

2006-69



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

Proje No. 100404S

72777

**FİLAMENTLİ BAKTERİLERİN
NEDEN OLDUĞU
KABARMA VE KÖPÜK PROBLEMİ VE
POPULASYON DİNAMİĞİNE OLAN ETKİLERİ
DERİ ENDÜSTRİSİ
AKTİF CAMUR ARITMA SİSTEMİ**

**Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri
Araştırma Grubu**

Environment, Atmosphere, Earth and Marine Sciences
Research Grant Group

Proje No: 100Y045
72777

**FİLAMENTLİ BAKTERİLERİN
NEDEN OLDUĞU
KABARMA VE KÖPÜK PROBLEMİ VE
POPULASYON DİNAMİĞİNE OLAN ETKİLERİ:
DERİ ENDÜSTRİSİ
AKTİF ÇAMUR ARITMA SİSTEMİ**

PROJE NO: YDABÇAĞ-100Y045

**SÜLEYMAN ÖVEZ
DERİN ORHON
ÖZLEM KARAHAN
SELDA MURAT
CANAN ÖRS**

**NİSAN, 2006
İSTANBUL**

33

1-81

İÇİNDEKİLER

1. ÖNSÖZ	8
2. ÖZET	9
3. ABSTRACT	10
4. ANAHTAR KELİMELEER-KEY WORDS	11
5. GİRİŞ	12
5.1. Aktif Çamur Sistemi ve Tarihçesi	12
5.2. Aktif Çamur Mikrobiyolojisi	13
5.2.1. Tanımları Yapılmış Kabarmaya Neden Olan Mikroorganizmalar	19
5.2.2. Benzer Filamentliler ve Özellikleri	25
5.2.3. Aktif Çamur Protozoa, Rotifer ve Nematod Ekolojisi	32
5.3. Aktif Çamurda Kabarma ve Köpük Oluşumu	36
5.4. Çamur Kabarmasına Neden Olan Bazı Bilinen Faktörler	36
5.4.1. Literatürde Kabarmayı Önleyici Uygulamalar	38
5.5. Filamentli Mikroorganizmalar Üzerine Yapılmış Literatür Çalışmaları	40
5.6. Aktif Çamur Örnekleme ve Filamentli Organizma Tanımlanması	47
5.6.1. Literatürde Mikroskop ile Canlı Numune İnceleme Metodları	48
5.7. Aktif Çamurda Köpük Oluşumu	50
6. GEREÇ VE YÖNTEM	52
6.1. Kimyasal ve Fiziksel Analizler ve Metotları	52
6.2. Mikrobiyolojik ve Mikroskopik İnceleme Metotları	52
6.3. Respirometrik Analiz Metodu	52
6.3.1. Respirometrik Ölçümler için Yapılan Aklimasyon Çalışmaları	53
7. BULGULAR	54
7.1. Tesis Atıksu Karakterizasyonu	54
7.2. Havalandırma Havuzunun Çamur Hacim İndeksi Kalitesi	55
7.3. Havalandırma Havuzunun Mikrobiyolojik Yapısı	55
7.4. Kabarma Probleminin Mikrobiyolojik Mekanizması	59
7.5. Tanımlanmış Filamentli Bakterilerde Tespit Edilen Morfolojik Farklılıklar.	59
7.6. Klorlama Uygulaması Sırasında Elde Edilen Kimyasal ve Fiziksel Analiz Bulguları	61
7.7. Kabarma ve Köpük Problemini Kontrol Çalışması: Hipoklorit Uygulaması	63
7.8. Klor Uygulaması Sırasında Tesiste Yapılmış Gözlemler	67
7.9. Respirometrik Analiz Bulguları	67

TABLÖLAR

Tablo 1: Aktif Çamur Kabarmasına Neden Olan Parametreler ve Koşullar	17
Tablo 2: ABD’de Aktif Çamur Arıtma Sistemlerinde En Sık Rastlanan Filamentli Organizmalar	17
Tablo 3: <i>Escherichia coli</i> Hücresinin İnorganik Kompozisyonu	19
Tablo 4: Filamentli Organizma Miktarının Subjektif Olarak Belirleme Sistemi	49
Tablo 5: Dengeleme Havuzu Çıkışı ve Biyolojik Arıtmaya Girmeden Önce Deri Atıksuları Karakterizasyonu	54
Table 6: Klorlama Periyodu Boyunca Biyolojik Arıtma Tesisinin Giriş ve Çıkış Atıksu Karakterizasyonu	63
Tablo 7. Klorlama Sırasında Kullanılan Hipoklorit Miktarı, Dozu, Maliyeti ve Biyolojik Havuz Debisi ve AKM Miktarları	66
Tablo 8. Farklı Atıksular İçin Harcanan Oksijen Miktarları	70
Tablo 9: Farklı Atıksuların Kolay ve Yavaş Ayırılan KOİ Fraksiyonları	70

ŞEKİLLER

Şekil 1:	Havalandırma Havuzu 90 Günlük Çamur Hacim İndeksi (ÇHİ) Grafiği	55
Şekil 2:	Klorlama Periyodu Sırasında TKOİ, SKOİ ve TKN Sonuçları	62
Şekil 3:	Klorlama Periyodu Sırasında ÇHİ(SVI) ve AKM(TSS) Sonuçları	62
Şekil 4:	Klor Dozlama Formatları	64
Şekil 5:	Ham Atıksu ile Gerçekleştirilen OTH Deneyi Sonuçları	68
Şekil 6:	Yağlı Atıksu ile Gerçekleştirilen OTH Deneyi Sonuçları	68
Şekil 7:	Oksijen Kısıtlımalılı Atıksu ile Gerçekleştirilen OTH Deneyi Sonuçları	69
Şekil 8:	Farklı Atıksular ile Gerçekleştirilen OTH Deney Sonuçlarının Karşılaştırması	69

MIKROFOTOĞRAFLAR

Mikrofotograf 1: Koloni Halindeki Saplı Protozoalar	57
Mikrofotograf 2: Aktif Çamurda Bulunan Rotifer	57
Mikrofotograf 3: Aktif Çamurda Tesbit Edilen Filamentli Bakteriler	57
Mikrofotograf 4: <i>Nocardia (Gordona) spp.</i> , (a) “Çok Fazla” (b) “Biraz” Sayılarda	58
Mikrofotograf 5: <i>Microthrix parvicella</i> , (a) “Fazla” ve (b) “Çok Fazla” Sayılarda	58
Mikrofotograf 6: <i>Nostocoida limicola</i> II, (a) “Biraz” ve (b) “Fazla” Sayılarda	58
Mikrofotograf 7: <i>Gordona spp.</i> Tekil Hücrelerinin Flok “Kontaminasyonu”	60
Mikrofotograf 8: <i>Gordona spp.</i> Hücrelerinin “Çoğalması”	60
Mikrofotograf 9: <i>Gordona spp.</i> Hücrelerinin “Dallanması”, (a) Flokların Tamamen Sarılması, (b) Flokların Dışına Uzaması	60
Mikrofotograf 10: <i>Gordona</i> Filamentlerinin Flok Dışına “Yayılması”	60
Mikrofotograf 11: Üç Filamentli Türünün Kabarma Durumundaki Görünümü	60
Mikrofotograf 12: Sağlıklı Flok Yapısı: (a) Kabarma ve Köpük Öncesi; (b) Klorlama ile İyileşmesinden Sonra	65
Mikrofotograf 13: Kabarma ve Köpük Sırasında Aktif Çamur (a) <i>Gordona spp. (Nocardia spp.)</i> lerin Çoğalması ve Dallanması, (b) <i>M. parvicella</i> ve <i>N. Limicola</i> II nin Yayılması ve Flokları Birleştirmesi	65
Mikrofotograf 14: Klorun Filamentli Bakteriler Üzerine Etkisi, (a) “Parçalanmış” <i>Gordona spp.</i> ve <i>M. parvicella</i> Filamentleri (b) <i>N. limicola</i> II Filamentlerinin Parçaları	65

1. ÖNSÖZ

Deri endüstrisi ülkemizin önemli sektörlerinden birisi olması ve atıksu miktarının çok ve kuvvetli olması dolayısıyla çevresel açıdan büyük önem taşımaktadır ve atıklarının arıtılması ve bertarafı problemi üzerine araştırmaların yapılması gerekmektedir. Özellikle deri endüstrisi atıkları ve arıtımı üzerine literatür bilgi eksikliği bulunması problemi daha ilgi çekici ve literatüre bilgi temin etmek açısından da önem taşımaktadır. Bu yönüyle bakıldığında yapılan çalışma deri endüstrisi biyolojik arıtma tesislerindeki işletme problemlerine, özellikle kabarma ve köpük problemlerinin çözümüne bir ışık tutacaktır.

YDABÇAĞ-100Y045 nolu TÜBİTAK tarafından desteklenen proje "Filamentli Bakterilerin Neden Olduğu Kabarma ve Köpük Problemi ve Populasyon Dinamiğine Olan Etkileri: Deri Endüstrisi Aktif Çamur Arıtma Sistemi" çerçevesinde problemin oluştuğu bir deri endüstrisi biyolojik arıtma sisteminin havalandırma havuzunda oluşan aktif çamur kabarması ve köpük problemine neden olan mikroorganizmaların araştırılması ve tanımlanması, sistemde meydana gelen mikrobiyolojik populasyondaki değişimlerin belirlenmesi ve problemin çözümünde literatürde kullanılan alternatiflerin ortaya konularak etkili bir kontrol ve çözüm yönteminin belirlenmesidir.

Bu araştırmanın yürütülmesini katkılarıyla destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na teşekkür ederiz.

2. ÖZET

Bu araştırmada Tuzla Organize Deri Sanayi Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde mikroskobik ve mikrobiyolojik çalışmalar ile filamentli mikroorganizmalar tanımlanmaya çalışılmış ve bu mikroorganizmaların aşırı çoğalmasına neden olarak kabarma ve köpük problemine yol açan parametreler incelenmeye çalışılmıştır. Ayrıca tesiste meydana gelen çok şiddetli kabarma ve köpük problemi hipoklorit uygulamasıyla çözülmeye ve sistemin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

İnceleme ve yapılan ölçümler sonucunda tesiste sürekli olarak 3 filamentli bakteri türünün (*Gordona (Nocardia) spp.*, *Microthrix parvicella*, *Nostocoida limicola* II) var olduğu ve bunların koşullara göre sistemde dominant hale geçerek kabarma ve köpük problemine neden olduğu bulunmuştur. Bu durumda ÇHİ 250 ml/g değerlerine ulaşarak sistemde önemli işletim ve verim problemlerine neden olmuşlardır.

Laboratuvar ortamında kurulan 3 değişik reaktörlerde yürütülen çalışmalarda yağ ile beslenen ve oksijen kısıtlaması uygulanan reaktörlerin filamentli bakterilerin çoğalmasına olan etkileri araştırılmış ancak yürütülen laboratuvar çalışmalarında oksijen kullanım hızı bakımından önemli bir farklılık bulunmamıştır.

Yapılan klor uygulama çalışmasında literatürde verilen klor konsantrasyonlarının üzerinde bir uygulama gerçekleştirilmiş ancak bu değer sistemdeki AKM miktarıyla oranlandığında günde verilen miktarın (3.0 g Cl⁻/ kg AKM-gün) literatürle bir uyum gösterdiği görülmüştür. Sisteme ilk klor uygulaması şok bir klor dozu ile başlanmış (207 mg/l) bu değer daha sonra 68 mg/l olarak uygulanmış, uygulama 2 hafta boyunca sistemin normal çıkış değerlerine ulaşınca kadar devam ettirilmiştir.

3. ABSTRACT

In this research, filamentous microorganisms which cause bulking and foaming problems have been tried to be identified in Tuzla Organized Leather Tanning Industry Biological Treatment System. Also, triggering parameters for excess-growth of filamentous microorganisms have been studied. Besides, bulking and foaming problem in the treatment system have been tried to be cured by using hypochloride.

Three filamentous bacteria species have been identified, (*Gordona (Nocardia) spp.*, *Microthrix parvicella*, *Nostocoida limicola* II) and found out that these filamentous bacteria have been causing bulking and foaming problem in the treatment system. During the bulking and foaming problem, SVI values reached to 250 ml/g and caused serious operational and treatment yield efficient problems in the facility.

In the Laboratory experiments, the oil and grease, the oxygen and the control reactors have been set to measure OUR of filamentous microorganisms and results were compared with related parameters. OUR results showed that there were no real difference for filamentous bacteria using OUR values.

Chlorination of the system to control bulking and foaming problem was continued for 12 days and high doses of hypochloride were applied. Application was started with a shock dose, 207 mg/l and then continued with 68 mg/l chloride concentration which were high dose values comparing to literature values. These values were not high comparing to MLSS concentration in the aeration basin, as chlorine load was around 3.0 g Cl⁻/kg TSS-day which is in accordance with literature values. Hypochloride application has been carried out for 12 days until reaching to normal operational effluent discharge values.

4. ANAHTAR KELİMELELER

Deri Endüstrisi, Aktif Çamur, Filamentli Mikroorganizmalar, *Gordona (Nocardia) spp.*, *Microthrix parvicella*, *Nostocoida limicola* II, Kabarma ve Köpük, Klorlama,

4. KEY WORDS

Leather Industry, Activated sludge, Filamentous Microorganisms, *Gordona (Nocardia) spp.*, *Microthrix parvicella*, *Nostocoida limicola* II, Bulking and Foaming, Chlorination,

5. GİRİŞ

Deri endüstrisi ülkemizin önemli sanayi sektörlerinden birisidir ve üretiminde oldukça fazla hacimde su kullanılır. Bu üretimden oluşan atıksuların karakterizasyonu etraflıca yapılmış ve kuvvetli atıksu karakterinde olduğu bulunmuştur (Ateş vd., 1997; Orhon vd., 1999).

Deri endüstrisi atıksularının kuvvetli atıksu karakteri göstermesi ve bu araştırmanın konusu olan Tuzla Deri Organize Sanayi Bölgesi Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin işletilmesinde önemli problemlere neden olmaktadır. Atıksuyun yapısındaki çeşitli toksik maddelerin, sülfürün, amnyağın ve özellikle yağ ve gresin bulunması sistemdeki mikroorganizmaların ekolojisinde önemli değişikliklere neden olmaktadır. Bunun sonucunda aktif çamur sisteminde bulunan değişik türdeki filamentli mikroorganizmaların hızla çoğalmasına etki ederek sıvı ve katı fazın ayrılmasında problem yaratan kabarma ve köpük oluşumuna neden olmaktadır.

Bu araştırmanın önemli bir kısmını oluşturan aktif çamur sisteminin mikrobiyolojik yapısı ve kabarma ve köpük probleminin oluşmasına neden olan filamentli mikroorganizmaların tespiti ve fazla çoğalmasının kontrol altına alınabilmesi, aktif çamurun doğal mikrobiyolojik yapısı ile kabarma ve köpük oluşumu sırasındaki mikrobiyolojik yapısı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca sistemin kabarma ve köpük problemini önlemede kullanılan klor uygulamasının kimyasal ve mikrobiyolojik karakterizasyonu yapılmıştır.

5.1.Aktif Çamur Sistemi ve Tarihçesi

Aktif çamur bir mikroorganizmalar karışımından meydana gelir ve ilk aktif çamuru prosesini Arden ve Lockett, İngilterede 1914 yılında tek bir tank kullanarak geliştirmişlerdir. Aktif çamur prosesi üzerine ilk kitap Martin tarafından yayınlanmış ve daha sonra Mohlman, Lockett, Sawyer, Alleman ve Prakasam tarafından özetlenmiştir. Aktif çamur sistemlerinde görülen kabarma problemi II. Dünya Savaşından önce biliniyordu. 1930'larda bir Amerikalı mühendis, Donaldson, kabarma problemini aktif çamur sistemini kompartmanlara ayırarak bastırabildi. Bu deneyim 1960'ın ortalarında substrat değişiminin incelenmesi ve aktif çamur kabarmasına neden olan filamentli mikroorganizmaların çoğalmasının önlenip bastırılması çalışmaları ile Hollanda, Çekoslovakya ve İngiltere de devam ettirildi. İngiliz Su Araştırmaları Merkezi 1960'larda aktif çamurdaki filamentli mikroorganizmaların çoğalmasını önleyen substrat değişiminin pozitif etkisini göstermek için gerçek kanalizasyon suyu ile bir seri deneysel çalışma yürüttü. Sonuçlar, bir sistemdeki substrat değişimi ne kadar yüksek olursa çamur hacim indeksinin o kadar düşük olduğunu gösterdi (Chudoba, 1989).

1965 de Hollanda da Rensink bir oksidasyon havuzunun besleme rejimini sürekli sistemden kesikli besleme şekline değiştirtince çamur hacim indeksinde önemli düşüşlerin olduğunu ve *Sphaerotilus* sp.'lerin aktif çamurdan kayboluşunu gösterdi.

Benzer çalışmalar Prag Kimya Enstitüsünde de sürdürüldü ve Prof. Madera aynı yükleme koşullarında tam karışimli sürekli sistemde 280 ml/g SVI değerlerine ulaşırken, doldur-boşalt modunda 70ml/g altında SVI sonuçları elde etti. Bu fark yüzünden tam karışimli sistemlerde filamentli mikroorganizmaların daha sık olarak ortaya çıkmasına neden olduğu bulundu. Geri devir çamurunun havalandırma havuzunun ilk giriş kompartmanına arıtılmış su ile birlikte

verilmesine “selektör” denilmekte olup bu terim literatürde “ön-karışım zonu” veya “ilk temas zonu” olarak da geçmektedir. Bu işletim şekli “kinetik seleksiyon” olarak bilinmektedir.

Biyolojik besi maddesi giderimi için aktif çamur sistemlerinin modifikasyonlarının tanıtımı ve geliştirilmesiyle filamentli mikroorganizmaların çoğalmasına anoksik ve anaerobik koşulların etkisi de çalışılmıştır. Bu seleksiyon mekanizması mikroorganizmaların karbon ve enerji kaynaklarını farklı kültür koşulları altında kullanabilme becerileri üzerine kurulmuş ve bu durum “metabolik seleksiyon” olarak adlandırılmıştır. Modern aktif çamur sistemlerinde kinetik ve metabolik seleksiyon mekanizmaları biraraya getirilerek iyi çöken çamur karakterine ulaşmak için kullanılmaktadır. Filamentli mikroorganizmaları kontrol altına almak için bu mekanizmaların yanında seçici olarak filamentli mikroorganizmaların gelişmesini önleyici ve flok yapıcı bakterilerin çoğalmasını teşvik edici ve seçici olmayan kabarmayı kontrol edici yöntemler kullanılmıştır. Şu anda seçici olmayan 2 metot arıtma sistemlerinde kabarmayı önlemede pratik olarak uygulanmaktadır.

