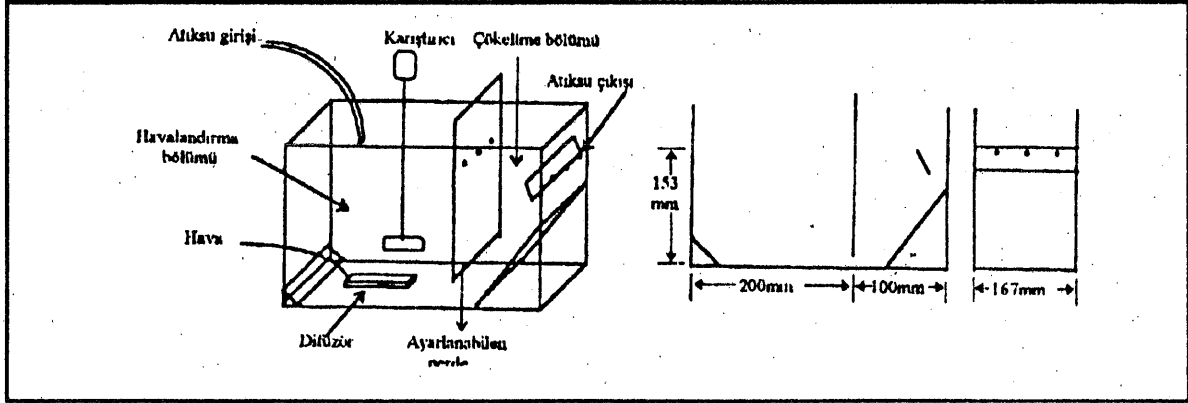
Kaynak	F/M Oranı (kgBOL/ kgMLSSgün)	Çamur yaşı (θcgün)	MLSS (mg/L)	V/Q (saat)	Yüzey yükü (m ³ /m ² .gün)	Çamur yüklemi (kg/m ² .gün)	Savak yükü (m ³ /m.gün)	SVI (mL/g)
Metcalf ve Eddy, 1991	0.05-0.15	20-30	3000- 6000	18-36	24-32	168	250-375	-
Barnes ve Wil- son, 1978	0.05-0.15	-	2000- 5000	24-72	22	-	100	-
WPCF Manuel of practise, 1982	0.05	30	2000- 6000	16-24	12-65	98-390	125-250	80-150
US EPA, 1980	0.05-0.1	20-100	2000- 6000	48-120	8-16	98-146	124-372	-
Corbitt, 1989	0.05-0.15	20-40	2000- 6000	18-36	-	-	-	-

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Materyal ve Metod

Bu çalışmada uzun havalandırmalı aktif çamur sisteminin arıtma veriminin incelenmesi amacıyla sürekli akımlı tam karışım bir reaktör kullanılmıştır. Reaktör,

pleksiglas kullanılarak, havalandırma ve çökeltme bölümleri birarada olacak şekilde imal edilmiştir. İki bölüm, yüksekliği ayarlanabilen bir perde ile birbirinden ayrılmıştır. Havalandırma bölümü 5.09 L, çökeltme bölümü 1.91 L olmak üzere reaktörün toplam hacmi 7 L'dir. Reaktörün şekli ve boyutları Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Kullanılan model tesisin şekli ve boyutları.

Deneylerde orta karakterli evsel atıksuya eşdeğer miktarda organik madde içeren sentetik atıksu kullanılmıştır. Sentetik atıksuyun bileşimi Tablo 2'de, kimyasal özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Deneyler sırasında sentetik atıksu günlük hazırlanarak kullanılmıştır.

Tablo 2. Kullanılan sentetik atıksuyun bileşimi (8).

Bileşen	Amaç	Kons. (mg/L)
Glukoz	karbon, enerji	240
Maya ekstraktı	karbon, N	60
NH ₄ Cl	N	90
MgSO ₄ .7H ₂ O	Mg, S	25
FeSO ₄ .7H ₂ O	Fe	1
MnSO ₄ .H ₂ O	Mn	1
CaCl ₂ .2H ₂ O	Ca	1
KH ₂ PO ₄	K, P, tampon	290
K ₂ HPO ₄	tampon	785
Musluk suyu	pH 7.80,	TÇM=340 mg/L

Tablo 3. Sentetik atıksuyun kimyasal özellikleri.

Parametre	Konsantrasyon
KO ₁	320 mg/L
BO ₁₅	200 mg/L
BO ₁₅ /KO ₁	0.63
pH	7.2
Elek. İletkenlik	960 µS

Sistemin çamur yaşı sonsuz olarak seçilmiş, dolayısıyla çamur atılmayarak tamamı geri devir ettirilmiştir. Çamur geri devri çökeltme bölümünde çökelen çamurun, havalandırma nedeniyle oluşan karışımın etisiyle, aradaki perdenin altından havalandırma bölümüne geçmesiyle sağlanmıştır. Sistemin kararlı hale gelmesi için, çıkış KOİ konsantrasyonlarının yaklaşık olarak sabit bir değerde kalması beklenmiştir.

Deneyler oda sıcaklığında (ortalama 20°C) yapılmıştır. Sentetik atıksu bileşiminde bulunan tamponlarla pH 7.2 civarında tutulmuştur.

3.2. Deneyler

Yapılan çalışmalarda uzun havalandırmalı aktif çamur model tesisinde arıtma veriminin, aktif çamur konsantrasyonu, çözülmüş oksijen konsantrasyonu ve hidrolik bekleme süresiyle değişimi incelenmiştir.

Deneylerin başlangıcında bir arıtma tesisinden aktif çamur alınarak yoğunlaştırılmış ve reaktöre konmuştur. Daha sonra seyreltme yapılarak çamur konsantrasyonu istenen seviyeye ayarlanmıştır. Üç ayrı çamur konsantrasyonunda çalışılmıştır. Bu değerler 2000, 4000 ve 5000 mg/L civarında ayarlanmıştır. Çözülmüş oksijen konsantrasyonları ise sistemdeki oksijen konsantrasyonu ölçülerek ve hava girişindeki vanayla verilen hava miktarı ayarlanarak istenilen seviyede tutulmaya çalışılmıştır. Her çamur konsantrasyonunda sisteme verilen hava miktarına bağlı olarak 2 mg/L ve 5 mg/L çözülmüş oksijen konsantrasyonlarında 18, 24, 30 ve 36 saatlik hidrolik bekleme süreleri uygulanarak çıkış suyunun KOİ'si ölçülmüştür. Her ölçüm en az üçer defa tekrar edilerek ortalaması alınmış ve arıtma verimi hesaplanmıştır. Deneylerde organik madde tayini amacıyla BOİ5 yerine KOİ testi yapılmasının sebebi, BOİ5 testinin 5 gün süren ve stabilitesinin kolay etkilenen bir deney olması, buna karşılık KOİ testinin daha stabil olması ve 2 saatte belirlenebilmesidir (6). Bunun yanısıra KOİ-BOİ5 arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Giriş sentetik atıksuyunda BOİ5/KOİ=0.63, çıkış sularında ise ortalama BOİ5/KOİ=0.54 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla KOİ'den BOİ5'e dönüşümler kolayca sağlanabilmiştir. Ayrıca reaktördeki fiziksel ve kimyasal şartlar sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik ölçülerek kontrol edilmiştir. Çamur özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çamur hacim indeksi ölçülmüş, üreyen mikroorganizmalar mikroskopla incelenmiştir. Deneylerde uygulanan aktif çamur konsantrasyonu, hidrolik bekleme süresi, günlük organik yük ve F/M oranları Tablo 4'te verilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Bekletme Süresinin Arıtma Verimine Etkisi