1. aktif çamuru mineral koagülantlar ile ağırlaştırmak,
2. seçici olarak filamentli mikroorganizmalara klor ve ozon gibi kuvvetli oksidantlarla zarar vermek veya çoğalmasını engellemek.

Kabarmaya neden olan filamentli mikroorganizmaların tanımlaması ilk defa Eikelboom tarafından 1970 li yıllarda yapıldı. Hollandalı Eikelboom ve van Buijsen (1981) de bir biyolojik anahtar yayınlarak bu mikroorganizmaları basitçe tanımlayacak bir proses geliştirdiler. Bu çalışma daha sonra Jenkins, Richard ve Daigger (1993) tarafından modifiye edilerek geliştirilmiştir.

5.2. Aktif Çamur Mikrobiyolojisi

Tipik bir aktif çamur evsel atıksudan gelişir ve çok çeşitli organizmaları birarada tutar. Bunların belli başlı grupları bakteriler, virüsler, protozoalar, algler, mantarlar, mayalar, küfler, rotiferler, nematodlar, annelidler, tartigradlar ve daha yüksek hayat formlarıdır. Bu toplulukların sayıları, çeşitleri ve etkinlikleri atıksuyun karakterine, işletme koşullarına ve sistemin bulunduğu coğrafik şartlara göre değişebilmektedir.

Aktif çamur floğu normalde flok yapıcı ve filamentli organizmalardan oluşmaktadır. Filamentli mikroorganizmaların üzerlerine flok-yapıcı bakterileri ekstrasellular polimerlerin yardımıyla tespit etmesiyle aktif çamur floklarını oluştururlar. Bu yapıda filamentler flokun sıkı ve kuvvetli olması için yapı taşı olarak görev yapar. Aktif çamurda filamentli mikroorganizmaların çok fazla sayıda bulunması aktif çamur sisteminin iyi dizayn edilmediğini veya uygun bir şekilde işletilmediğini gösterir. Kabaran çamurda filamentler çok miktarda olup flok dışına uzanarak flokların çökme ve sıkılaşmasına girişim yaparlar. Filamentlilerin yokluğunda ise floklar küçük olup kolayca çöker ancak su fazı (süpernatant) bulanık kalır ki bu durum “pin point” olarak bilinir. Arzu edilen durum ise filamentli ve flok yapıcı organizmaların bir “denge” içinde çoğalması durumudur ki aktif çamur hızla çöker, sıkı floklardan oluşur ve berrak süpernatant verir.

Aktif çamurda bulunan en önemli mikroorganizmalar *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Chromobacterium*, *Azotobacter*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Alcaligenes*,

Arthrobacter, *Acinetobacter*, *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Lophomonas*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Sphaerotilus*, *Leptomit*, *Leucothrix*, *Beggiatoa*, *Microscilla* *Flexibacter*, *Vitreoscilla*, *Geotrichum candidum*, *Lineola longa*, *Pelonema subtilissimum*, *Spirulina albida*, *Haliscomenobacter hydrossis*, *Microthrix parvicella*, *Nostocoida limicola* ve pek çok filamentli bakteri tipleridir. Bu mikroorganizmalardan başka pek çok protozoa türleri *Vorticella* spp., *Opercularia* spp., *Epistylis* spp, *Paramecium* spp, *Bodo* spp, *Lionotus* spp ve diğerleri, mantarlardan mayalar ve küfler, rotiferler, kurtçuklar ve daha bir çok grup organizmalar aktif çamurda bulunabilir.

Biyolojik arıtma sistemleri günümüzün su ve atıksu arıtımında en fazla uygulama alanı bulmuş sistemleridir. Kullanımı ve sayıları bütün dünyada olduğu gibi Türkiye de de çevre kanun ve yasalarının çıkmasıyla hızla artmaktadır. Biyolojik arıtmanın bilinen pek çok avantajı olduğu bilinmektedir. Ancak her sistem gibi bu sistemlerinde iyi çalışmadığı, hatta pek çok ekstra problemi birlikte getirdiği problemler sık sık oluşmaktadır. Bunun pek çok nedeni olabileceği yapılan araştırma ve yayınlarda ortaya konmuş olmasına rağmen çözümü için kesin bir reçetenin olmadığı bilinmektedir. Çünkü problem genelde her tesis için özeldir. Her bir tesisin işletme koşulları, atıksu karakterleri ve aktif çamurunda bulunan mikroorganizmaları farklı farklı olması problemini çok bilinmeyenli bir denklem haline getirmektedir. Problemlerin çözülmesi bu parametrelerin iyi tanımlanmasına bağlı olmakla birlikte biyolojik sistemi oluşturan mikroorganizmaların çeşitliliği ve ilişkilerinin fazla olması nedeniyle kontrol edebilmek oldukça güçtür. Bu yüzden atıksuyun karakterinin, işletme koşullarının ve sistemin mikrobiyolojik yapısının iyi tanımlanması gerekir. İlk iki parametre sistemin dizaynı ve inşaatı sırasında belirlenmiş olmasına rağmen üçüncü parametre, yani mikroorganizmaların veya biyolojik yapının tespiti mümkün olamamaktadır. Biyolojik arıtma sistemlerinde ortaya çıkan problemlerin büyük bir kısmında mikroorganizmaların çeşitliliği önemli rol oynamaktadır. Bu yapıyı ortaya çıkarabilmek için öncelikle aktif çamur mikroorganizmalarını iyi tanımak gerekir.

Aktif çamur atıksu içerisinde bulunan inorganik ve organik maddeleri uzaklaştıran veya çevreye verilebilecek formlar haline çeviren mikrobiyolojik olarak zenginleştirilmiş kültür olup mikro- ve makro-organizmaların bir konsorsiyumudur. Bu konsorsiyumun %95'ini bakteriler ve %5'ini daha yüksek organizasyonlu canlılar (protozoalar, rotiferler ve daha yüksek organizasyonlu omurgasızlar) oluşturmaktadır. Aktif çamur prosesinin esasını flok-yapıcı ("zoogaleal") bakterilerin atıksu organikleri üzerinde çoğalarak son çöktürme havuzunda gravitasyonla çökmesi sonucunda temizlenmiş bir çıkış suyunun elde edilmesi ve yoğunlaşmış aktif çamurun tekrar geri devir ettirilmesi teşkil etmektedir.

Aktif çamurda gelişen her bakteri flok-yapıcı (tek hücreli konglomerat oluşturan) değildir. Bir çok tip filamentli organizma (pek çoğu bakteri ve bir kısmı mantar) aktif çamurda gelişebilir ve işletme problemlerine neden olabilir. En önemli ve sık rastlanan iki tanesi kabarma ve köpük problemidir. Bunlara ilave olarak rastlanan diğer problemler:dağılı çoğalma veya floklaşmama; pin-flok (iğne başı gibi çok küçük flok) gelişimi; çamur yükselmesi; ve fazla zoogaleal gelişmeden dolayı kabarma (slime bulking). Burada kabaran çamur yavaşça çöken ve sıkışan çamur olarak tanımlanabilir.

Bir aktif çamurun kabarma problemi genellikle çamur hacim indeksi değerinin (SVI) ≥ 150 ml/g olduğu durum olarak tanımlanabilir. Bununla birlikte son çöktürme havuzunun büyüklüğü, performansı ve hidrolik yüküne bağlı olarak oluşan çamur kaybindan dolayı her

bir tesisin kendine özgü spesifik bir SVI değeri vardır ve bu değer genellikle <100 ml/g ile >300 ml/g arasındadır. Bu durum göz önüne alındığında tesisin çöktürme havuzundaki çamur tutabilme kabiliyetine bağlı olarak kabaran bir aktif çamur sistemi kabarma problemine yol açabilir veya açmayabilir.

Belli miktarda filamentli organizma aktif çamur prosesine faydalıdır. Filamentli organizmaların eksikliği küçük ve kolaylıkla parçalanarak flokların oluşmasına neden olurlar iken diğer yandan iyi çökeltme özelliğine karşılık bu floklar arkasında bulanık çıkış bırakır.

Filamentler daha büyük ve kuvvetli flokların oluşmasına yardımcı yapıtaşları olarak hipotez edilmiştir. Bir miktar filamentin bulunması çökeltme sırasında küçük partikülleri tutarak daha iyi kalitede çıkış suyu elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Filamentli organizmaların miktarı veya uzunluğu 10^7 $\mu\text{m}/\text{ml}$ -aktif çamur 'a ulaştığında çökeltme ve kabarma problemi ortaya çıkmaktadır. Aktif çamurda filamentli organizmaların bulunması çamurun çökeltmesine ve sıkılaşmasına iki şekilde girişim yapar:

- (1) floklararası köprü oluşumu: filamentler flokların yüzeyinden floklar dışına uzanarak diğer bir flokla tutunur,
- (2) açık-floklar yapısı oluşumu: filamentler genellikle floklar içerisinde çoğalır ve floklar filamentlere tutunarak filamentlerin etrafında büyür. Bu durumda floklar daha fazla büyüyerek düzensiz şekilli bir hale gelir ve iç kısımda çok miktarda boşluk oluşur. Bu tip kabarma genellikle deneyimsiz araştırmacılar tarafından farkedilmeyebilir.

Biyolojik arıtma sistemlerinin özellikle aktif çamur gibi doğal karışık kültürlerin, arzu edilen en önemli özelliği iyi floklarlaşma ve çökeltmesidir. Optimum kültür şartlarında aktif çamur iyi floklarlaşır ve çöker. Floklar oluşumu atık suların çözünmüş organik maddelerin verimli bir şekilde uzaklaştırılması için bir ön koşul değildir, ancak berrak bir çıkış suyu kalitesi ve geri devir ettirilecek aktif çamurun yeteri kadar yoğunlaştırılması için gereklidir. Bu yönüyle iki tip aktif çamur tanımlanabilir: Flokula olan aktif çamur ve flokula olmayan aktif çamur (dağılı -dispersed- çoğalma gösteren aktif çamur). Dağılı çoğalmada aktif çamur mikroorganizmaları bir araya gelmezler, yığın oluşturmazlar ve çökebilir floklar meydana getirmezler ve çökeltmeyen askıda katı formunda çoğalma gösterirler. Bunun sonucu olarak son çökeltme çıkışı oldukça bulanık, yüksek KOİ ve BOİ içerir. Dağılı çoğalma iki temel problemten kaynaklanabilir. Birinci nedeni; prosesin teknolojik parametrelerinin (düşük çamur bekletme süresi-yaşı gibi) uygun olmaması ve ikinci olarak arıtılan atıksuyun kompozisyonu ve karakterinden (örneğin yüksek konsantrasyonlarda ağır metal içeriği aktif çamur floklarının parçalanmasına neden olabilir) dolaydır.

Aktif çamurun çökmesinde etkili olan floklar yapısından başka, çamurun çökmesini engelleyen önemli etkenlerden birisi de floklar yapısında bulunan ve onun makro yapısını oluşturan filamentli mikroorganizmaların miktarıdır. Çamurun yükselmesine veya yüzmesine neden olabilen bu mikroorganizmalardan başka denitrifikasyon süreci sonucu oluşan azot gazı da aktif çamur floklarının yüzmesine yol açabilir. Filamentli mikroorganizmalarca oluşturulan problemde flokların çökmemesinin nedeni filamentlerle flokların bağlanması ve yüzey alanlarının çok artırılması neticesinde yoğunluklarının suyun yoğunluğundan daha az duruma gelmesi nedeniyle.

Filamentli organizmalar ayrıca aktif çamurda köpürme problemine neden olmaktadır. Eğer atık içerisinde bu filamentli organizmalar varsa arada sırada da olsa aerobik ve anaerobik çürütücülerde de köpük problemi görülebilir. Aktif çamurda köpüğe neden olan filamentli organizmaların başında *Nocardia* spp., daha az olarak da *Microthrix parvicella* gelmektedir. Bu filamentli organizmalar viskoz, yoğun, stabil, kahverengi renkli köpüğe neden olurlar ve su spreyi ve köpük kırıcıları kullanılarak mekanik olarak giderilememektedir. Sıcak havalarda ise koku problemine yol açarak çevreyi rahatsız eder. Köpük eğer son çökeltim tankına taşınırsa çıkış suyu kalitesini bozarak deşarj standartlarının aşılmasına neden olabilir.

Aktif çamur köpüğü ciddi bir problem olarak karşımıza çıkabilir. Köpüğün kalınlığı havalandırma havuzunda 50 cm den 300 cm ye kadar ulaşabilir ve soğuk havalarda donarak büyük problemlere yol açabilir ki bu durumlarda katı hale gelmiş köpüklerin elle mekanik olarak uzaklaştırması gerekir.

Filamentli organizmaların özellikle *Nocardia* ve *Mycobacterium* türlerinin neden olduğu bir diğer önemli problem fırsatçı olarak insanlarda hastalıklara neden olmalarıdır.

Aktif çamur içinde bulunan filamentli organizmaların tanımlanması aşağıda belirlenen 5 konuda oldukça faydalıdır:

- (1) çökme ve köpük probleminin filamentli organizmaların çoğalması nedeniyle olup olmadığı anlaşılır.
- (2) farklı arıtma sistemlerinde oluşan kabarma problemine neden olan filamentli organizmaların farklı zamanlarda farklı türlerin gelişip gelişmediği görülür.
- (3) kabarmaya neden olan filamentli organizma(lar) için iyileştirme çalışmaları geliştirilebilir.
- (4) uygulanan iyileştirme çalışmalarının filamentli organizmaların sayısında ve tipinde meydana getirdiği değişiklikler değerlendirilebilir.
- (5) arıtma sistemi işletmecilerine ve laboratuvar personeline aktif çamur mikrobiyolojisinde deneyim kazandırır.

Bu konuların tam olarak problemi çözebileceği düşünülmemesi gerekir, bununla birlikte bunların problemi çözmede rehber olarak yardımcı olacağı bilinmelidir. Çünkü herhangi bir filamentli organizmanın neden olduğu kabarma ve köpük problemini gidermede kesinleşmiş bir reçete henüz bulunmamaktadır.

Günümüzde dominant olarak 5 farklı parametrenin hangi tür filamentli organizmanın çoğalmasına neden olabileceği belirlenmiştir. Bu nedenle kabarma probleminin başladığı ilk zamanlarında filamentli organizmanın tanımlanması önem taşımaktadır. Bu parametreler ve filamentli organizmalar Tablo 1 de verilmektedir (Richard, 1989).

Tablo 1: Aktif Çamur Kabarmasına Neden Olan Parametreler ve Koşullar

Kabarmaya Neden Olan Koşullar ve Parametreler	Belirgin Filament Tipleri
1.Düşük Çözünmüş Oksijen (uygulanan organik yüke göre)	Tip 1701, <i>S.natans</i> , <i>H.hydrossis</i>
2.Düşük Organik Yükleme Hızı (küçük F:M)	<i>M.parvicella</i> , <i>Nocardia</i> spp., <i>H.hydrossis</i> , Tipler 021N, 0041 0675, 0092, 0961, 0803
3.Septik atıklar/sülfürler	<i>Thiothrix</i> spp., <i>Beggiatoa</i> spp., Tip 021N
4.Nutrient Eksikliği (N ve/veya P)	<i>Thiothrix</i> spp., Tipler 021N, 0041 (sadece endüstriyel atıklar) ve 0675
5.Düşük pH (pH<6)	Mantar

Amerika Birleşik Devletlerinde aktif çamur arıtma tesislerinde yapılan araştırmalara göre kabarmaya neden olan ve en sık rastlanan filamentli organizmalar Tablo 2 de verilmektedir (Richard, 1989).

Tablo 2: ABD’de Aktif Çamur Arıtma Sistemlerinde En Sık Rastlanan Filamentli Organizmalar.

Önem Sırası	Kabarmaya Neden Olan Dominant Filamentli Organizmanın Tesislerde Filamentli Organizma	Bulunma %’si
2.	<i>Nocardia</i> spp.**	31
1	type 1701	29
2	type 021N	19
3	type 0041	16
4	<i>Thiothrix</i> spp	12
5	<i>Sphaerotilus natans</i>	12
6	<i>Microthrix parvicella</i>	10
7	type 0092	9
8	<i>Haliscomenobacter hydrossis</i>	9
9	type 0675	7
10	type 0803	6
11	<i>Nostocoida limicola</i>	6
12	type 1851	6
13	type 0961	4
14	<i>Beggiatoa</i> spp.	3
15	Fungi	1
16	type 0914	1
*	diğerleri	1

* 35 eyalette 270 aktif çamur tesisinden alınan 525 numunede yapılan inceleme sonucu.

** *Nocardia* spp. en çok bulunan filamentli organizma olup tesislerdeki problem kabarma ile ilgili değil ama köpük ile ilişkilidir.

İyi bir aktif çamur işletmeye başladıktan 7 hafta sonra sağlıklı bir yapı gösterebilir. Sağlıklı ve iyi çalışan bir aktif çamur sisteminde mikroorganizmalar bir uyum, denge ve çok çeşitte bir arada bulunurlar. Bu uyum ve çeşitlilik bir aktif çamur uzmanının mikroskop ile yapacağı

inceleme ile belirlenebilir. Aktif çamurun çökelme problemi SVI parametresiyle kolayca bulunabilir. Çamur hacim indeksi çökelmeye bırakılmış 1 gram kuru çamurun yarım saatte kapladığı hacim olarak tanımlanabilir. SVI 3 grup altında sınıflandırılabilir:

SVI < 100 ml g⁻¹ =Normal Aktif Çamur
SVI = 100-200 ml g⁻¹ =Hafif Aktif Çamur
SVI > 200 ml g⁻¹ =Kabaran Aktif Çamur

Çamur bekletme süresi 12 gün den fazla olan tesislerde genellikle actinomycetes sayısında ve köpük miktarında artış olmaktadır. Aktif çamur kabarma problemi filamentlilerin çoğalma hızı flok yapıcı organizmaların büyüme hızını geçtiğinde oluşmaya başlar ve toplam filament uzunluğu 10⁴ m/l veya 10⁴ m/g olduğunda görülür.

Aktif çamurda filamentli mikroorganizmaların fazla çoğalmasını ve büyümesini etkileyen nedenler şunlardır:

1. Atıksuyun kompozisyonu
2. Havalandırma tankındaki gerçek çözünmüş oksijen konsantrasyonu
3. Mikroorganizmanın beslendiği çözünmüş substratın gerçek konsantrasyonu
4. Çoğalma ile birikme kapasitesinin derecesi
5. Prosesin teknolojik parametreleri (çamur yükü ve yaşı) (Chudoba, 1989).