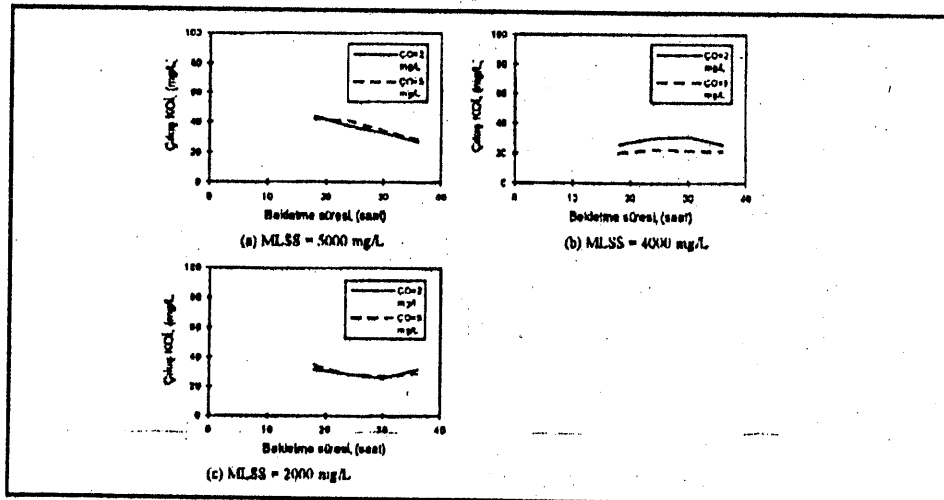
Şekil 3'e bakıldığında, uygulanan 18-36 saat bekleme süresi ve 2000-5000 mg/L MLSS konsantrasyonu aralıklarında çıkış KOİ değerlerinin yaklaşık olarak 20-40 mg/L aralığında kaldığı, böylece arıtma veriminin bekleme süresi ve aktif çamur

Tablo 4. Uygulanan organik yükler ve F/M oranları.

MLSS (mg/L)	Hidrolik Bekletme Süresi, (saat)	Günlük Organik Yük (mgBOİ5/gün)	F/M Oranı (mgBOİ/(mgMLSSgün))
2000	18	1018	0.100
	24	763.5	0.075
	30	610.8	0.060
	36	509	0.050
4000	18	1018	0.050
	24	763.5	0.0375
	30	610.8	0.030
	36	509	0.040
5000	18	1018	0.040
	24	763.5	0.030
	30	610.8	0.24
	36	509	0.20

konsantrasyonuyla önemli miktarda değişmediği görülmektedir.

Coackley (1975) yaptığı çalışmalarda, giriş atıksuyundaki BOİ'nin %75'inin havalandırmanın ilk 20 dakikasında giderildiğini tespit etmiştir. Bu çalışmada ise uygulanan havalandırma süreleri ise 18-36 saat arasında olup, 20 dakikanın çok üzerindedir. Dolayısıyla bu uzun havalandırma süresi boyunca organik maddelerin büyük oranda oksidasyona uğradığı söylenebilir. Buna göre daha fazla havalandırma uygulansa bile çıkış KOİ değeri önemli oranda düşmeyecektir. Tablo 1'de ise uzun havalandırma sistemleri için bekletme süresinin çeşitli kaynaklar tarafından 16-120 saat arasında verildiği görülmektedir. Bu sürelerin hangi tür atıksular için olduğu ise kaynaklarda belirtilmemiştir. Ancak elde edilen sonuçlara göre, evsel atıksular gibi zor parçalanmayan organik maddeler içeren ve organik yük yönünden çok kuvvetli olmayan atıksuların bu kadar uzun sürelerde havalandırılmasının arıtma verimi açısından bir fayda sağlamayacağı sonucu çıkarılabilir.

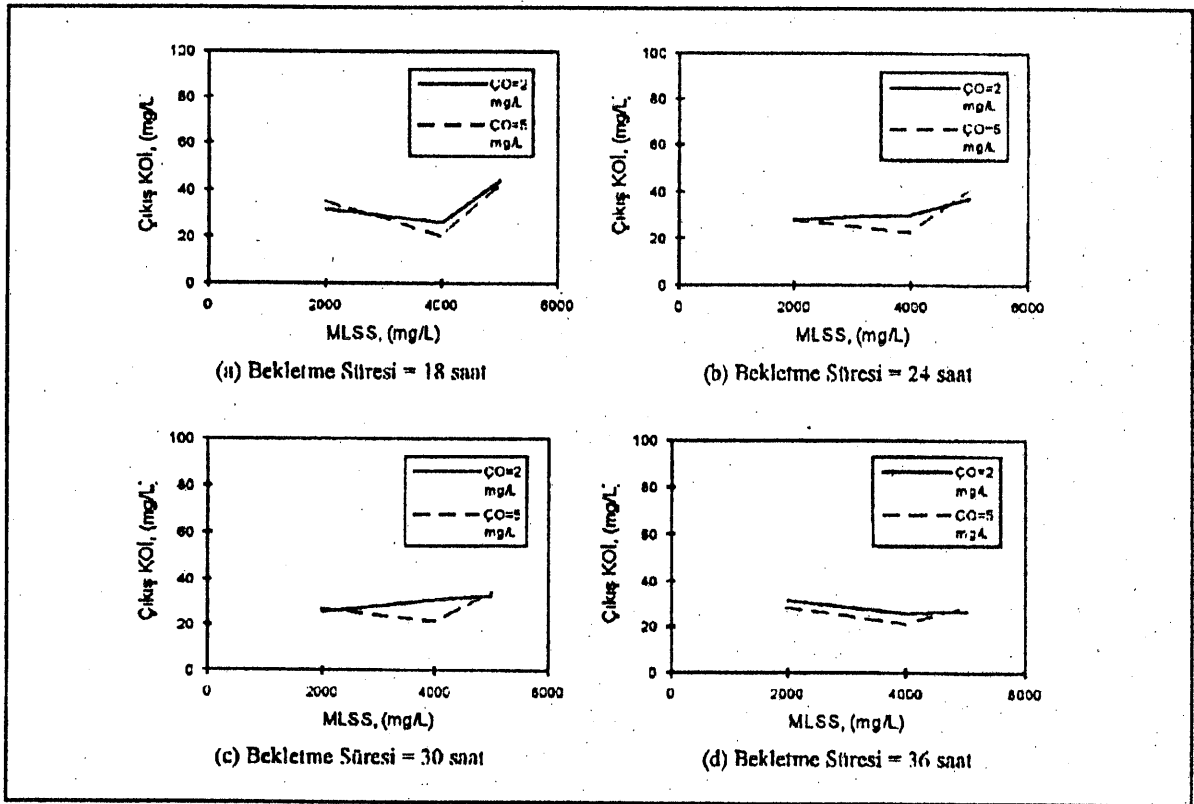


Diğer taraftan, bekletme süresinin artırılması F/M oranının düşmesi anlamına gelmektedir. Bu durumda ortamdaki substrat daha kısa sürede tüketilecek ve içsel solunumun baskınlığı artacaktır. Johnstone (1984), F/M oranı 0.048 kgBOI/kgMLSSgün değerinin altına düştüğünde, uzun havalandırmalı tesislerin bir aktif çamur sisteminden çok aerobik çamur çürütücü gibi davrandığını belirtmiştir. Buna dayanılarak düşük F/M oranlarında aktif çamurun daha fazla stabilize olarak son ürünlere dönüşeceği ve çamur tasfiyesine gerek kalmayacağı söylenebilir. Bu yönden bekletme süresinin uzun olması avantaj gibi görünmektedir. Ancak, deneyler sırasında bekletme süresinin artırılmasından dolayı F/M oranının çok düştüğü dönemlerde sistemde filamentli bakteriler ürediği tesbit edilmiştir. Jenkins ve arkadaşları (1984), düşük organik yüklemelerin (düşük F/M oranları) filamentli bakterilerin üremesine ve bunun da çamur kabarmasına (bulking sludge) sebep olabileceğini bildirmişlerdir. Çamur kabarması ise çökeltme bölümünden çamur kaçmasına ve dolayısıyla çıkış suyu kalitesinin bozulmasına yolaçabilmektedir. Bu durum dikkate alındığında bekletme süresinin çok uzun uygulanmasının çamur kalitesi açısından dezavantaj yaratabileceği görülmektedir.