Aktif çamur sisteminin en önemli mikroorganizma grubunu oluşturan bakteriler çok değişik türleri ve etkinlikleri içerirler. Aerobik, anaerobik ve fakültatif bakteriler tek tek bulunabildikleri gibi birarada floklar oluşturarakta faaliyette bulunurlar. *Vibrio cholerae* (kolera), *Shigella dysenteriae* (dizanteri), *Salmonella typhi* (tifo), *Escherichia coli* (ishal) gibi ve diğer bilinen tüm hastalık yapıcı bakterileri (patojenler), azot çevriminde önemli olan özellikle nitrifikasyon ve denitrifikasyon bakterileri (*Nitrosomonas sp.* ve *Nitrobacter sp.*), fosfor depolayan bakterileri (*Acinetobacter sp.*, *Aeromonas sp.*, *Pseudomonas sp.* ve diğerleri), sülfür bakterileri (*Thiobacillus sp.*, ve diğerleri), flok yapıcı bakterileri (*Zoogloea ramigera* ve *Citromonas sp.*), filamentli bakterileri (*Noecardia sp.*, *Microthrix parvicella*, *Sphaerotilus natans*, *Beggiatoa sp.*, *Thiothrix sp.* gibi 30 dan fazla tür) ve diğer pek çok çeşitteki bakterileri aktif çamur sistemi yapısında birarada tutar. Arıtma sisteminin iyi çalışması için bakterilerin kontrol altında bulunması gerekir. Özellikle filamentli bakteriler eğer çok gelişirse kabarma ve köpük problemlerine yol açarlar.

Aktif çamur sistemlerinin performansı sıcaklıkla, biyolojik reaksiyonların hızlarını etkilediği için, etkilenmektedir. Aktif çamurun işletilebildiği en yüksek sıcaklık aralığı 35-40 °C olup bu değer mezofilik organizmaların çoğalabildiği maksimum sıcaklık sınırını göstermektedir.

Mikroorganizmalar için gerekli inorganik iyonlar Na, K, Ca, P, Cl, Fe, Cu, Mn, B, Mo, V, Co, I, Se, sülfat, ve bikarbonat dır. Örneğin *Escherichia coli*'nin inorganik kompozisyonu aşağıdaki Tablo 3 de verilmektedir.

Bir aktif çamurda sistem boyunca minimum O₂ miktarı 0,5 mg/l, havalandırma havuzu çıkışında minimum 2 mg/l, son çöktürme havuzunda ise denitrifikasyonu önlemek amacıyla 0,2 mg/l olmalıdır.

Tablo 3: *Escherichia coli* Hücresinin İnorganik Kompozisyonu

ELEMENT	Kuru Hücre Ağırlığındaki Oranı
Potasyum	1,5
Kalsiyum	1,4
Sodyum	1,3
Magnezyum	0,54
Klor	0,41
Demir	0,2
Manganez	0,01
Bakır	0,01
Aluminyum	0,01
Çinko	0,01

5.2.1. Tanımları Yapılmış Kabarmaya Neden Olan Mikroorganizmalar

Günümüzde moleküler tekniklerin gelişmesiyle birlikte filamentli mikroorganizmaların tanımları moleküler seviyede artmaktadır. Ancak mikroskobik inceleme, bazı biyokimyasal reaksiyonlar ve mikrobiyolojik tekniklerle yapılmış en kapsamlı çalışmalar, Eikelboom (1975, 1977), Richard (1989) ve Jenkins vd. (1993), tarafından yürütülmüş ve yaklaşık 30-40 kadar filamentli mikroorganizma bu araştırmacılar tarafından tanımlanmıştır. Tanımlanan bu filamentli mikroorganizmalar ve bilinen özellikleri aşağıda verilmektedir.

Sphaerotilus natans

Filamentleri flok yüzeyinden dışa doğru uzanır ve floklar arası köprü oluşturarak çökeltme problemlerine neden olur. Yalancı dallanma sıklıkla görülür ve bir ağaç dallanması görünümü kazanır. “Yalancı dallanma” da 2 filament birbirine yapışır ve 2 filament birbirinden uzağa doğru (dışa doğru) çoğalır. Birbirine değen trikomlar arasındaki sitoplazmalar genelde gerçek dallanmada olduğu gibi birbirleriyle temas etmezler. Filamentlerinin uzunluğu genel olarak 100-1000 µm dir ve bu boyut filamentliler için uzun sayılabilir. Oldukça uzun olan bu filamentli bakteri düz veya hafifçe eğimli morfolojiye sahiptir. Hücreleri çubuk şeklinde ve “sosis” görünümlü, 1.0-1.8 x 1.5-3.0 µm boyutlarında, gayet açık olarak görülebilen sıkı bir kılıf ile çevrilmiştir. Hücreleri septalar ile birbirinden ayrılır. Gram negatif, neisser negatif boyanma özelliği gösterirler ve sülfür granülleri bulunmaz. Ancak, genelde hücre başına 3 adet yuvarlak şekilli PHB granülleri sıklıkla görülür. Filamentleri üzerinde asılı epifitik bakteriyel büyüme görülmez.

Tip 1701

Filamentler genelde flokun iç kısmında içiçe geçmiş olarak bulunur ve sadece kısa filamentler floklardan dışarı doğru uzanır. Yalancı dallanma görülmez. Flok yapıcı organizmalar (*Zooglea* sp.gibi) Tip 1701’in etrafına tutunarak çoğaldığı için “açık ve dağılı flok” yapısı oluşur ve çökeltme problemlerine neden olur. Filament uzunluğu rölatif olarak kısa (20-100 µm) olup kıvrımlı veya eğimlidir ve uçları yuvarlaktır. Hücreler “sosis” görünüşlü çubuk şekilli, boyutları 0.7-1.0 µm x 1.0-2.0 µm dir. Filament kılıfa sıkıca uyan belirgin hücrelerden meydana gelmiştir. Hücrelerin septaları belirgin, Gram negatif ve Neisser negatif ve sülfür granülleri içermezler. Hücreler hemen her zaman PHB granülleri içerir ve hücre içi granül

olarak koyu renkli görülürler. Tip 1701'in en belirgin özelliği üzerinde çok miktarda epifitik bakterilerin asılı çoğalma (attached growth) göstermesidir ki bu durumda filamentin üzeri epifitik bakterilerce kaplı olduğu için tanımlanması güçleştirir

Tip 1701 filamentleri bazan flok yüzeyinden dışa doğru uzanan rozet şeklinde görüntü verir ki bu durumda filamentler üzerinde asılı çoğalma görülmez ve bu istenen bir durum olmayıp kötüye gidişi işaret eder. Bu durumda Tip 1701 hızla çoğalarak filamentlerinin üzerinde asılı çoğalmaya ve bakterilerin kolonileşmesine fırsat vermez.

Tip 1701 ABD de aktif çamur kabarma problemine en sık neden olan filamentli organizma olup incelenen 270 aktif çamur arıtma tesisinin %30'unda dominant olarak bulunmuştur.

Tip 0041

Filamentleri 100-150 µm uzunluğunda düz veya hafifçe eğimli kare şekilli (1.2-1.6 x 1.5-2.5 hücrelerden oluşmuş ve hücreler bir kılıf ile çevrilmiştir. Bazı büyük formu Tip 0041 filament genişliği 2.5-4.0 µm ye ulaşabilir. Evsel atıksu arıtan aktif çamur içinde bulunan türlerinde filamentler genelde flok içerisinde ve üzerlerinde asılı çoğalma gösterirler, endüstriyel atıksu arıtan aktif çamur sistemlerinde ise flok yüzeyinde veya flok dışında serbest olarak bulunurlar ve üzerlerinde asılı çoğalma göstermezler. Gram pozitif, ancak flok içinde bulunduğu ve flok dışına doğru taşmaya başladığında gram negatif iken gram pozitif olamaya doğru değişken gram karakter göstermektedirler. Hücre ve filament neisser negatif, ancak hücre içinde neisser pozitif granülleri bulunur, sülfür granülleri görülmez. Filament bir kılıfla çevrili olmasına rağmen mikroskop altında ancak trikomun uç kısmında görülebilir.

Tip 0675

Tip 0041 e oldukça benzer bir yapı göstermekle birlikte trikomun uzunluğu (50-150 µm) ve hücrelerinin boyutları (0.8-1.0 µm) daha küçüktür. Evsel atıksu arıtan aktif çamur sistemlerinde bulunan türleri genelde asılı çoğalma karakteri gösterirler. Endüstriyel atıksu arıtan tesislerde asılı çoğalma görülmeyebilir. Kılıf genelde mevcuttur ve gram pozitif ve gram değişken özellik gösterirler. Hücreler neisser negatif, neisser pozitif granülleri mevcuttur ancak sülfür granülleri bulunmaz.

Tip 021N

Filamentleri tipik olaak 1.0-2.0 µm genişlikte ve 100 - >1000 µm kadar uzunlukta olabilir. Trikomları düz, hafif eğimli veya hafifçe kıvrımlıdır. Filamentin uç kısmı ince ve alt kısımları daha kalın yapıdadır. Flok yüzeyinden dışa doğru uzanan bir yapı gösterirler. Hücre şekilleri yuvarlak, kare ve varil şekilli olabilir. Hücreler arasında daima bir septa bulunur. Hücre boyutları 1-2 x 1-2 µm kadardır. Hücreler gram negatif ve neisser negatif özellikte boyanır, ancak neisser pozitif granülleri bulunur. Eğer hücreler içinde sülfür granülleri bulunuyorsa gram pozitif boyanma özelliği gösterebilirler. Hücre içinde yuvarlak şekilli sülfür granülleri sıklıkla görülür. Sülfür testine genelde pozitif reaksiyon göstermekle birlikte bazan negatif reaksiyon gösterebilirler. Az da olsa bazı durumlarda "rozet-yıldız" yapı özelliği gösterirler. Filament üzerinde asılı çoğalma görülmez, kılıfları bulunmaz ancak yoğun bir hücre duvarları bulunur.

Thiothrix I

Düz veya hafifçe eğimli 1.4 µm - 2.5 µm genişliğinde ve 100 – 500 µm uzunluğunda floktan dışarıya doğru uzanan trikomu bulunur. Hücreleri dikdörtgen şekilli (1.4 - 2.5 x 3 - 5 µm), septalı ve aralarında boşluk bulunmaz. Filament üzerinde asılı çoğalma görülmez ve belirgin bir kılıf görülür. Gram negatif ve neisser negatif olmakla birlikte sülfür granülleri bulunduğu gram pozitif boyanma özelliği gösterirler. Kalın bir kılıf olması dolayısıyla gram boyamada dekolorizasyon işleminin etkili olamaması sonucunda yine gram pozitif boyanma reaksiyonu gösterebilirler. Neisser pozitif granülleri ve sülfür granülleri sıklıkla görülür. Bu organizmalar sülfür testine (S testi) kuvvetli reaksiyon gösterirler. Filament uçlarında gonadları bulunur ve rozet-yıldız morfolojik yapı sıklıkla görülür.

Thiothrix II

Filamentleri düz veya hafifçe eğimli, 0.7 – 1.4 µm genişlikte ve 50 – 200 µm uzunlukta flok yüzeyinden dışa doğru uzanır. Üzerinde asılı çoğalma görülmez, hücreler arasında septalar boşluksuz olarak mevcuttur. Hücreleri dikdörtgen şekilli, 0.7 – 1.4 x 1 – 2 µm boyutlarındagram negatif ve neisser negatif reaksiyon gösterirler. Neisser pozitif granülleri ve hücre içi sülfür pozitif granülleri bulunur ve sülfür testine pozitif reaksiyon gösterirler. Filament uçlarında gonadları bulunur ve rozet-yıldız şekilli morfolojik yapı gösterirler. Trikom bir uçtan bir uca eşit görüntü verir ve kılıfları mevcut olmasına rağmen tespit etmek güçtür. Filamentin büyümediği zamanlarda azda olsa asılı çoğalmaya rastlanabilir.

Tip 0914

Filamentleri düz veya hafifçe eğimli, 0.7 – 1.0 µm genişlikte ve 50 – 200 µm uzunlukta flok yüzeyinden dışa doğru uzanır veya serbest halde bulunur. Çok nadiren filament üzerinde asılı çoğalma görülür. Hücreleri kare şekilli (1.0 – 1.0 µm), septalı ve hücreler birbirine fazla sıkışık bulunmaz. Kılıfları bulunmaz, gram negatif ve neisser negatif reaksiyon vermelerine rağmen çok miktarda sülfür granülleri bulunduğu gram pozitif reaksiyon gösterirler. Neisser pozitif granülleri bulunabilir ve genelde sülfür granülleri kare veya dikdörtgen şekillidir. Sülfür testine reaksiyon göstermezler.

Beggiatoa spp.

Büyük ve düz filamentleri 1.0 – 3.0 µm uzunlukta ve filamentleri flok yüzeyinden dışa doğru uzanır veya aktif çamurda serbest halde ve aktif veya kayarak hareket (gliding) eden şekilde bulunurlar. Çok miktarda yuvarlak sülfür granülleri içerirler ve septaları sülfür granülleri mevcut iken kolayca görülemez. Sülfür granülleri yok iken hücreler dikdörtgen şekilli ve 1 -3 x 4 – 8 µm boyutlarındadır. Filamentlerinin üzerinde asılı çoğalma görülmez ve kılıfları bulunmaz. Gram negatif ve neisser negatif olmakla birlikte sülfür granülleri mevcut olduğunda gram pozitif reaksiyon verebilirler. Neisser pozitif granülleri genellikle bulunur.

Tip 1851

Trikomları düz veya hafifçe eğimli, 0.8 – 1.0 µm genişlikte ve 100 – 300 µm uzunlukta flok yüzeyinden dışa doğru uzanır veya demetler halinde bulunur. Kılıfları bulunmakla birlikte görülmesi oldukça zordur. Hücreleri dikdörtgen şekilli (0.8 x 1.5 – 2.5 µm), septalı ve

aralarında boşluklar bulunur ve üzerlerinde asılı çoğalma seyrek olarak görülür. Asılı çoğalan organizmaların konumu genelde trikoma dik olarak şekil gösterirler. Gram reaksiyonu zayıf pozitif (noktalı etki) veya negatif, neisser boyama reaksiyonu negatiftir. Sülfür granüllerine rastlanmaz.

Tip 0803

Oldukça üniform olan filament 0.8 µm genişlikte ve 50 -150 µm uzunluğunda düz veya hafifçe eğimli, flock yüzeyinden dışa uzanır veya endüstriyel atıksu arıtan tesis aktif çamurlarında serbest halde bulunur. Filament kılıfsız ve üzerinde asılı çoğalma görülmez. Hücreleri dikdörtgen şekilli (0.8 x 1.5-2.0 µm) septalarında sıklıkla göstermez. Gram ve neisser reaksiyonları negatif ve sülfür granülleri yoktur.

Tip 0092

Düz, düzensiz olarak eğimli veya kıvrımlı 0.8 – 1.0 µm çapında ve 10 – 60 µm uzunluğundaki filamentleri flock içinde bulunurlar. Hücreleri dikdörtgen şekilli (0.8 -1.5µm) ve septalı olup hücreler arasında boşlukları bulunmaz. Filament üzerinde asılı çoğalma görülmez ve kılıfları yoktur. Hücreler gram negatif boyanmasına rağmen trikomu neisser pozitif boyanır. Sülfür granülleri bulunmaz. Neisser boyama preparatı inceleninceye kadar miktarı genellikle az hesaplanır. Filamentleri kurduğunda daha geniş (1.0-1.2 µm) olarak görülür.

Tip 0961

Düz filamentleri 0.8 – 1.4 µm çapında ve 20 – 150 µm uzunluğunda olup genellikle flock yüzeyinden dışarıya doğru uzanır. Filament üzerinde asılı çoğalma görülmez ve filamentin hücreleri 0.8-1.4 x 2-4 µm boyutlarındadır. Gerçek bir kılıfları yoktur ve ince bir kabuk ile çevrilidirler, bu kabuk genelde filamentin uç kısmında içi boş olduğu zamanlarda daha belirgin olarak görülür. Filament gram negatif ve neisser negatif reaksiyon verir ve sülfür granülleri bulundurmazlar. Filament ışığı geçiren bir özellik gösterir ve hiç bir hücre içi yapı görülmez.

Microthrix parvicella

Düzensiz kıvrımlı filamentleri 0.6-0.8 µm çapında ve 50-200 µm uzunluğundadır. Filamentler flock üzerinde karışık kıvrımlı ve demetler halinde veya aktif çamur ortamında serbest halde bulunur. Filamentler üzerinde asılı çoğalma görülmez, dallanma göstermezler ve kılıfları bulunmaz. Hücreler arasında septa bulunmaz ancak çok miktarda hücre içi granülleri mevcut olup bu granüller “düğme” gibi sıralanırlar. Filament kuvvetli gram pozitif ve neisser negatif boyanır ve neisser pozitif granülleri bulunur. Filament içerisinde kısa açık boşluklar bulunabilir ve bunların kılıfla karıştırılmaması gerekir.

Nocardia spp. (*Gordona* spp.)

Oldukça kıvrımlı, dallı-budaklı (geyik başı veya arap saçı benzetmesi) 1.0 µm çapında ve 5-30 µm uzunlukta kısa filamentlerden oluşmuştur. Çoğunlukla flock içerisinde bazende aktif çamur ortamında, özellikle havalandırma havuzunda köpük birikimi olduğu durumlarda serbest halde bulunurlar. Gerçek dallanma ve misel oluşumu sıklıkla görülür. Filament

üzerlerinde asılı çoğalma ve kılıf görülmez. Hücre şekilleri genelde düzensiz ve 1.0 - 1.0 x 2.0 µm boyutlarında septalı, ve hücreleri arasında boşluk bulunmaz. Filament gram pozitif ve neisser negatif reaksiyon gösterir, neisser pozitif ve PHB granülleri mevcuttur ve sülfür granülleri bulunmaz. Filament üzerinde asılı çoğalma görülmez. En iyi görüntüleri gram boyamada elde edilir.

Nostocoida limicola I

0.6 – 0.8 µm çapında ve 100 – 200 µm uzunluğunda eğimli ve düzensiz kıvrımlı filamentlerden oluşmuştur. Filamentler flock içerisinde ve serbest halde aktif çamurda bulunabilir. Hücrelerin septalarını görmek oldukça zordur , eğer görülebiliyorsa hücreler oval şekilli ve 0.6-0.8 µm çapındadır. Kılıfları bulunmaz ve üzerlerinde asılı çoğalma görülmez. Gram ve neisser pozitif bu organizmada sülfür granülleri bulunmaz. Bu filamentli mikroorganizma *M. parvicella* ya neisser boyama reaksiyonu dışında çok benzer karakterler gösterir.

Nostocoida limicola II

1.2 – 1.4 µm çapında ve 100 – 200 µm uzunluğunda eğimli ve düzensiz kıvrımlı çoğunlukla flock içerisinde bulunan filamentlerden oluşmuştur. Hücre septaları açık ve hücreler oval şekilli (1.2 – 1.4 µm çapında), septalar arasında boşluklar bulunmaktadır. Kılıf bulunmaz ve sülfür granülleri yoktur. PHB granülleri çoğunlukla mevcuttur. Gram ve neisser boyama reaksiyonları oldukça değişken olmakla birlikte çoğunlukla gram negatiftir. Trikomun tamamı neisser pozitif olmakla birlikte negatif reaksiyon verdiği zamanlarda olmaktadır. Çok nadiren dallanma gösterebilir.

Nostocoida limicola III

1.6 – 2.0 µm çapında ve 200 – 300 µm uzunluğunda eğimli ve düzensiz kıvrımlı çoğunlukla floktan dışarıya uzanan filamentlerden oluşmuştur. Hücre septaları açık ve hücreler oval şekilli (1.6 – 2.0 µm çapında), septalar arasında boşluklar bulunmaktadır. Filament üzerinde asılı çoğalma göstermez, kılıf bulunmaz ve sülfür granülleri yoktur. PHB granülleri çoğunlukla mevcuttur. Gram ve neisser boyama reaksiyonları çoğunlukla pozitif olmakla birlikte çoğunlukla nadiren de olsa gram negatiftir.

Haliscomenobacter hydrossis

Düz veya eğimli ince 0.5 µm çapında 10 – 100 µm uzunluğunda floktan dışarıya doğru çıkan “yıldız” şeklinde veya serbest halde bulunan filamentlerden oluşmuştur. Kılıfları mevcut septaları bulunmaz. Trikomda yer yer boşluklar bulunur. Gram ve neisser boyama reaksiyonlarının her ikisinde negatiftir. Sülfür granülleri bulunmaz ve filamentleri demetler halinde görülür. Filamentler üzerinde az sayıdan çok sayıya kadar asılı çoğalma görülebilir. Mikroskopik olarak 100X büyütmelerde kolaylıkla görülüp tanımlanabilir.

Tip 0581

0.4 – 0.7 µm çapında ve 100 – 200 µm uzunluğunda hafifçe kıvrımlı filamentleri genellikle flock içerisinde ve azda olsa serbest olarak aktif çamur içerisinde bulunur. Filamentlerinde asılı

çoğalma formları görünmez, kılıf, hücre septaları ve sülfür granülleri yoktur. Gram ve neisser boyama reaksiyonlarının her ikisinde negatiftir. Bu mikroorganizma *M.parvicella* ya benzemekle birlikte gram ve neisser reaksiyonları farklılık gösterir.

Tip 1863

0.8 µm çapında 50 µm uzunluğunda flok yüzeyinden dışarıya doğru uzanan ve serbest olarak bulunan kısa ve düzensiz kıvrımlı filamentlerden oluşmuştur. Kılıf ve asılı çoğalma görülmez. Hücreler 0.8 x 1.5 µm boyutunda oval şekilli çubukların zincir şeklinde dizilmiş haliyle görülürler. Septalarda boşluklar bulunur ve sert trikom yapı göstermezler. Gram ve neisser boyama reaksiyonları negatif ve neisser pozitif granülleri vardır. Sülfür granülleri gözlenmemiştir.

Tip 0411

0.8 µm çapında 50 - 150 µm uzunluğunda flok yüzeyinden dışarıya doğru uzanan düzensiz kıvrımlı filamentlerden oluşmuştur. Filamentler uzamış-çubuk şekilli 0.8 x 1.5 µm boyutunda zincir görünümlü hücrelerden oluşmuşlardır. Filamentlerde kılıf ve asılı çoğalma görülmez. Gram ve neisser boyama reaksiyonları negatif ve sülfür granülleri bulunmamaktadır.

Tip 1702

0.6 - 0.7 µm çapında 20 – 80 µm uzunluğunda kısa, düz veya kıvrımlı flok içerisinde veya flok yüzeyinden dışı doğru uzanan filamentlerden oluşmuştur. Septasız, kılıflı ve nadiren asılı çoğalma görülebilir. Sülfür granülleri yoktur ve gram ve neisser boyama reaksiyonları negatiftir.

Tip 1852

0.6 - 0.8 µm çapında 20 – 80 µm uzunluğunda düz veya hafifçe kıvrımlı, flok yüzeyinden dışı doğru uzanan filamentlerden oluşmuştur. Hücreleri dikdörtgen şekilli (0.6 - 0.8 x 1.0 – 2.0 µm) ve septalarında boşluk bulunmaz, kılıfsız ve asılı çoğalma görülmez. Sülfür granülleri yoktur ve gram ve neisser boyama reaksiyonları negatiftir. Transparan olan bu organizma Tip 0961'e benzerlik gösterir.

Tip 0211

0.3 - 0.5 µm çapında 20 – 100 µm uzunluğunda kıvrımlı veya sarmallı-kıvrımlı, flok yüzeyinden dışı doğru uzanan filamentlerden oluşmuştur. Hücreleri çubuk şekilli ve septaları açıkça görülür, boşluk bulunmaz, kılıfsız ve asılı çoğalma görülmez. Sülfür granülleri yoktur ve gram ve neisser boyama reaksiyonları negatiftir.

Flexibacter spp.

1.0 µm çapında 20 – 40 µm uzunluğunda kısa, düz veya hafifçe kıvrımlı, serbest olarak aktif çamurda bulunan filamentlerden oluşmuştur. Bu filamentli bakteri kayma (gliding) ve esnemelerle (flexing) hareket eder. Kılıfsız, hücre septaları bulunmayabilir ve asılı çoğalma görülmez. PHB granülleri çoğunlukla vardır, gram ve neisser boyama reaksiyonları negatiftir.

Bacillus spp.

Uçları yuvarlakımsı çubuk şekilli, düzensiz zincir görünümlü 0.8-1.0 µm çapında ve 20-50 µm uzunluğunda filamentlerden meydana gelmişlerdir. Genellikle flok kenarlarında bulunurlar. Kılıfsız ve asılı çoğalma görülmez. Sülfür granülleri yoktur, gram ve neisser boyama reaksiyonları negatiftir.

Cyanophyceae

2.0-5.0 µm çapında, 100 – 500 µm uzunluğunda, düz ve büyük, serbest olarak aktif çamurda bulunan filamentlerden oluşmuştur. Hücreleri kareden dikdörtgene (2-5 x 2-8 µm) kadar değişen şekillerde bulunur ve açıkça görülen septaları vardır. Kılıf bulunmaz ve asılı çoğalma görülmez. Bu organizmalar yavaşça kayma hareketi yaparak hareket edebilirler. Filament mikroskop ile direkt ışık incelemesinde oldukça kolay fark edilebilen yeşil bir renkte görülür. Gram ve neisser boyama genelde negatif reaksiyon vermekle birlikte arada sırada hafif gram pozitif reaksiyonlar görülebilir. Sülfür granülleri bulunmaz.

Fungi (mantarlar)

Trikomları çok büyüktür ve gerçek çekirdekli lerdir. Boyutları 3-8 µm çapında ve 300-1000 µm uzunlukta, çoğunlukla flok içerisinde bulunurlar. Hücreleri dikdörtgen şekilli (3-8 x 5-15 µm), hücre içi granülleri ve organelleri olan ve sitoplazmik akıntıları bulunan organizmalardır. Filamentlerde gerçek dallanma görülür. Gram ve neisser boyama reaksiyonları negatiftir. Kılıf yoktur ve sülfür granülleri bulunmaz ancak yoğun bir hücre duvar yapıları göze çarpar.

Yukarıda kısa tanımları verilen filamentli mikroorganizmalardan başka her geçen gün yeni araştırmalar sonucunda bir çok yeni filamentli mikroorganizmalar bulunmaktadır ve biyolojik çeşitlilik biyolojik arıtma tesislerinin tipine, dizaynına ve ülkeden ülkeye çok büyük zenginlik göstermektedir.

5.2.2. Benzer Filamentliler ve Özellikleri

Değişik türler için değişik literatür bilgileri bulunmaktadır ve bunlardan bazı önemli türlerin tanınmaları yardımcı olabilecek, birbirleriyle benzerlikler bulunan türlerin ayrılmasını sağlayacak yardımcı bilgiler aşağıda verilmektedir.

Sphaerotilus natans evsel atıksu arıtan aktif çamur sistemlerinde, Tip 1701 ise eşit olarak evsel endüstriyel ve evsel-endüstriyel karışık atıksuları arıtan tesislerde dominant olmaktadır. Tip 1701'in çoğalmasını teşvik eden endüstriyel atıklar genellikle kolay ayrışabilen karbonlu atıkları içermektedir. Bu grup endüstriler içerisinde gıda, meyve, içki, meşrubat, bira, kağıt, süt ve et endüstri prosesleri ön plana çıkmaktadır.

Sphaerotilus natans 1914 yılında aktif çamur sisteminin başlangıcından beri kabarma probleminin amili olarak gösterilmiştir. Bugüne kadar pek çok *Sphaerotilus* türleri önerilmesine rağmen Bergey'in kitabında sadece *natans* türü yer almıştır. Yakın geçmişteki bazı yayınlara göre Tip 1701'inde *Sphaerotilus* cinsine ait olduğu bulunmuştur.

Sphaerotilus natans ve Tip 1701 izolatları amonyağı azot kaynağı, karbohidratları ve organik asitleri enerji kaynağı olarak kullanarak kolayca çoğalırlar. Her ikisinde tam aerobik olup düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında çoğalabilirler. 0.01-0.03 mg/l çözünmüş oksijen konsantrasyonu flok yapıcı bakterilere çoğalma için yeterli olmaz iken bu iki organizma için yeterlidir. Bu yönüyle bakıldığında bu iki organizma çözünmüş oksijenin düşük olduğu tesislerde problem olurlar. Havalandırması veya çözünmüş oksijen konsantrasyonu iyi olan arıtma tesislerinde flok yapıcı bakteriler daha hızlı çoğalacağından tesiste önemli işletim problemi çıkaramazlar. Bazı araştırma bulgularına göre Tip 1701 çözünmüş oksijen koşulları çok çok az ve şiddetli olduğu ve 0.2-0.3 F/M oranından daha küçük değerlerde, *Sphaerotilus natans* ise biraz daha fazla çözünmüş oksijene ihtiyaç duymaktadır ve genellikle oldukça yüksek F/M oranlarında (>0.5) problem olmaktadır.

Sphaerotilus natans ve Tip 1701 kılıflarının mikroskop altında görülerek incelenmesi ve tanımlanması özellikle Tip 1701 için oldukça zordur. Bu tanımlamanın sağlıklı olarak yapılabilmesi için özellikle kıvrım yerlerindeki hücreler arası boşluklara veya kayıp hücrelerin olduğu bölgelere bakarak daha kolay belirlemek mümkündür. İki önemli ipucu (metod) kılıfın varlığının ortaya çıkarılmasında yardımcı olur. Birinci metot %1 lik kristal viyolenin 1 damlası 1 damla aktif çamur numunesiyle (kültürüyle) karıştırılır ve bir preparat hazırlanarak 1000X faz kontrast mikroskopuyla incelenir. Hücreler koyu mor-menekşe boyanırken kılıf boyanmadan veya çok açık pembe renkli olarak boyanır. İkinci metot olarak, eşit miktardaki aktif çamur ile %01 lik çamaşır suyu seyreltisi karıştırılarak bir kaç saat veya bir gece bekletilir. Kılıf içindeki hücreler bu işlem sonucunda parçalandığı için boş kılıf rahatça incelenebilir.

Sphaerotilus natans ve Tip 1701 uygulanan organik yüke göre (F/M) havalandırma tankında düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında iyi gelişirler. Oksijen problemi havalandırma tankından başka bölümlerde de kendini gösterebilir. Çamurun 2. çöktürme tankında çok fazla bekletilmesi, geri devir çamuru boru hatlarının uzun olması oksijen eksikliği oluşturarak bu durum filamentlilerin avantaj elde etmesini sağlar.

Sphaerotilus natans ve Tip 1701'in fazla çoğalmasını önlemek için havalandırma havuzundaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu organik yüke göre sağlamak gerekir. Organik yük (F/M) arttıkça çözünmüş oksijen konsantrasyonu ihtiyacı da artar. Genellikle 2 mg/l çözünmüş oksijen konsantrasyonu bu filamentlilerin fazla çoğalmasını önlemek için yeterli olduğu söylenmekle birlikte bu "kurala"(2 mg/l Ç.O.) uymayan bir çok istisnai durum araştırmalarda gözlenmiştir. Bazı arıtım sistemlerinde kolay ayrışabilen organik bileşiklerin yüksek miktarda olması dolayısıyla flok içerisindeki organizma kültürü oksijene daha fazla ihtiyaç duyar ve bir oksijen limitasyonu problemine neden olurlar. Bu durum oksijen tüketim hızı ölçümü (OTH, veya OUR) çalışmalarında (genelde > 100 mg-oksijen/g-UAKM.saat) görülmektedir. Tip 1701 çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 6-12 mg/l olduğu tam oksijenli aktif çamur sistemlerinde çamur kabarmasına neden olduğu bulunmuş olmasına karşılık *Sphaerotilus natans* için böyle bir tespitle bulunulmamıştır. Böyle durumlarda çözünmüş oksijen konsantrasyonunu artırılarak Tip 1701 başarıyla kontrol altına alınmıştır. Aslında oldukça yüksek olan 6-12 mg/l çözünmüş oksijen konsantrasyonu bu gibi durumlarda "düşük çözünmüş oksijen" olarak kalmakta ve havalandırma havuzunda kabarmaya neden olmaktadır. Diğer bir önemli gözlem nitrifikasyon sırasında bu filamentli organizmalar bir problem olarak ortaya çıkmamaktadır.

Aritma sistemlerinde havalandırma havuzları genelde uzun ve dar kompartman ve tanklardan oluştuğundan ve geri devir aktif çamuru genelde ilk kompartmana verildiğinden çözünmüş oksijen konsantrasyonunun ölçüm yeri önem kazanmaktadır. Bu yüzden sisteme yeterli çözünmüş oksijenin verilip verilemediği bir soru olarak kalmaktadır ve bunun en iyi cevabı bahsedilen ilk giriş bölümlerinde (havalandırma havuzu girişi ve geri devir çamurunun girdiği bölge) ölçümün yapılması ve yeterli çözünmüş oksijenin sağlanması önem kazanmaktadır.

Havalandırma havuzuna yeterli çözünmüş oksijenin verilebilmesi için hesaplamada havalandırma havuzunun askıda madde(AKM) miktarı göz önüne alınması gereken bir diğer önemli parametredir. Askıda maddenin önemli bir kısmı 2. çökeltim tankında olduğundan dolayı havalandırma havuzundaki F/M oranı hesaplanan miktardan önemli miktarda daha yüksektir.

Bu filamentli organizmaların düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonu nedeniyle oluşturduğu kabarma problemi, sistemin çözünmüş oksijen konsantrasyonu ve F/M oranının değiştirilmesi ve ayarlanmasıyla iyileştirilebilir. Kabarma probleminin ortaya çıkması iyileştirilmesinden çok daha hızlı bir şekilde gelişir. Sistemdeki filamentlilerin sistemden çamur atılması ile uzaklaştırılması için gerekli zaman bu organizmaların çoğalması durdurulduktan sonra ortalama çamur bekletme süresinin 3 katı kadar bir zaman gerektirir. Ayrıca Tip 1701'in fazla çoğalması flok yapıcı organizmaların bu filamentliye yapışarak etrafında çoğalması neticesinde flok hacminin ve boyutunun artışına neden olur. Bu durumda çözünmüş oksijen konsantrasyonu yüksek olsa bile flok büyüdüğü ve floğun iç kısmına yeterli çözünmüş oksijen gitmediğinden Tip 1701 için uygun çözünmüş oksijen konsantrasyonu ve ortamı sağlanmış olur. Böylece Tip 1701 kendisini proseste tesis ettikten sonra oksijen konsantrasyonu yüksek konsantrasyonlara ulaşsa dahi boyutunu genişleterek ve flok büyüklüğünü arttırarak oksijenin flok içine geçişini azaltır ve kendine uygun ortamı sağlayabilir.

Sphaerotilus natans genelde "kolay" tanımlanan bir filamentli bakteri iken Tip 1701 zor tanımlanır. Tip 1701 in tanımlanmasında kullanılan özellikler diğer aktif çamur filamentli organizmalarına benzerlik gösterir ancak çoğalmasının nedenleri Tip 1701 de olduğu gibi düşük çözünmüş oksijen değil diğer parametrelerdir (örneğin, çoğu düşük F/M oranında çoğalır). Eğer Tip 1701'in tanımı yanlış yapılırsa iyileştirme için uygulanacak seçim tam tersine olabilir, örneğin F/M oranını arttırmak gibi, bu Tip 1701 için daha iyi işletim demektir.

Aktif çamurda bulunan filamentli organizmalar çoğalmalarına neden olan ortak özelliklerine, sülfür oksitleme özelliklerine ve benzer morfolojik yapılarına bağlı olarak birlikte göz önüne alınırlar. Tip 021N, *Thiothrix* spp. ve *Beggiatoa* spp. türlerinin hepsi ortak bir metabolik özellik olan miksotrofi gösterirler. Bu organizmalar heterotrofik olarak bir çok organik bileşimi kullanarak çoğalabilirler, ancak indirgenmiş sülfür bileşiklerini (örneğin H_2S) oksitleyerek enerji kazanabilirler. Bu özelliklerinden dolayı, atıksu içerisinde bulunan indirgenmiş sülfür bileşikleri bu organizmalara tamamen heterotrofik olan diğer organizmalara (örneğin flok yapıcılar) karşı bir avantaj elde etmiş olurlar. Burada bilinmesi gereken, sülfür oksidasyonundan enerji elde edilmesi tamamen anlaşılmış değildir. Bu organizmalar tam bir ototrofi göstermemekte ve organik bileşiklere çoğalmak için daima ihtiyaç göstermektedirler.