Deney sonuçlarını gösteren grafiklere bakıldığında (Şekil 3 ve 4), aktif çamur konsantrasyonu 2000 mg/L'den 5000 mg/L'ye yükseldikçe, çıkış KOİ değerlerinde de küçük bir düşüş meydana geldiği görülmektedir. Bununla beraber çıkış KOİ değerleri birbirine çok yakındır. Aktif çamur konsantrasyonunun artmasıyla arıtma veriminde meydana gelen küçük düşüş ise, aktif çamurun aktivitesinin azalmasına bağlanabilir. Çünkü tesise gelen organik yük sabitken aktif çamur konsantrasyonunun artmasıyla F/M oranı düşmekte ve Johnston (1984)'a göre yüksek F/M oranlarında aktif çamurun aktivitesi artmaktadır. Bunun yanında, çok düşük F/M oranları çamur kabarmasına sebep olabileceğinden dolayı (7), tesise gelen organik yüke bağlı olarak, aktif çamur konsantrasyonunun çok yüksek tutulmaması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca aktif çamur konsantrasyonunun yükselmesiyle sisteme verilmesi gereken hava miktarının ve dolayısıyla işletme maliyetinin yükseleceği de gözönünde tutulmalıdır.

4.2. Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonunun Arıtma Verimine Etkisi

Şekil 3 ve 4'te, farklı bekletme süreleri ve aktif çamur konsantrasyonlarında uygulanan 2 mg/L ve 5 mg/L oksijen konsantrasyonlarında elde edilen çıkış KOİ değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla oksijen konsantrasyonunun 2mg/L'den 5 mg/L'ye yükseltilmesinin arıtma verimi üzerinde pek etkili olmadığı söylenebilir. Bu durumun anlaşılabilmesi için sisteme verilen oksijenin ne şekilde kullanıldığının, yani oksijen ihtiyacının belirlenmesi gerekir.



Şekil 4-a,b,c,d. Farklı bekleme sürelerinde arıtma veriminin aktif çamur ve çözülmüş oksijen konsantrasyonlarıyla değişimi.

Uzun havalandırılmalı sistemlerle evsel atıksuların arıtımında karbonlu bileşikler için oksijen ihtiyacının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılabilir (1):

$$R = aS + bXV \quad (1)$$

R= günlük oksijen tüketimi, (kg/gün)

S= giderilen substrat miktarı, (BOİ5), (kg/gün)

X= mikroorganizma konsantrasyonu, (MLSS), (kg/m³)

V= havalandırma tankı hacmi, (m³)

Bu eşitlikte a katsayısı birim substratın oksidasyonu için gerekli oksijen miktarını, b katsayısı ise içsel solunum oranını ifade eder. Ilıman iklimlerde ham evsel atıksuların arıtılmasında uzun havalandırılmalı sistemler için karbonlu bileşiklerin oksidasyonunda gerekli oksijen miktarı ise şu eşitlikten yararlanılarak hesaplanabilir (1):

$$R = S + 0.024 X V r_{20}^{\theta} \quad (2)$$

Burada;

T= aktif çamurun sıcaklığı, (°C)

r₂₀= 20°C'deki içsel solunum oranı, (mgO₂/gMLSSsaat)