Tip 021N ve *Thiothrix* spp. aktif çamurda kabarmaya neden olan önemli türlerdir. Tip 021N ABD de kabarmaya neden olan filamentliler içerisinde 2. sırada (%19) ve *Thiothrix* spp. ler 4.

sıradadır (%12). *Beggiatoa* spp. ler aktif çamur sistemlerinde genellikle az miktarlarda bulunurlar ve nadiren kabarmaya neden olurlar. Bununla birlikte bu organizma damlatmalı filtrelerde tıkanmaya veya “göllenmeye”, biyodisklerde ise fazla çoğalma neticesinde oluşan ekstra ağırlık dolayısıyla şaftın bozulmasına neden olurlar. Her 3 filamentli organizmada flokları birbirine bağlayarak (inter-floc bridging mechanism) aktif çamurun kabarmasına neden olurlar.

ABD de, Tip 021N aktif çamur kabarma problemine neden olan en önemli filamentli organizma olup tesislerde en kötü çökme problemlerine (SVI değerleri çoğunlukla 500 ml/g değerlerini aşmıştır) yol açmıştır. Tip 021N diğer filamentli organizmalara göre oldukça büyük, “dayanıklı”, hızla çoğalabilme kabiliyetinde, bir kaç günde kabarma problemini ortaya çıkarabilen ve özellikle boyu çok uzun olan bir türdür. Tip 021N tek veya bir çok parametrenin kombinasyonlarının oluşması nedeniyle ortamda çoğalıp problem yaratabilirler. Bu parametrelerden en önemlilerini septik atıklar, yüksek miktarda sülfid içeren atıklar ve/veya organik asitler, azot eksikliği bulunan endüstriyel atıkların arıtımında (yalnız ve/veya evsel atıksularla kombinasyonu), arıtma sistemine gelen atık suyun kolay kullanılabilen çok miktarda basit şeker ve organik asit içermesi durumunda düşük F/M değerlerinde işletilmesi dir. Tip 021N'nin çoğalmasını teşvik eden endüstriyel atıksular genelde gıda işleme, mısır değirmenleri, bira ve malt sanayi, balık işleme, petrokimya, kağıt ve kağıt hamuru tesislerinde oluşmaktadır.

Tip 021N'nin tanımlanması oldukça basit ve kolaydır. Trikomları düz, hafifçe eğimli veya bazan hafifçe spiral kıvrımlı ve flock yüzeyinden dışa doğru uzanır. Filamentlerin kalınlığı 1-2 µm ve uzunluğu 100 >1000 µm kadar olabilir. En belirgin morfolojik özellikleri (her zaman gözlenmeyebilir) filamentin kalın bir tabanı ve daha ince olan bir uç kısmının bulunması, aktif çamur flokları içerisinde kolay görülmemesi, filamentin uç (terminal) kısımlarında gonidiyaların (belirgin olarak farklı, çubuk şekilli hücrelerin) bulunması ve daha az sıklıkla rozet yapısı (bir çok filamentin ortak bir noktadan dışa doğru uzanması) oluşturmaları gösterilebilir. Hücreler her zaman septalıdır ve hücrelerin morfolojileri dikdörtgen, kare, varil (septalardan hafifçe sıkılmış gibi), disk şeklinde (aynı filament içinde değişik şekilli hücrelere rastlanabilir) olabilir. Hücre boyutları genellikle 1-2 µm x 1-2 µm dir. Tip 021N Gram negatif ve Neisser negatif olmasına rağmen bazen Neisser pozitif hücre içi granülleri gözlenebilir. Çoğunlukla hücre içi sülfür granülleri bulunmamasına rağmen bulunduğu durumlarda faz kontrast mikroskobu ile incelendiğinde çok farklı olarak yuvarlak ve parlak sarı renkte görünürler. Tip 021N sülfür testine çoğunlukla pozitif cevap vermesi dolayısıyla (bazan negatif verebilir) bu özelliği tanımlamada kullanılabilir. Filament kılıf içermez ve üzerinde asılı çoğalma görülmemesine rağmen hücrenin parçalanması (lysis) sonucu kalın bir hücre duvarı kaldığından bunun kılıfımsı gibi gözlenmesi yanıltıcı olabilir.

Aktif çamur sistemlerinde *Thiothrix* spp. türleri farklı iki tür, Tip I ve Tip II olarak bulunabilir. Tip I 1.4-2.5 µm çapında ve 100-500 µm uzunluğunda, Tip II daha küçük olup 0.7-1.2 µm genişlikte ve 20-200 µm uzunluğundadır. Tip I çok belirgin kılıflı iken Tip II ince bir kına sahiptir ve her zaman mevcut olmayabilir ayrıca görülmesi oldukça zordur. Her iki filamentte düz veya hafifçe kıvrımlı, asılı çoğalma göstermeyen ve tabanında daha kalın ve uç kısmı daha ince bir yapı gösterirler. Hücreleri septalıdır ancak septalarda girinti bulunmaz. Hücreler genellikle dikdörtgen şekilli, hücre boyutları *Thiothrix* Tip I için 1.4-2.5 x 3-5 µm ve *Thiothrix* Tip II için 1.2 x 1.2 µm dir. Her iki türde Gram negatif ve Neisser negatif özellik göstermekte olup bazan Neisser pozitif hücre içi granülleri bulunmaktadır. Genellikle

dekolorizasyonun az yapılmasından dolayı kılıflı, büyük ve ağır Tip I filamentli Gram pozitif olarak görünebilir. Her iki tipte de yuvarlak şekilli sülfür granülleri hücre içinde (*in situ*) bulunur ve sülfür testine kuvvetli reaksiyon gösterirler. Apikal(uç) gonadlar ve rozet yapısı genellikle görülür. Tip I boyutlarının Tip II boyutlarından büyük olması nedeniyle kolayca ayırt edilirler. Tip II hücre içi granülleri bulunmadığı durumlarda diğer filamentlilerle pek çok ortak özellik gösterdiğinden (örneğin Tip 0803 ve Tip 0961) dolayı tanımlaması oldukça zordur. Tip II nin en belirgin özellikleri, filament tabanından filament ucuna doğru gidildikçe incelen bir morfolojik yapıya sahip olmaları, filament uçlarında gonadlar bulundurmaları ve rozet yapısı göstermeleridir.

Thiothrix orijinli kabarma probleminin nedenleri tıpkı Tip 021N için geçerli olan parametrelerdir. Septik atıklar, yüksek miktarda sülfid ve/veya organik asit içeren atıklar, veya azot eksikliği bulunan atıksular *Thiothrix*'in hızla çoğalarak kabarma problemine yol açmasının başlıca nedenleridir.

Beggiatoa spp.'lerin tanımı doğrudan kolayca yapılabilir. Bunun nedeni aktif olarak hareketli olan, esneyerek ve kayarak (gliding) hareket eden tek filamentli olmasındandır. Trikomun büyüklüğü 1-3 µm x 100-500 µm kadardır. Kılıfları yoktur ve asılı çoğalma görülmez. Bu filamentli organizma hemen hemen her zaman "yuvarlak" şekilli hücre içi (intraseküler) sülfür granülleri ile görülür. Hücreler dikdörtgen şekillidir ve boyutları 1-3 µm x 3-8 µm kadardır ancak bu hücreler hücre içi (intraseküler) sülfür granülleri oluştuğunda pek kolay kolay ayırt edilemez. *Beggiatoa* spp.'leri Gram negatif ve Neisser negatif olmasına karşılık çok miktarda sülfür granüllerinin oluştuğu durumlarda Gram pozitif olarak boyanabilir. *Beggiatoa* spp.'leri genellikle septik ortamların oluşması ve organik yüklemenin fazla yapıldığı koşullarla özdeşleşmiştir.

Hücre içi sülfür granülleri bulunduran diğer bir filamentli mikroorganizma Tip 0914 dır. Bu filamentlinin diğer sülfür okside eden ve sülfür granülü bulunduran filamentlilerden farkı sülfür granüllerinin "dikdörtgen" şekilli olmasıdır. Diğer 3 filamentli mikroorganizmada, *Beggiatoa*, *Thiothrix* ve Tip 021N de ise sülfür granülleri "yuvarlak" şekillidir. Bu özellik Tip 0914 için tanımlayıcı bir özelliktir. Tip 0914 evsel atıksu arıtma sistemlerinde nadiren kabarma problemine neden olur ancak, endüstriyel atıksu arıtma sistemlerinde, özellikle mısır işleyen tesislerin atıksu arıtma sistemlerinde kabarma problemine yol açmaktadır.

Type 1701 ve Type 0041: Bu filamentli bakteri ABD de meydana gelen kabarma problemlerinin %16 sıdandır sorumlu olup en fazla kabarmaya neden olan filamentli mikroorganizmalar arasında 3. olarak sıralanmıştır. İncelenen aktif çamurların %50 sinde az miktarlarda rastlanılmıştır. Az miktarlarda bulunduğu zamanlarda flokların daha büyük, kuvvetli ve "yapı taşı" olması bakımından faydalı olduğu söylenebilir. Bu filamentli mikroorganizma yalnızca çok fazla çoğaldığında çamur çökme problemine neden olur.

Genellikle evsel atıksu arıtma sistemlerinde rastlanan bu tür üzerinde çok miktarda serbest bakteri "asılı çoğalma" (attached growth) olarak yaşamaktadır. Bu şekilde çoğalan sistemlerde flok yapısının "açık ve dağılmış" bir yapı oluşturmaya neden olarak kabarma problemine yol açarlar. Bu tür filamentler bazen flok yüzeyinden ortama doğru uzanırlar ve floklar arasında köprüler oluşturarak çamurun kabarmasına neden olurlar ki genelde bu durumda asılı çoğalma görülmez, bu durum genelde endüstriyel arıtım sistemlerinde görülür.

Type 0041 türü Type 0675 türüne çok benzer olup sadece filamentin boyutunda farklılık bulunur. Type 0041 1.2-1.6µm genişliğinde ve 100-500µm uzunluğunda, Type 0675 0.8-1.0 µm genişliğinde ve 50-150 µm dir. Type 0041'in iri formlarında trikom genişliği 2.5-4.0 µm kadar gözlenebilir. Bu yüzden bazı araştırmacılar Type 0675'i küçük 0041 olarak tanımlarlar. Genellikle Gram pozitif olan bu türler bazen Gram değişken olabilirler, bunun nedeni asılı çoğalmadan dolayı olabilir. (Type 0675 Gram negatif olup yoğun asılı çoğalma gösterir.) Tanımlamada çok güvenilir olmayan bu durum da trikomun özellikleri daha belirleyici olabilir. Her iki tür de Neisser-negatif olmasına rağmen hücre-içi (intraseküler) granüller sıklıkla Neisser-pozitif olarak boyanırlar. Bu filamentlilerin dış tabakaları (coat) Neisser boyama ile açık menekşe renkli boyanır. Filamentler düz veya hafifçe kavisli kare şeklindeki hücrelerden oluşmuştur. Type 0041 trikomları özellikle attached growth oluşmadığı durumlarda *Cyanophyceae* 'nin renksiz trikomlarına benzerler. Böyle durumlarda Type 0041 canlı muayenelerde Type 021N ile karıştırılabilir. Bu türlerin tespiti kılıfın (sheath) varlığı (Type 0041) veya yokluğunun (Type 021N) incelenmesiyle bulunabilir. Bu durum ışık mikroskobu ile kolaylıkla ayırt edilemez, çünkü bazen Type 021N de yabancı kılıf oluşturabilir. Type 0041'in trikom içindeki hücreleri dikdörtgen şekilli ve septalarla açık bir şekilde ayrılmıştır. Type 021N hücreleri ise daha çok varil şekilli ve diskoid hücrelerden oluşmaktadır. Tanımlamalarında genelde faz kontrast mikroskoba güvenmek Gram boyama özelliklerine güvenmekten daha iyidir (Jenkins, vd. 1994, Richard 1989, Wanner, 1994). Type 0675 bazen Type 0914 ve *Thiothrix* spp. ile karıştırılabilir. Bu iki tür genelde hücreiçi sülfür granüllerinin bulunması ve askıda çoğalma göstermemeleri ile Type 0675 den ayrılır.

Type 0041 ve Type 0675 sadece evsel atıksu arıtma tesislerinde aktif çamurun uzun bekletme sürelerinde (10-40 gün) veya düşük F/M değerlerinde (0.02-0.2) işletildiğinde çamur kabarmasına neden olurlar. Bunlara ilaveten azot ve fosfor eksikliğinde de probleme neden olabilirler. Oksijen eksikliği veya atığın septik olması bu iki filamentlinin gelişimi ile bir ilişkisi kurulamamıştır. Genelde bu filamentliler endüstriyel atıklarda yüksek miktarda kolay ayrışabilir karbohidratların (örneğin kağıt ve bira endüstrileri) bulunması durumlarında problem yaratırlar. Aerobik çürütücülerde de görülebilmelerine karşılık arıtmada problem çıkarmazlar.

Bu türlerin kontrolü F/M oranının ayarlanmasıyla, çamur atımını arttırarak, tam karışımli sistemi piston akımlı havalandırma havuzu sistemine çevirerek veya bir selektör kullanımı ile kontrol edilebilirler. Geriye döndürülen aktif çamurun klorlanması da etkili çözümlerden birisidir. Klorlama ile CHİ (SVI) da meydana gelecek azalma yavaş olabilir bunun nedeni henüz sistemden atılmamış olan boş kılıfların çökelmeye girişimde bulunmasından dolayıdır. Sistemdeki boş filamentlerin yıkanması veya atılması için gerekli zaman sonunda SVI da düşecektir.

Güney Afrika'nın Durban ve çevresinde aktif çamur tesislerinde yapılan filamentli bakteri araştırmasının sonuçlarına göre en fazla bulunanlar sırasıyla; (1) *Nocardia* spp., (2) Type 0041, (3) Type 0675, (4) Type 1851, (5) Type 021N, (6) *Nostocoida limicola* II, (7) *Sphaerotilus natans*, (8) *Thiotrix* I ve II ve (9) *Beggiatoa*. *Nocardia* spp türleri köpük numunelerinde dominant olan tek filamentli bakteri olarak bulunurken, Type 0914, *Microthrix parvicella* ve *Sphaerotilus natans* arasına bulunmuştur. Bulunan tüm filamentli bakteriler yıl boyunca sistemlerde görülmüştür. Filamentli mikroorganizma populasyonlarının mevsimsel bir seyir izlediği gözlenmiştir. Kış ayları ve erken baharda maksimuma ulaşp yaz döneminde minimuma düştükleri belirlenmiştir. Bu mevsimsel değişimler temel olarak

Microthrix parvicella, *Nostocoida limicola* ve Type 0092 bakterilerinin üzerinde etkili olmaktadır. *Nocardia* spp ve *Microthrix parvicella* özellikle kış aylarında dominant halde bulunmuştur. *Microthrix parvicella* evsel atıksuları ve 15 °C Type 0092 partiküler madde içeren atıksuları tercih etmekte olup popülasyonunun büyüklüğü kışın minimuma, sonbaharda ise maksimuma ulaşmaktadır. Bu nedenle filamentli bakterilerin mevsimsel ve giriş atıksu şartlarından etkilendiği söylenmektedir. *Nostocoida limicola* II ve Type 0092 benzer morfolojik yapı ve boyanma reaksiyonları göstermelerine karşılık, *Nostocoida limicola* II sıklıkla görülmesine rağmen Type 0092 (besi maddesi gideren sistemlerde genellikle bulunan bir tür olmasına rağmen) bu sistemlerde görülmemiştir. *Nostocoida limicola* II filamentleri belirgin oval şekilli hücrelerle birlikte PHB granülleri gösterirken, Type 0092 dikdörtgen şekilli hücrelerden meydana gelmiştir (Lacko vd, 1999).

Blackbeard ve diğerlerine göre (1986), Type 0092 ve *Microthrix parvicella* Güney Afrika da besi maddesi gideren sistemlerde dominant olarak bulunmuştur. Bu çalışmada Type 0092 hiçbir mixed liquor ve köpük numunelerinde bulunmamıştır. *Microthrix parvicella*, Type 0041, ve Type 0675'in en fazla rastlanan filamentliler olması bu türlerin pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen gibi bir çok parametreye karşı göstermiş oldukları yüksek adaptasyon kabiliyetine bağlanmaktadır.

Sphaerotilus natans, *Thiotrix* I ve II *Beggiatoa* spp. ve *Haliscomenobacter hydrossis* türleri sadece spesifik tesislerde görülmüştür. Bunun nedeni atıksuyun kompozisyonuna ve tesisin konfigürasyonuna (besi maddesi gideren veya besi maddesi gidermeyen tesisler) bağlanmaktadır. *Sphaerotilus natans*'in Güney Afrika'daki besi maddesi gideren sistemlerde fazla bulunmamasının nedeni olarak anoksik şartlar altında yaşayamamasıdır. Ancak Jenkins vd., (1984) tarafından bir bira endüstrisinde kompleks karbohidratları kullandığı tek bir tesiste (Amanzimtoti) bulunmuştur. Pek çok çalışma sonucuna göre çamur kabarma ve köpük problemine Type 0041, Type 0675, *Microthrix parvicella* ve *Nocardia* spp. türlerinin neden olduğu bilinmektedir. Güney Afrika da incelenen tesislerin hiç birinde kabarma problemi (SVI>150 mg/l) görülmemesine rağmen tesislerin %83'ünde köpük oluşmuştur.

Microthrix parvicella zengin yağ asitli ve düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonu olan atıksularda iyi gelişir (Slijkhuis ve Deinema, 1988). Benzer olarak Mamais ve diğerleri, (1998) *Microthrix parvicella*'nın düşük sıcaklık ve uzun zincirli yağ asitlerini tercih ettiğini göstermiştir. Ancak yüksek yağ asitleri ve düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonu içeren bir gıda endüstrisi atıksu arıtma sisteminde bu filamentlinin dominant bir durumu görülmemiştir. Bunun nedeni olarak sıcaklığın bu organizmanın gelişmesinde bu parametrelerden daha etkili olduğu söylenebilir. *Microthrix parvicella* 26-35 °C sıcaklık aralığını tercih etmektedir. Güney Afrika'da incelenen tesislerin hiç birisinde bu sıcaklık aralığına rastlanılmamıştır. Bu yönüyle bakıldığında *Microthrix parvicella*'nın Güney Afrika'daki tesislerde niçin dominant hale geçemediğini göstermektedir. İncelenen Güney Afrika tesislerinden alınan köpük numunelerinin hepsinde *Nocardia amarae* benzeri organizmalar dominant olup, bulunan diğer önemli türler Type 0914 ve *Microthrix parvicella* (köpük numunesi alınan tesislerin %66'sında) ve *Sphaerotilus natans* (%16'sında) dır. Pek çok nokardia benzeri formlar morfolojik olarak çok benzer olup mikroskopik olarak tanımlamalarının ve ayırımlarının yapılması çok zordur. Bu yönden *Nocardia* türleri *Nocardia amarae* benzeri organizmalar olarak refere edilmektedir.