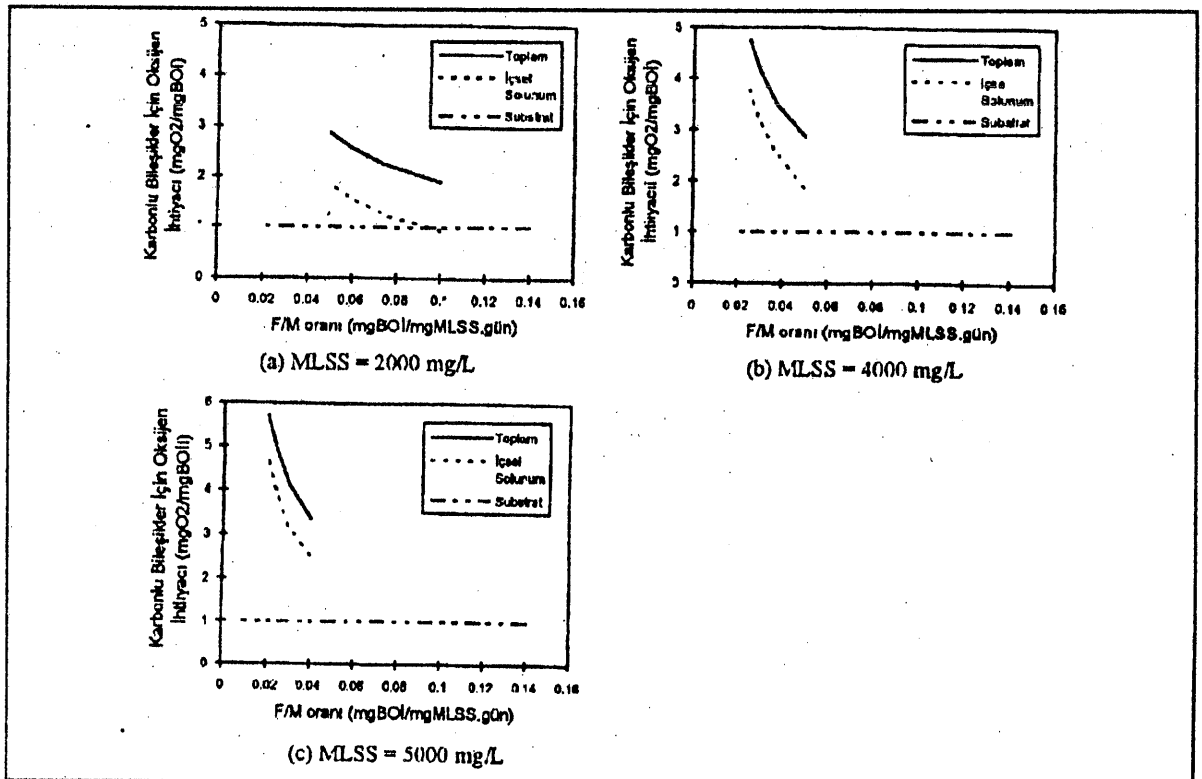
Bu eşitlikte içsel solunum oranını ifade eden b katsayısı, T=20°C için r değeri 3.9 mg/MLSS.saat alınarak hesaplandığında 0.094 bulunur. Bu durumda Eşitlik 1;

$$R=S+0.094XV \quad (3)$$

halini alır. Bu eşitliğin her iki tarafı S ile bölünerek ve F/M oranına eşit olan S/XV terimi U ile ifade edilerek, Eşitlik 3;

$$\frac{R}{S} = 1 + \frac{0.094}{U} \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir. Bu eşitlikteki birinci terim sisteme verilen birim organik yük için gerekli toplam oksijen ihtiyacını, ikinci terim substrat için gerekli oksijen miktarını ve üçüncü terim içsel solunumda kullanılan oksijen miktarını ifade etmektedir. Bu üç ifadenin 2000, 4000 ve 5000 mg/L MLSS konsantrasyonlarında, 18, 24,30 ve 36 saatlik bekleme sürelerindeki organik yüklemeler için çizilen grafikleri Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5- a,b,c. Farklı MLSS konsantrasyonlarında F/M oranıyla karbonlu maddelerin oksijen ihtiyacının değişimi.