Yukarıda sözü edilen filamentli mikroorganizmanın çoğalmasında ve problem çıkarmasında temel olarak ortak olan parametreler; septik atıklar veya H_2S içeren atıklar, azot eksikliği bulunan endüstriyel atıksular (BOİ/N oranı 100/5 den küçük olan), ve arıtma operasyonu küçük F/M değerlerinde sürdürülürken atıksuda önemli miktarda organik asit ve basit şekerlerin bulunmasıdır.

5.2.3. Aktif Çamur Protozoa, Rotifer ve Nematod Ekolojisi

Bir aktif çamur sisteminin besin zincirine bakıldığında predatorların sayısının bakterilerle karşılaştırıldığında çok az olduğu görülür. Predatorlar-avcılar tipik olarak besi zincirinin ancak birkaç halkasını prey-av yiyerek beslenirken, omnivor ve süpürücüler (scavengers) daha geniş bir beslenme ağına sahiptir. Bir aktif çamur sisteminde yiyecek (substrat) azalınca yukarıdaki cümleden de anlaşılacağı üzere süpürücüler ve omnivorlar hayatîyetlerini devam ettirirken, predatorlar hayatîyetlerini devam ettiremez ve ortamdan yok olurlar. Bakteriler flokların içinde veya etrafında serbest halde bulunurlar. Yüzücü ve kayma yapan silliler suda bulunurlar ve bakteri ve diğer avları yiyerek yaşarlar. Saplı silliler biyokütle yapışarak askıdaki bakterilerle beslenirken sürünücü silliler flok yüzeyinden kopardıkları bakterilerle beslenirler. Omnivorlar, örneğin rotiferler her türlü kolayca elde edilebilen besinleri alarak beslenirler. Kurtçuklar (Nematodlar) ise genelde flokları ve daha büyük avları yemeyi tercih ederler. Aktif çamurda bulunan türler çıkış suyunun kalitesi ile ilişkilidir. Örneğin *Paramecium aurelia* yalnızca BOİ'nin 10 mg/l den az olduğu çıkış sularında görülürken, *Paramecium trichium* BOİ'nin daha yüksek olduğu çıkış sularında da bulunabilmektedir. Bu yönüyle incelendiğinde *Paramecium aurelia* bulunan çıkış sularının daha yüksek kaliteli çıkış suyuna sahip olacağı tahmin edilebilir. Aktif çamurda bulunan mikroorganizmaların çeşitliliği bulundukları ortamın besin(substrat), çözünmüş oksijen, sıcaklık, pH, toplam çözünmüş madde, çamur yaşı, toksinlerin bulunup bulunmaması ve diğer parametrelere bağlı olarak değişeceğini göstermektedir. Diğer faktörlerin limitleyici (kısıtlayıcı) olmadığı durumlarda besin (substrat = organik yükler) mikroorganizmanın sayısını, çeşitliliğini ve türlerini düzenleyen önemli bir parametredir. Bu farklı yüklemelerde bazı organizmaların niçin çok miktarlarda bazılarının da niçin az miktarlarda veya bulunmadığını açıklamaktadır. Örneğin *Opercularia coarctata* çok düşük organik yüklemeli (food/mass (F/M) yükü >0,2) sistemlerde bulunmamasına rağmen, F/M oranı 0,2 ve 0,4 olan sistemlerde sayısı maksimuma ulaşmaktadır. Bu organizma normalde uzatmalı havalandırmalı sistemlerde bulunmamasına karşılık, normal yüklemeli tam karışım, konvensiyonel ve kontak stabilizasyonlu sistemlerde bulunabilmektedir.

Aktif çamur sisteminin yapısında bulunan en önemli grupların ikincisi olan protozoalarda çok değişik türleri içerirler. Aktif çamur sisteminin devreye alınması sırasında çok fazla sayıda bulunabilirler. Pek çoğu aerobik heterotrof bir kaçı ise anaerobiktir. Özellikle dağılmış bakterileri ve organik partiküler maddeleri yiyerek enerji sağlarlar ve çoğalırlar. Pek çoğu hareketli serbest, bazıları ise aktif çamur sisteminin flokları içinde tutulu olarak yaşarlar. 200 kadar türü aktif çamurda bulunabilir. Sayıları 100 - 100000 adet / ml aktif çamur arasında değişmektedir. Diğer bir kaynağa göre protozoa ve metazoa sayısı tipik olarak 1-10 milyon/l olarak verilmektedir. Genelde iyi bir aktif çamurda 500-5000 adet / ml protozoa bulunur. En önemli aktif çamur protozoaları:

Paramecium sp.: Aktif çamurda bazen çok fazla sayıda bulunabilen bu silli protozoanın orta boyutlu (100 µm) ve iri boyutlu (300 µm) olanlarına rastlanabilir. Hücre şekli çok değişik şekiller alabilecek esnek yapıda olmasına rağmen genelde ayak veya terlik şekilli veya puro şekilli olabilir. Hücresinin tüm yüzeyi üniform olarak dağılmış sillerle kaplıdır ve ağız açıklığında daha uzun silleri bulunur. Sillerini çok hızlı titreştirerek yumuşak bir kayma hareketi ile serbestçe yüzer ve besinlerini ağız açıklığından sillerini kullanarak içeriye yönlendirir. Bu yönüyle *Paramecium* filtre yaparak beslenen silli organizma olarak tanımlanır. Aldığı bakteri ve diğer besinleri, hücresinin içinde oluşturduğu beslenme boşluklarında parçalar. Bu beslenme boşlukları vücudunun içinde bir uçtan bir uca hareket edebilir. Diğer bir *Paramecium* hücresiyle birleşmiş (konjugasyon) durumda görülebilir. Hücresinin içinde bir veya iki su boşluğu (pompa) bulunur ki bu tanımlamasını kolaylaştırır. *Paramecium* türleri çıkış suyu kalitesinin kalitesinin göstergesi olarak kullanılabilir. Eğer sayıları çıkış suyunda önemli miktarda fazla ise bu suyun:

BOİ'si = 0-30 mg/l

Amonyak'ı = 0-20 mg/l

Suyun Kalitesinin = değişken

olduğu söylenebilir.

Chilodonella uncinata : Boyu yaklaşık 100-150 µm olup serbest yüzen sillilerin bir üyesidir. Oval yapıdaki bu protozoa gövdesinin üzerindeki çok sayıdaki silleri ve kısa tüyleri ile hareket eder. Aktif çamur sisteminde bakteri sayısının fazla ve çözünmüş oksijen konsantrasyonunun nispeten yüksek olduğu zaman çok sayıda bulunur. Eğer bu ve diğer serbest yüzen silli protozoalar baskın grup olarak bulunuyorsa bunun anlamı aktif çamurun henüz kararsız ve çamurun çok sağlıklı olmadığı (orta-vasat) söylenebilir.

Lionotus sp. : Boyu yaklaşık 50 µm şişe şeklinde silleri yalnızca sırt tarafında bulunan bir protozodur, vasat bir aktif çamuru yansıtır.

Aspidisca cicada : Boyu yaklaşık 25-60 µm tüylü, düz bir yapıya sahip protozodur. Bu tüylü sillinin aktif çamurda bulunması kararlı bir atıksunun geldiğini ve sağlıklı bir aktif çamur olduğunun göstergesidir.

Bodo candatus : Boyu 10-25 µm kadar kamçılu bir protozodur. Oval şekle sahip olan bu protozoada iki kamçı vardır. Kamçılu protozoalarda genelde aktif çamurun düşük çözünmüş oksijen değerlerinde veya arıtma sisteminin işletmeye alınması devresinde çok sayıda bulunurlar. Eğer diğer zamanlarda sayıları çok ve baskın grup ise aktif çamurun sağlıklı ve kararsız bir atıksu ortamını gösterir.

Vorticella sp.: Boyu 30-150 µm olan saplı ve tüylü protozoaların bir üyesidir. Bu protozoa bir sapın ucunda çan şeklinde gövdesiyle asılı durur ve organizmaların şekli oval ve yuvarlak olabilir. Çanın etrafı çepeçevre tüylerle kaplıdır. Bunlar genelde aktif çamur floklarına bağlı olarak tek tek bulunurlar, dallanmamışlardır. Sapları kontraktil özellik gösterip uzayıp-kısalabilir. Her bir sapın ucunda hücre bölünmesi dışında tek bir hücre bulunur. Yeni oluşan hücre bir bant halinde yüzücü siller geliştirir ve ana hücreden ayrılarak kendi sapını oluşturur. *Vorticella* çevresinde silleri ile vorteks oluşturarak yiyecekleri (bakterileri) kendisine çekerek beslenir. Bunların en önemli besin kaynağını askıda kalmış bakteriler oluşturur. Kontraktil

sap bir parça hareket olanağı sağlar, sapın bu hareketi besin partiküllerini yakalamaya yardımcı olurken ayrıca predatorlarından kaçmaya olanak sağlar. Aktif çamurda 10'dan fazla türü bulunmuştur. Sapın ani kasılması bir spiral yayın esnemesi gibi bir hareket yapar. *Vorticella* hücresi sapı terk ederse işletme koşullarının kötü olduğu (örneğin çözünmüş oksijenin düşük veya toksik maddelerin miktarının fazlalığını veya varlığını gösterir. Böyle durumlarda pek çok sapsız hücre mikroskopik incelemede görülür ve aktif çamurun kötü şartlarının bir göstergesi olarak iyi bir durum teşkil eder. *Vorticella* türleri aktif çamurun yüksek kaliteli çıkış suyu verdiği durumlarda mevcuttur. *Vorticella microstoma* gibi birkaç türün varlığı sistemin yüksek organik yüklerle çalıştığının ve çıkış suyu kalitesinin de kötü olduğunun bir göstergesidir. Çıkış suyunun BOİ ve Amonyak parametrelerinin miktarına bağlı olarak farklı *Vorticella* türleri gelişmesine rağmen genelde çıkış suyunda bulunmaları iyi kalitenin göstergesidirler.

Carchesium sp. (100-125µm) ve *Epistylis* sp. (70-100µm) protozoaları ise koloniler halinde toplu olarak bulunurlar ve dallanmışlardır. Saplı sillilerin aktif çamurda bulunması atıksu ortamının kararlı ve flokların olgunlaşmış olduğunun bir göstergesi olup iyi bir aktif çamuru işaret eder.

Euglypha sp.: 70-100µm boyutunda kabuklu bir amiptir. Amipler hücrelerinin bir kısmını dışa doğru uzatarak ve sitoplazmalarını oluşturdukları yalancı ayakları (pseudopod) yönüne akıtmaları ile hareket ederler. Kabuklu amipler hücrelerinden çıkardıkları salgılardan, hücre dışı maddelerden veya kum parçacıklarından oluşmuş sert bir kabuk ile örtülüdürler. *Euglypha* sp'nin hücre içinden dışarıya verdiği salgılarla oluşan kabukta yaklaşık 150 tane oval plaka vardır. Belkemiği şeklindeki sert çıkıntıları kabuğun alt orta kısmından arkaya doğru uzanır. *Euglypha*'nın belkemiği çıkıntıları tek, ikili veya üçlü grup şeklinde olabilir. Kabuğun bir açıklığı olup mikroskopta yüksek büyütmelede bakıldığında bu açıklığın çevresinin köpek balığı dişlerine benzer 8-11 plaka olduğu görülür. Kabuk genellikle ışık geçirgen (transparen) olduğu için hyalin(sulu) yapılu vücudun içinin görünmesini mümkün kılar. Pseudopodları beslenirken veya hareket ederken uzun ince ışık gibi geriye doğru uzanır. *Euglypha* öncelikle bakterileri yiyerek beslenir. Kabuklu amipler bozunmaya başlamış organik maddelerin bulunduğu topraklarda, arıtma sistemlerinde ve akarsuların diplerinde sıkça bulunur. Çok değişik koşullara uyum gösterdikleri için iyi bir indikatör organizma değildirler. Uyum gösterdikleri koşullar hakkında fazla bilgi bulunmamaktadır. Arıtma sistemlerindeki sayıları çamur yaşı arttıkça artış göstermektedirler. BOİ'si 0-50 mg/l ve amonyak 0-30 mg/l olduğu çıkış sularında görünebilirler ve suyun kalitesi için değişkendir denebilir.

Diğer önemli protozoalar *Amoeba*, *Colpidium*, *Suctorina* sayılabilir.

Protozoaların mikroskop ile incelenmesi aktif çamurun kalitesi hakkında oldukça faydalı bilgi verir ve aktif çamur günlük olarak kolayca kontrol edilerek aktif çamurun kalitesi hakkında bilgi edinilir.

Rotiferler aktif çamur sisteminin en önemli üçüncü grubunu oluşturan omurgasız hayvanlardır. Boyları yaklaşık 100-500 µm dir. Protozoalar gibi bakteri, organik partiküler maddeleri ve küçük protozoaları yerler. Bunlar genelde kontraktıl uzantıları ile floklara tutunan veya çok yavaş hareket eden aerobik, heterotrofik ve çok hücreli hayvanlardır. Rotiferleri şekilleri, (keseli, küresel, kurtçuk şeklinde) boyutu gonadlarının sayısı, ayak

oluşumu, parmak sayısı ve koruyucu zırhı tanımlamasında ve tanınmalarında yardımcı olur. Rotiferler çok düşük BOİ yüklemelerindeki şartlarda görülür. Yüksek verimin ifadesidirler. Rotiferlerin bulunması uzun havalandırılmalı sistemlerde olduğu gibi tam oksidasyona yaklaşıldığını ve aktif çamur sisteminin dengede olduğunu iyi bir göstergesidir. En önemlileri *Epiphanes sp.*, *Euchlanis sp.*, *Monostyla sp.*, ve *Filinia sp.* cinsleri sayılabilir.

Euchlanis sp.: Bu mikroskobik hayvan 200-300 µm boyutunda tipik bir rotiferdir. *Euchlanis* bir yüzücü rotifer olup hareket için ayaklarını ve sillerini kullanır. Diğer rotiferlerde de olduğu gibi başının etrafı sillerle çevrilidir ve vücudu transparen dir. Ayaklarında yüzmede kullanılan iki adet kuvvetli ayak parmakları vardır. Baş bölümüne “corona” denir ve etrafındaki siller ritmik olarak titreşerek beslenme ve hareket için kuvvetli akıntı oluşturur. *Euchlanis* bir omnivor olup her çeşit organik kalıntı, bakteri ve küçük protozoaları yiyerek beslenir. *Euchlanis*’in dış derisinden çıkarmış olduğu salgılardan oluşturduğu bir mat kabuğu vardır. Transparen vücutta beyin, mide, ince bağırsaklar, dalak ve üreme organları görev yapar. Rotiferlerin bir genel karakteri “mastax” denen damak benzeri organel yiyecekleri değirmen gibi öğütürerek mideye girmesine yardımcı olur. Mastax’ın işleyişi kalbin atışı şeklindedir. Bununla birlikte rotiferlerin bir dolaşım sistemi yoktur. Çıkış suyunun iyi kalitede olduğu aktif çamur sistemlerinde *Euchlanis* sıklıkla görülür. Çözünmüş oksijene sürekli ihtiyaç duyduğu için sistemde bulunması aerobik koşulların sürdüğünün bir göstergesidir. BOİ’si 0-15 mg/l ve amonyak 0-10 mg/l olduğu çıkış sularında görünebilirler ve suyun kalitesi için normaldir denebilir.

Nematodlar serbest yaşayan boyları 500-3000 µm boyunda olup çok değişken sayılarda arıtma sistemlerine giren omurgasızlardır. Uzun, silindirik ve iki uca doğru gittikçe incelen bir vücut yapıları vardır. Nematodlar flock partikülleri üzerinde kamçı hareketine benzer hareket gösterirler. arıtma sistemlerinde nematodların bulunmaması bir toksik (zehirli) maddenin ilk biyolojik göstergesidir. Bu maddeler arıtma sisteminin içerisinde de zamanla oluşabilir.

Aktif çamur sisteminde kalan BOİ₅ değeri azalırken silli protozoaların sayısında artış görülür. Protozoaların hakim olduğu tiplerine göre arıtma sisteminin durumu hakkında aşağıdaki bilgiler elde edilir.

1. Sarcodina’ların hakim olması nadir görülür, genellikle tesisin çalışmaya başladığı durumlarda veya tamamen zehirli bir ortamdan yeni kurtulma sırasında rastlanır.
2. Holophytic kamçılılar organik madde konsantrasyonunun yüksek olduğu durumlarda görülür. Bazı yüksek BOİ sistemlerince verim, matematik olarak yüksek olabilir. Fakat tesis çıkış suyunda hala yüksek miktarda organik madde bulunabilir.
3. Holozoic kamçılılar holophytic kamçılıların azalmasını takip ederler. Bunlar biraz daha etkili sistemleri gösterirler.
4. Silliler ortamda çok fazla sayıda serbest yüzücü bakterilerin bulunması halinde görülür. Eğer ortamda silliler kamçılılarla birlikte bulunuyorsa, serbest yüzücü silliler sistemin veriminin bağlı veya saplı sillilerin sistemde bulunması halinde sistemin gösterdiği yüksek verimden biraz daha az verimde olduğunu gösterir. Yani bağlı sillilerin bulunması sistemin yüksek verimle çalıştığını, serbest sillilerin bulunması sistemin biraz daha düşük verimle çalıştığını gösterir.
5. Bağlı veya saplı sillilerin sistemde hakim duruma geçmiş olması sistemin çıkış suyunda düşük seviyede BOİ olacağının göstergesidir.

Diğer grup organizmalar aktif çamur sisteminde etkili olabilecek sayılara ulaşmaları pek mümkün değildir ancak temsil edici sayılarda bazen bulunabilirler.

5.3. Aktif Çamurda Kabarma ve Köpük Oluşumu

Çamur kabarması aktif çamur içindeki filamentli bakterilerin fazla çoğalması sonucunda oluşur. Bu bakteriler aktif çamurun biyolojik yapısında normalde bulunmalarına karşılık bazı özel şartlarda ve durumlarda flok yapıcı bakterilerden çok daha hızlı gelişerek ortamda baskın hale geçerler.

Havalandırma havuzunda köpük oluşumu ise genelde üç nedenden dolayı görülür. Birinci neden parçalanmayan deterjanların birikmesi ile; ikinci neden olarak filamentli bakteri *Nocardia sp.* ve üçüncü olarak yine bir filamentli bakteri olan *Microthrix parvicella*'nın bulunmasıdır.