Bu grafiklere göre, teorik olarak, F/M oranının artmasıyla içsel solunum için gereken oksijen miktarı düşmekte, substrat için gerekli oksijen ise sabit kalmaktadır. F/M oranı düşürüldüğünde ise içsel solunumun baskınlığı artmakta ve sisteme verilen oksijenin büyük kısmı içsel solunumda kullanılmaktadır. Bunun sonucunda çamur daha fazla stabilize olmakta ve çamur üretimi azalmakta, oksidasyona uğrayan substrat miktarı ise artış göstermemektedir (1). Diğer taraftan Vosloo (1970), belirli miktardaki mikroorganizmanın, belirli şartlar altında, sisteme fazla miktarda oksijen temin edilse bile, ancak sınırlı miktarda organik maddeyi okside edebileceğini ifade etmiştir. Oksijen konsantrasyonu kritik değer üzerinde olduğunda substrat giderimine sınırlayıcı etki yapmamaktadır. Bu teorik bilgilerle, deneylerde elde edilen sonuçlar paralellik göstermekte, çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 2 mg/L'den 5 mg/L'ye yükseltilmesi arıtma verimini belirgin şekilde artırmamaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada bir uzun havalandırılmalı aktif çamur model arıtma tesisinde, orta karakterli evsel atıksu özelliklerine benzetilerek hazırlanan sentetik atıksu kullanılarak arıtma veriminin çeşitli parametrelerle değişimi incelenmiştir. Deneylerden elde edilen bulgular değerlendirildiğinde ortaya çıkan sonuçlar şunlardır:

1. Bekletme süresinin, 18 saatten 36 saate yükseltilmesinin çıkış suyu KOİ konsantrasyonunu belirgin şekilde etkilemediği tespit edilmiştir.

2. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 2 mg/L'den 5 mg/L'ye yükseltilmesiyle çıkış KOİ konsantrasyonu belirgin bir değişme göstermemiştir.

3. Aktif çamur konsantrasyonunun 2000 mg/L'den 5000 mg/L'ye yükseltilmesi arıtma verimini çok az miktarda düşürmüştür.

4. Bekletme süresi, çözünmüş oksijen ve aktif çamur konsantrasyonları, uygulanan aralıklarda arıtma verimini önemli ölçüde etkilememekle beraber, bu parametreler sistemin sağlıklı çalışması ve çamur üretiminin azaltılabilmesi yönünden önemlidir.

Sonuç olarak, bu tür arıtma tesislerinin ön yatırım ve işletme maliyetlerinin en düşük seviyede tutulabilmesi için sistemin iyi analiz edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

6. KAYNAKLAR

1. Johnstone, D. W. M., *Oxygen Requirements, Energy Consumption and Sludge Production in Extended-Aeration Plants. Water Pollution Control*, 83, 1, 100-115, 1984.

2. Gemmell, J. S., Herbert, J. C., *The Design and Operation of an Extended Aeration Plant in Western Canada. Water Pollution Control*, 84, 4, 535-543, 1985.

3. Middlebrooks, E. J., Jenkins, D., Neal, R. C., Phillips, J. L., *Kinetics and Effluent Quality in Extended Aeration. Water Research*, 3, 39-46, 1969.

4. EPA, *Design Manual: Onsite Wastewater Treatment and Disposal Systems*. 625/1-80-012, 143-155, 1980.
5. Corbitt, R. A., *Standart Handbook of Environmental Engineering*. McGraw-Hill, Inc, 1989.
6. Argaman, Y., Hucks, C. E., Shelby Jr, S. E., *The Effects of Organotition on the Activated Sludge Process*. *Water Research*, 18, 5, 535-542, 1984.
7. Coackley, P., O'Neill, J., *Sludge Activity and Full-Scale Plant Control*. *Water Pollution Control*, 401-411, 1975.
8. Bisogni Jr., J. J., Lawrence, A. W., *Relationships Between Solids Retention Time and Settling Characteristics of Activated Sludge*. *Water Research*, 5, 753-763, 1971.
9. Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse*. McGraw-Hill Inc., Third Edition, 1991.
10. Jenkins, D., Richard, M. G., Neethling, J. B., *Causes and Control of Activated Sludge Bulking*. *Water Pollution Control*, 455-472, 1984 .
11. Vosloo, P. B. B., *Some Factors Relating to the Design of Activated Sludge Plants*. *Water Pollution Control*, 486-495, 1970.