Aktif çamur sistemi işletme problemleri çok farklı parametrelere bağlı olabilir. Genellikle karşılaşılan problemler:

- Karışım sıvısı rengi koyu siyah ise anaerobik ortam söz konusudur.
- Türlülans varsa difüzörler tıkanmış olabilir veya bazı kısımlara fazla hava basılırken bazı kısımlara hava ulaşmıyor olabilir.
- Havalandırma havuzu üzerinde taze gevrek beyaz köpük oluşuyorsa sistemin mükemmel işlediğinin işaretidir.
- çok fazla kabilan beyaz köpük oluşuyorsa çözüm için çamur yaşı artırılır ve/veya, spreyleme ile köpük kırılabilir.
- Havalandırma havuzunda kalın kirli koyu esmer köpük oluşuyorsa bunun nedeni çamur yaşının fazla veya oksitlenme yüksek demektir. Giriş debisi artırılarak çözümlenebilir.

5.4. Çamur Kabarmasına Neden Olan Bazı Bilinen Faktörler

Filamentli bakteriler aktif çamurun normal florasında bulunduğundan fazla çoğalmalarını etkileyen veya stimüle eden faktör(ler) veya faktörlerin birlikte olan etkileri aşağıda verilmektedir (Bitton, 1994).

Atıksu Kompozisyonu veya Karakterizasyonu: Yüksek karbonhidrat içerikli atıklar çamur kabarmasını desteklemektedir. Özellikle karbonhidratlardan glikoz, maltoz ve laktoz içerikli (galaktoz hariç) atıklar filamentli bakterilerin gelişmesi ve çoğalması için çok uygundur. Bazı filamentli bakteriler örneğin *Sphaerotilus natans*, *Thiothrix spp.*, Tip 021N kolay parçalanabilen organik maddeleri tercih ederken diğer bazıları örneğin *Microthrix parvicella* ve Tip 0041 yavaş parçalanmış substratları tercih etmektedir.

Substrat Konsantrasyonu: Bu faktör çamur kabarmasını etkileyen en önemli nedenlerdendir. Filamentli mikroorganizmalar yavaş gelişen, düşük yarı-doygunluk sabitine (K_s) ve düşük maksimum çoğalma hızlarına (μ_{max}) sahipken flok yapıcı olarak bilinen *Zoogloea ramigera* ise yüksek yarı doygunluk sabitine ve yüksek maksimum çoğalma hızına sahiptir. Bu yüzden filamentli bakteriler düşük substrat konsantrasyonlarında (düşük F/M oranında) hızla

gelişerek flok yapıcı ve diğer mikroorganizmaları substrat alımında rekabet dışı bırakırlar. Bu durum yüksek substrat konsantrasyonlarında (yüksek F/M oranında) tersine gelişerek flok yapıcılar filamentli bakterilerden daha hızlı gelişerek ortama hakim olurlar. Biyolojik selektörler kullanılarak yüksek substrat konsantrasyonu şartları oluşturulabilir ve filamentli bakteriler kontrol altına alınabilir.

Çamur Yaşı ve Yüğü İlişkisi: Bu ilişki sistemin tam karışımli veya piston akımlı olmasına bağılıdır. Tam karışımli sistemlerde yüksek çamur yüğü değerlerinde (küçük çamur yaşı) filamentli mikroorganizmalar hızla atıldığından çıkış suyu kalitesi kötüleşir. Piston akımlı sistemlerde ise flok yapıcı bakteriler için yaklaşık $0.3 \text{ g g}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ BOI₅ olarak çamur yüğü optimumdur ve sistemde dominant hale geçerler. Artan çamur yüğü çamur hacim indeksinde arttırır. Bu ilişki formülü

$$\frac{1}{\theta} = YB - k_d$$

θ : Çamur Yaşı, Y : Dönüşüm Sabiti, B : Çamur Yüğü, k_d : Toplam Biyokütlenin Ölüm Hızı

formülü ile verilebilir.

Bazı filamentli mikroorganizmalar (örneğin *Sphaerotilus natans*, *Thiothrix*, Tip 1701) çok değişik çamur yaşlarında bulunabilir. Bazıları için küçük ortalama hücre bekletme süresi (Tip 1863) bazıları için ise yüksek ortalama hücre bekletme süresi (*Microthrix parvicella*, Tip 0092) uygundur.

pH: Havalandırma tankı için optimum pH aralığı 7-7.5 dir. pH'ın 6 dan küçük olduğu değerlerde mantarların (*Geothrichum*, *Candida*, *Trichoderma*) çoğalması stimüle edilirki bunlarda çamur kabarmasına neden olabilirler. Yapılan araştırmalara göre laboratuvar ortamındaki aktif çamur sistemlerinde pH'ın 4-5 olmasında 30 gün içinde mantarlar dominant hale geçmiştir.

Sülfid Konsantrasyonu: Havalandırma havuzunda yüksek sülfid konsantrasyonu filamentli sülfür bakterilerinin (*Thiothrix*, *Beggiatoa* ve Tip 021N) hızla gelişmesine neden olur. Bu mikroorganizmalar sülfidi enerji kaynağı olarak kullanırlar ve oksitleyerek elemental sülfüre çevirerek hücrelerinin içinde sülfür granülü olarak depo ederler.

Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonu: Havalandırma tankında düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonu (<2 mg/l) belli filamentli mikroorganizmaları (*S.natans*, *Haliscomenobacter hydrossis*, Tip 1701) stimüle eder. Bu mikroorganizmaların baskın hale geçmemesi için havalandırma tankı minimum 2 mg O₂/l ile işletilmelidir.

Nutrient (Besi Elementleri) Eksikliği: Azot, fosfor, demir veya diğer bazı bes elementlerinin eksikliği çamur kabarmasına neden olabilir. Özellikle *S.natans*, *Thiothrix* ve Tip 021N çoğalması azot ve fosfor eksikliği ile ilişkilidir. C/N/P oranının 100/5/1 olması tavsiye edilmektedir. Ayrıca demir ve diğer bes elementlerinin sistemde olup olmadığı kontrol edilmelidir.

5.4.1. Literatürde Kabarmayı Önleyici Uygulamalar

Aktif çamur sistemlerinin işletilmesi sırasında karşılaşılan en büyük problemlerden olan filamentli bakterilerinin aşırı çoğalması ve kabarma problemidir. Diğer bir ifadeyle havalandırma havuzunda fazlaca çoğalan filamentli mikroorganizmalar çöktürme tankında su fazından ayrılmadan askıda kalmakta ve bunun sonucunda çok miktarda katı madde veya mikroorganizma son çöktürme havuzundan kaçmaktadır. Ayrıca havalandırma havuzunda fazla miktarda filamentli mikroorganizma gelişimi sonucu mikroorganizmal veya sentetik yüzey aktif maddeler yardımıyla köpük oluşumu aktif çamuru şişirmekte ve yoğun kalıcı köpükler havalandırma havuzunda birikime neden olmakta ve bir zaman sonra havuzdan dışarıya taşarak önemli işletim zorluklarına neden olmaktadır. Bu problemin görüldüğü tesislerde genelde bu problem hemen hemen periyodik olarak karşılaşılmakta ve operatörler büyük sıkıntılar çekmektedir. Filamentli mikroorganizmaların neden olduğu kabarma ve köpük probleminin önlenmesi ve giderilmesine yönelik uygulama çalışmaları genelde tesis bazında çalışılmış ve bir çok faktör kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Bu çalışma ve araştırmalar problem oluşuktan sonra yapılan bir çok deneme ve yanılma uygulamalarına yöneliktir. Bu uygulamalar içerisinde en fazla uygulama bulmuş olan klorlama hızlı işlemesi bakımından önemlidir. Özellikle büyük kapasiteli aktif çamur arıtma tesislerinde sistemin ve filamentli mikroorganizmaların hızla kontrol altına alınması sistem sorumlularının kısa sürede sistemi kontrol etmesi kanunlara karşı bir cezanın önlenmesi bakımından da önem göstermektedir.

Kabarma ve köpük probleminin çözümünde literatürde yapılan uygulama çalışmaları aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir.

Oksidantlar İle İyileştirme

Filamentli bakteriler geriye devir edilen aktif çamurun klorlanması veya hidrojen peroksitlemesi ile kontrol altına alınabilir. Havalandırma havuzuna da uygulama yapılabilir. Klor konsantrasyonu 10-20 mg/l uygulanabilir. Daha fazlası flokların parçalanmasına ve bozulmasına yol açabilir. Eğer hidrojen peroksit uygulanırsa bunun konsantrasyonu 100-200 mg/l olabilir, fazla konsantrasyonları flokları parçalayabilir. Pahalı olmasına rağmen literatürde ozonlama ile de kontrol uygulamaları yapılmıştır. Diğer bir uygulama bulan önemli oksidantlardan bir diğeri hidrojen peroksit olup klordan daha yüksek dozlarda uygulanmıştır. Genelde 50-200 mg/l H_2O_2 uygulamaları literatürde yer almaktadır (Jenkins vd., 1993).

Flokülantlar İle İyileştirme

Sentetik organik polimerler, kireç ve demir tuzları havalandırma tankına ilave edilerek çökelmeye yardımcı olunulabilir. Katyonik polimerlerin 15-20 mg/l uygulamaları başarılı sonuçlar vermiştir. Yeni bir uygulama olarak pudra (Talc, Ticari adı PE 8418) kabarma probleminde başarıyla uygulanarak çamurun çökeltme problemi giderilmiştir (Eikelboom and Grovenstein, 1998).

Geri Devir Çamurunun Miktarını veya Hızını Arttırmak

Geri devir çamurunu arttırmak çöktürme tankındaki çökeltme problemini önleyebilir. Ayrıca çamur atımını arttırarak çamur yaşını azaltma ile filamentli bakterileri için bir dezavantaj sağlanır ve problemin kontrolüne yardımcı olunabilir.

Biyolojik Selektörler

Biyolojik selektörler flok yapıcı bakterilere filamentli bakterilere karşı avantaj sağlayan alternatif proses konfigürasyon şeklidir. Bir selektör bir tank veya bölüm olup bu tank içinde belli parametreler(örneğin F/M oranı) filamentli bakterilere dezavantaj olarak kullanılabilir. Üç değişik tipte, aerobik, anoksik ve anaerobik, selektörler kullanılabilir. Bunların seçimi filamentli bakteri türüne göre yapılmalıdır. Anoksik selektörler özellikle *Nostocoida limicola* türleri için başarı ile uygulanmıştır.

Biyolojik Kontrol İle İyileştirme

Bazı mikroorganizmalar özellikle bakteri ve actinomycetesler (kompost, aktif çamur ve topraktan izole edilmiş türleri) filamentli bakterileri öldürme kabiliyetindedir. Yine bazı protozoalar (predator silli protozoa *Trithigmostoma cucullulus*) filamentli bakterileri yiyerek onların miktarını azaltmaktadır ve çamurun çökelme özelliği artmaktadır.

Diğer Özel Metodlar İle Kontrol

Atıksuda bulunan sülfidlerin önhevalandırma ile uçuşması *Thiothrix* gibi filamentli bakterilerin gelişmesini önleyebilir.

Çözünmüş oksijen konsantrasyonunu arttırmak bir çok filamentli bakterinin (*Sphaerotilus natans*, sülfür okside eden *Thiothrix*, *Beggiatoa*, Type 021N) gelişmesini engelleyebilir.

Atıksuyun pH değerini bir miktar asidik değerlere(pH=5.5) ayarlamak sülfürlü bakterileri kontrol altında tutabilir ancak bunun sakıncası mantarların bu pH değerinde iyi gelişmesidir.

Demir bileşikleri(demir sülfat, potasyum ferrat gibi.) bazı filamentli bakterilerin (*Sphaerotilus natans*, *Thiothrix*, Type 021N) respirasyonunu engelleyerek bunları kontrol altına alabilir.

Köpük Kontrolü Uygulamaları

Pek çok köpük kontrol alternatifi bulunmaktadır. Bunların her zaman başarıyla uygulandığını söylemek oldukça zordur. Herbir tesisin problem kaynağı farklı olduğu için çok değişik sonuçlar alınmaktadır.

Köpüğü Klor İle Spireyleme

Köpüğe yüksek dozda (2000-3000 mg/l) klor spireylenmesi Phoenix (ABD) tesislerinde *Nocardia* köpüğünü kontrol altına almıştır.

Çamur Atmayı Arttırmak

Genelde köpük uzun çamur bekletme süreleri (10-30 gün) sonucunda oluştuğu için çamur atımını hızlandırarak köpük kontrol altına alınabilir. Bekletme süresinin 3-9 gün ve 25 gün süreyle uygulanması literatürde başarıyla uygulanmıştır.

Biyolojik Selektör Kullanımı

Anoksik selektörler bazan köpük probleminin kontrol altına alınmasında (Georgia, ABD) başarı kazanmıştır. Aerobik selektör kullanımında *Nocardia* popülasyonları için başarılı sonuçlar vermiştir.

Havalandırma Tankına Hava Girişinin Azaltılması

Filamentli organizmaların aerobik olması dolayısıyla havalandırmanın azaltılması köpük oluşumuna neden olan türlerin gelişimi engellenmiştir.

pH ve Yağ ve Gresin Azaltılması

pH ve yağ ve gresin (filamentli bakterileri stimüle edici) azaltılması köpük kontrolünde olumlu sonuçlar vermiştir.

Köpüğe Su Spireyleme

Bazı durumlarda köpükte bir azalma görülmesine karşılık tam kontrol sağlamamıştır.

Köpük Kırıcı ve Demir Tuzları Uygulaması

Karışık sonuçlar vermiş olup özellikle *Nocardia amarae*'nin koyu-yoğun köpüğüne karşı üç tabakalı kil minerali (100 µg/ml-montmorillonit) kullanılmıştır.

Köpüğün Fiziksel Olarak Temizlanması

Oluşan köpük fiziksel olarak kepçe gibi küreklerle sistemden uzaklaştırılabilir.

Karşıt Mikroflora Kullanımı

Predator bakteri ve protozoa aşılama ile actinomycetes köpük kontrolünde başarılı sonuçlar alınamamıştır.

5.5. Filamentli Mikroorganizmalar Üzerine Yapılmış Literatür Çalışmaları

Biyolojik arıtma sistemlerinde zaman zaman ortaya çıkan kabarma ve köpük problemleri sisteme giren atıksuyunun karakterine, işletme koşullarına ve diğer tanımlanmış ve tanımlanamamış parametrelerin birlikte etkileri ile ortaya çıkmaktadır. Biyolojik arıtma sistemlerinin kontrolü her bir tesis için özeldir ve başarılı uygulamalar ancak belli denemeler ve uygulamalar ile bulunabilecektir. Bazı tesislerde koşulların değişmesiyle bir önceki uygulamalar dahi başarısız sonuçlar vermektedir. Bu yönüyle her bir problemin öncelikle bir karakterizasyonunun (biyolojik, kimyasal, fiziksel) yapılması ve çözümün tanımlanan parametrelere göre yapılmasında bir zorunluluk vardır.

Aktif çamuru sürekli kontrol edebilmek için belli parametrelerin analizi (giriş ve çıkış KOİ ölçümü, SVI, toplam biyokütle konsantrasyonu, pH, çözünmüş oksijen gibi) ve aktif çamurun bir mikroskop yardımıyla (ışık mikroskobu veya faz kontrast mikroskobu) günlük olarak incelenmesinde ve belli kalite ölçütlerinin (flok yapısı, filamentli bakteri miktarı, protozoa ve rotifer çeşit ve miktarı) aranması ile büyüyecek olan problemlerin (çökeltme, kabarma, köpük, verim gibi) ilerlemeden önüne geçilmesi mümkün olacaktır.

Biyolojik arıtma sistemlerinde zaman zaman ortaya çıkan kabarma ve köpük problemleri sisteme giren atıksuyunun karakterine, işletme koşullarına ve diğer tanımlanmış ve tanımlanamamış parametrelerin birlikte etkileri ile ortaya çıkmaktadır. Biyolojik arıtma sistemlerinin kontrolü her bir tesis için özeldir ve başarılı uygulamalar ancak belli denemeler ve uygulamalar ile bulunabilecektir. Bazı tesislerde koşulların değişmesiyle bir önceki uygulamalar dahi başarısız sonuçlar vermektedir. Bu yönüyle her bir problemin öncelikle bir

karakterizasyonunun (biyolojik, kimyasal, fiziksel) yapılması ve çözümün tanımlanan parametrelere göre yapılmasında bir zorunluluk vardır.

Aktif çamuru sürekli kontrol edebilmek için belli parametrelerin analizi (giriş ve çıkış KOİ ölçümü, SVI, toplam biyokütle konsantrasyonu, pH, çözünmüş oksijen gibi) ve aktif çamurun bir mikroskop yardımıyla (ışık mikroskobu veya faz kontrast mikroskobu) günlük olarak incelenmesinde ve belli kalite ölçütlerinin (flok yapısı, filamentli bakteri miktarı, protozoa ve rotifer çeşit ve miktarı) aranması ile büyüyebilecek olan problemlerin (çökme, kabarma, köpük, verim gibi) ilerlemeden önüne geçilmesi mümkün olacaktır.

Aktif çamur kabarması problemi ile karşılaşıldığında baş vurulan en etkili metotlardan birisi olan klor uygulaması genellikle düşük dozlarda (<5 mg/l) başlanılır ve daha sonra dereceli olarak artırılarak yüksek dozlara (35mg/l) çıkarılır (Neethling vd., 1987). Jenkins vd., (1993) ne göre etkili klor uygulaması dozu ise 1-15 mg/l dir. Klor genellikle hücre zarının yapısını bozar ve buna bağlı olarak hücre zarı ile ilişkili fonksiyonlarını etkiler veya durdurur. Gözlenen serbest klor bakiyesi, 3960 mg/l askıda madde içindeki 20.2 mg Cl₂/l serbest klor sınır konsantrasyon değeridir. Serbest klor yaklaşık 10 saniye içerisinde 0.2 mg Cl₂/l 'ye düşer. Kabarma probleminde esas flok yapıcıların büyüme hızının desteklenerek artırılmasıdır. Bu yönüyle bakıldığında klor uygulaması eğer flok yapıcı bakterilerin hayatta kalma oranı filamentli bakterilerin hayatta kalma oranından fazla olduğu durumlarda, diğer bir anlatımla. filamentlilerin ölüm hızı flok yapıcıların ölüm hızını geçtiğinde ancak başarıya ulaşılabilir.. Monokloraminler özellikle yüksek miktarda amonyak bulunan ortamlarda daha toksik olup aktif çamur floklarıyla göreceli olarak yavaşça reaksiyona girer. Monokloraminler bulk solusyonda daha uzun süre kalır ve saniyeler içerisinde flok içerisine geçiş yapar. Burada flok içinde bulunan organizmalara koruma görevini yapamaz. Serbest klor ise floklar ile çok hızlıca reaksiyona girer ve düşük klor dozlarında flok içerisine kısmi geçiş kısıtlanır. Bu durumda serbest klor dışarıda kalır ve flok içerisine geçemediği için bir miktar koruma sağlar ve içerideki mikroorganizmalar korunmuş olur. Filamentli organizmalar genelde bulk solusyonunda bulunduğu kloru karşı daha az koruma aldığından etkilenirler veya oksitlenmiş olarak büyümeleri engellenir veya ölüm hızları artmış olur (Neethling vd., 1987).

Kağıt endüstrisi atıksularında karıştığı bir şehir atıksu arıtma tesisinde kabarma problemine yol açan Tip 021N filamentli bakterisinin kontrol edilmesi amacıyla kullanılan klorun Tip etkileri araştırılmış ve aktif çamurda bulunan flokların zarar gördüğü 17. güne kadar klor dozlamasına (4, 6, 8 g.kg⁻¹ VSS.d⁻¹) devam edilerek sistem kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Klor geri devir aktif çamur (RAS) üzerine uygulanmıştır. Tip 021N 'nin kloru karşı verdiği reaksiyon sistemin Çamur Hacim İndeksi ölçülerek kontrol edilmiştir. Bu araştırmada kloru karşı etkiler canlı, yaralı veya ölü filamentli bakterinin ölçümü yapılarak kontrol edilmiştir. Tip 021N klor uygulamasının 10. gününden itibaren SVI da düşüşler görülmüş ve 22 gün sonra ölü hücre sayısı %89.1'e ulaşmıştır (Ramirez vd. 2000).

Aktif çamur kabarma probleminin giderilmesine yönelik olarak Hollanda da inert mineral pudra partikülleri (5-150µm PE 8418) kullanılmış ve çeşitli endüstriyel (şampuan, mezba, deterjan, limonata vd.) ham atıksuları arıtan karosel tipli bir arıtma tesisinde Tip 021N başarıyla kontrol altına alınmıştır. Pudra ilavesi başlangıçta 1/1 ve daha sonra 0.6/1 (PE 8418 / biyokütle) oranında atıksuya karıştırılarak 15. günden sonra SVI da azalmaya neden olduğu bulunmuştur. Uygulamanın başında 800-900 ml/g olan SVI değerleri bir hafta içerisinde 300 ml/g SVI değerine ve daha sonra 100-125 ml/g SVI değerlerine indirilebilmiştir. Bu

uygulama ile KOİ ve TKN giderimin de olumsuz bir etki olmamıştır (Eikelboom ve Grovenstein 1998).

M.parvicella besi maddesi gideren arıtma tesislerinde kabarma ve köpük problemine neden olan en önemli filamentli bakterilerden birisi olup literatürde mevcut kontrol stratejileri değişik ülkelerdeki uygulamalara ve sistem şekillerine (konfigürasyonlarına), coğrafik yerleşim ve sıcaklığa, atıksu içeriğine bağlı olarak değişik sonuçlar vermektedir. Bu organizmanın gelişiminde literatürde çoğunlukla yer aldığı gibi sıcaklık ve uzun zincirli yağ asitlerinin varlığı önemli olmaktadır. Düşük sıcaklık (genellikle 10-20 °C) ve uzun zincirli yağ asitleri *M.parvicella* çoğalmasında önemli rol oynamakta, sistemde selektör olmasının (anoksik veya anaerobik) pek bir önemi bulunmadığı ancak sistemin piston akımlı olmasının *M.parvicella* çoğalmasını kontrol altına aldığı ve çamurun çökmesini iyileştirdiği görülmüştür. Sıcaklığın 29 °C'yi aşması durumunda *M.parvicella* sistemden tamamen elemine edilmiş ve sistemde Tip 0092 dominant duruma geçmiştir. Bunun nedeni bu sıcaklıkta uzun zincirli yağ asitleri çözünerek diğer mikroorganizmaların alabileceği forma girmekte buna karşılık *M.parvicella* bu durumda rekabette geri kalmaktadır. Düşük sıcaklıklarda katı yağlar ve lipidler çözünmeyip (yavaşça biyolojik olarak parçalanabilen KOİ) su yüzeyinde biriktiklerinden hidrofobik olan *M.parvicella* yüzeyde avantaj sağlayarak çoğalmasını hızla ilerletebilmekte ve dominant duruma geçmekte ve bunun sonucunda kabarma ve köpük problemi oluşturmaktadır (Slijkhuis vd., 1984, Mamais vd., 1998).

Aktif çamur kabarma ve köpük problemi hemen her ülkede gündeme gelmiş olup özellikle kış aylarında pek çok kabarma ve köpük problemleri değişik ülkelere bildirilmektedir. Çek Cumhuriyetinde yapılan bir izleme çalışmasında çökme probleminin flok yapısına ve karakterine bağlı olmaksızın filamentli organizma sayısının yüksek olmasının hemen her zaman kabarma ve köpük problemine neden olduğu kabarma probleminde *M.parvicella*, *N. limicola* ve Tip 0092, köpük oluşma probleminde *M.parvicella*, *Nocardia* benzeri actinomycetesler (NALO veya GALO- *Gordonia amarae* benzeri organizmalar) en fazla rastlanan filamentli mikroorganizmaların başında gelmektedir. Genel olarak aktif çamur sisteminin tipine bağlı olmaksızın 5 farklı türün (*M.parvicella*, Tip 0092, *N. limicola*, Tip 0803 ve Tip 0041) dominant olabildiği tespit edilmiştir (Wanner vd., 1998).

Aktif çamur sistemlerinde meydana gelen kabarma ve köpük problemi flok yapıcı bakterilerle filament oluşturan mikroorganizmaların arasında substrat alma hızlarında meydana gelen farklılıklardan dolayı dengenin bir tarafa doğru bozulmasıyla ortaya çıkmaktadır. Yapılan bir araştırmada substrat kullanım karakteristikleri bir kimyasal elyaf üreten tesisin aktif çamur arıtma tesisinde incelenmiş ve dominant filamentli bakteri *Sphaerotilus natans*'ın Km değeri 4.03 mg/l, ve Vm değeri 0.43 µl O₂/l, flok yapıcı olan *Aeromonas jandaei*'nin ise Km değeri 34.8 mg/l ve Vm değeri 0.59 µl O₂/l bulunmuştur. Bu değerlere göre düşük substrat konsantrasyonlarında *S.natans*, *A. jandaei*'ye göre daha yüksek substrat alım hızına sahiptir. Bunun nedeni *S.natans*'ın Km değeri *A.jandaei*'nin Km değerinden daha küçük olmasıdır. Bu olay yüksek substrat konsantrasyonlarında tersine dönerek *A.jandaei*'nin substrat alım hızı daha yüksektir. Bunun nedeni ise *A.jandaei*'nin Vm değeri *S.natans*'ın Vm değerinden daha büyüktür. Bu veriler özellikle arıtma tesislerinin selektör dizaynında kullanılacak faydalı bilgiler vermektedir (Tsai ve Lee 1998).

Filamentli mikroorganizmaların çoğalmasını etkileyen faktörlerin tespiti amacıyla laboratuvar ve tam ölçekli aktif çamur sistemlerinde yürütülen bir çalışmada çözünmüş oksijen ve F/M

oranının anahtar faktörler olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar çeşitli filamentli türleri için aşağıda özetlenmiştir.

Microthrix parvicella: Bu filamentli bakteri ÇO'nin değişik konsantrasyonlarından etkilenmediği, tam sistem uygulamalarında oksijen iniş-çıkışlarının çoğalmasını bir miktar teşvik ettiği bulunmuştur. Özellikle kesikli besleme koşulları çoğalmasını desteklemekte, oksijen konsantrasyonunun 0-5.1 mg O₂/l arasında indirilip çıkartılması miktarının en fazla bulunduğu durum olarak tespit edilmiştir. Genellikle en fazla olduğu koşullar içinde 0.10 lb Çözünmüş KOİ/ lb TAM gün (0.1 lb SCOD/ lb MLSS.d) değeri bulunmuş ve diğer filamentlilerin ise 2 gün sonunda 0.7 lb Çözünmüş KOİ/ lb TAM.gün yüklemelerinde hemen hiç gözlenmemiştir. Bu sonuçlar literatürde verilen 0.1 –0.23 lb Çözünmüş KOİ/ lb TAM.gün (Eikelboom, 1977; Strom ve Jenkins, 1984) değerleriyle uygunluk göstermekte, ayrıca Richard 1989 tarafından önerilen 0.05-0.2 lb BOİ₅/lb UAKM.gün uygun çoğalma yüklemesiyle uyuşmakta ve bu yüzden *M.parvicella* “düşük F/M” li organizmalar sınıflaması içinde yer almaktadır. *M.parvicella*'nın 0.7 lb Çözünmüş KOİ/ lb TAM.gün yüklemelerinde popülasyonundaki azalma filamentlerinin morfolojik yapılarında meydana gelen değişiklikten dolayı tanımlanamaması nedeniyle açıklanmaktadır.

Gordonia (Nocardia) Türleri: *Nocardia* spp.'lerinin çoğalmaları 0.2 mg O₂/l konsantrasyonlarında bastırılmış, 1 mg O₂/l ve daha fazla konsantrasyonlarda ise stimüle edilerek çoğalmalarında 5 mg O₂/l değerine kadar doğrusal bir fonksiyon olarak artış sağlanmıştır. *Nocardia* spp.'lerin çoğalmaları en iyi 0.10-0.28 lb Çözünmüş KOİ/ lb TAM.gün yükleme koşullarında desteklenmiştir. *Nocardia* türlerinin tercih ettiği çoğalma ortamları hakkında literatürde bazı uyumsuzluklar bulunmakta, bazı yayınlarda 0.08-0.7 Kg BOİ₅/Kg UAKM.gün (Jenkins vd., 1993) ve 0.08-0.38 lb BOİ₅/lb UAKM.gün (Richard, 1989) değerleri yer almaktadır. “Düşük F/M” li organizma sınıflaması yanında ayrıca “Düşük Çözünmüş Oksijenli” filament sınıflaması içine konulmuştur (Strom ve Jenkins, 1984). Genellikle *Nocardia* filamentleri tür ve genus bazına inmeden morfolojik tip tanımlamasıyla saptandığında hatalara yol açmakta ve bunlardan bir çoğunun çoğalma hızları *Nocardia* spp lerden 5 kat daha fazla olup “*Nocardia* benzeri organizmalar” olarak literatürde söz edilmektedir.

Nostocoida limicola II: Çoğalması farklı sabit çözünmüş oksijen konsantrasyonlarından etkilenmemekle birlikte full-scale çalışmalarda düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında ve anaerobik ortamlarda teşvik edilmektedir. Bu özelliğiyle fermentasyon yapabilen “fakültatif anaerobik” filamentli organizma olarak tanımlanmaktadır. Çoğalması çok düşük F/M yüklemelerinde teşvik edilmektedir. *Nostocoida limicola* II PHB formunda hücre içi ürünler sentezleyebilmektedir. Selektörü bulunan tesislerde *Nostocoida limicola* II flok yapıcı organizmalardan daha hızlı olarak substratı biriktirme ve depolama özelliğine sahiptir. Bu depolanan substrat çok düşük F/M yüklemeli ortamlarda kullanılarak kendine avantaj oluşturur ve hızla çoğalabilir. Bu özellik dolayısıyla selektörler *Nostocoida limicola* II'nin çoğaltılması için seçilebilir veya diğer organizmaların elemine edilebilmesi için uygulanabilir. *Nostocoida limicola* II düşük F/M li ortamlarda, substrata olan affinitesinin diğer organizmalardan daha fazla olabilmesi ihtimali dolayısıyla daha kolay çoğalma potansiyeline sahiptir.

Tip 0041: En iyi çoğalma yüklemesi 0.07-0.23 lb Çözünmüş KOİ/ lb TAM.gün dür, ve farklı çözünmüş oksijen konsantrasyonlarından çoğalması etkilenmemektedir. Bu filamentli mikroorganizmada “düşük F/M” sınıflaması içerisine girmektedir.

Tip 1851: Miktarındaki fazla artış sadece 2 gün sonunda 0.1 lb Çözünmüş KOİ/ lb TAM.gün yüklemelerinde gözlenmiştir. Bu filamentli mikroorganizmada 0.07-0.23 lb Çözünmüş KOİ/ lb TAM.gün yüklemeli “düşük F/M” sınıflaması içerisine girmektedir.

Tip 1863: Çözünmüş oksijen konsantrasyonu bu filamentli mikroorganizmanın çoğalmasında anahtar parametrelerden birisidir. Düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında ve anaerobik koşullarda hızla çoğalabilmekte, çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki artış ile miktarı hızla düşmektedir. 0.1 mg O₂/l konsantrasyonda filamentli formu miktarı sabit bir oranda artmakta ancak 1 mg O₂/l konsantrasyonda 2 gün içerisinde filamentli formu sistemden uzaklaştırılabilmekle birlikte tek-hücre şeklinde sistemde bulunabilmektedir (Madoni vd., 2000).

Filamentli mikroorganizmaların biyolojik arıtma tesislerinde neden olduğu kabarma ve köpük problemlerine yol açan türlerin tespiti amacıyla İtalya da yapılan bir araştırma sonucuna göre tesislerin (toplam 167 tesis) %66'sında ya kabarma yada köpük problemi, %33'ünde ise kabarma ve köpük probleminin her ikisini birden görülmüştür. Kabarma ve köpük probleminin giderilmesine yönelik yapılan araştırmalarda kontak zon tekniğinin kullanılması ile oksidantların ve koagülantların kullanımının olumlu sonuçlar verdiği bulunmuştur (Madoni vd., 2000).

Kabarmaya neden olan filamentliler içerisinde önem sırasına göre en fazla *Microthrix parvicella*, Tip 0092 ve Tip 0041, biyolojik köpüğe neden olan filamentliler içerisinde önem sırasına göre *Microthrix parvicella*, *Gordonia (Nocardia) amarae* benzeri organizmalar ve *Nostocoida limicola* olduğu tespit edilmiştir. *Microthrix parvicella*'nın her iki grupta birinci dereceden bulunması bu filamentlinin kabarma ve köpürme problemindeki önemini ortaya koymaktadır. *M. parvicella* ve daha az önemle *Thiothrix* ve Tip 021N çamur yaşına bağlı kalmaksızın dominant duruma geçebilmekte, diğer filamentliler Tip 0041, Tip 0675 ve Tip 0092 genellikle F/M yüklemesinin <0.2 Kg BOİ₅/Kg UAKM.gün olan tesislerde dominant duruma geçebildikleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte *Thiothrix* ve Tip 021N genellikle yüksek çamur yaşı bulunan tesislerde de dominant duruma geçebildiği literatürde (Richard, 1989) verilmiştir.

Filamentli organizmaların neden olduğu köpük oluşumunda temel olarak dallanma gösteren mikroorganizma cinsleri (*Nocardia*, *Gordonia*, *Rhodococcus*, *Skermania*) ve dallanma göstermeyen organizmalar (*Microthrix parvicella* gibi) olarak gruplandırılabilir. Bu organizmaların hemen hepsi yağ asitlerinin esterleri (zeytin yağı, ayçiçek yağı, hindistan cevizi yağı, gliserol trioleat, bitkisel yağlar) ilave edilmiş substrat ortamlarında iyi gelişmektedirler. Buradan anlaşılabileceği gibi bu organizmalar hidrofobik substratları (bitkisel yağları ve parafin yağı) değişik hızlarda kullanabilirler, ancak bazı yağ asit esterleri (kerosen gibi) bazı *Nocardia* benzeri organizma strainleri tarafından kullanılamamaktadır. Aktif çamurdan izole edilen *Nocardia* benzeri organizmaların (*Nocardia pinensis*, veya yeni ismiyle *Skermania piniformis*, *N. serialiae*, *N. otitidiscaviarum*, *N. carnea*, *N. nova*, *N. vaccinii*, *N. pseudobrasiliensis*, *N. brevicatena*, *N. transvalensis*, *N. farcinica*, *Rhodococcus erythropolis*, *R. globulus*, *R. marinonascens*, *R. percolatus*, *R. opacus*, *R. rhodochrous*, *R.*

corynebacterioides, *R. zopfii*, *R. ruber*, *R. coprophilus*, *R. equi*, *R. rhodnii*, *Mycobacterium tuberculosis*, *M. bovis*, *M. smegmatis*, *M. chlorophenolicum*, *Tsukamurella wratislaviensis*, *T. spumae*, *T. pulmonis*, *T. inchoensis*, *T. paurometabola*, *Gordonia amarae*, *G. hydrophobica*, *G. hirsuta*, *G. terrae*, *G. rubropertincta*, *G. sputi*, *G. aichiensis*, *G. bronchialis*, *Dietzia maris*, *Corynebacterium glucanicum*) 16S rDNA sıralama çalışmaları ile filogenetik tanımlamaları yapılmış ve hidrofobik hücre yapıları hidrofobik olan substratlara yapışarak bu maddeleri kolayca almalarına yardımcı olduğu bulunmuştur (Soddell vd., 1998).

Biyolojik stabil köpük oluşumu tesislerde büyük ekonomik giderlere, halk sağlığına olumsuz etkilere, işletim zorluklarına ve arıtma veriminde düşüşlere neden olmaktadır. Köpüğün giderilmesi için kullanılan pek çok kimyasal madde ise (köpük azaltılmasında sonuç verdiği görülmekle birlikte) çevreci olmayan bir çok zararlı yan ürünüde ortaya çıkarmaktadır. Aktif çamur sistemlerinde köpük oluşumu mekanizmasının daha iyi anlaşılabilmesi için hücrelerin mikolik asit içeriği ile hücre yüzeyinin hidrofobisitesi arasındaki ilişkinin ortaya konması amacı ile yapılan araştırmada, mikolik asitin köpük oluşumuna ve hücre yüzeyi hidrofobisitesine tek başına neden olmadığı bulunmuştur. Hücre yüzeyi hidrofobisitesi mikrobiyal kültür yaşı, çoğalma sıcaklığı ve karbon kaynağı değiştirilerek hidrofilik bir yapıya dönüştürülebilmektedir. Köpüğe neden olan mikroorganizmalardan *Rhodococcus rhodochrous* da mikolik asit kompozisyonunu kültür yaşı, çoğalma sıcaklığı ve karbon kaynağı ile değiştirebilmektedir. Ancak mikolik asit kompozisyonunun hücre yüzeyi hidrofobisitesini değiştirmesi üzerine çok az etkisi olduğu tespit edilmiştir ve köpük oluşturma kapasiteleri bu parametreden çok fazla etkilenmemektedir. Köpük kontrolünde kullanılan bentonit, pudra tozu ve zeolit hücre yüzeyinin hidrofobisitesini değiştirmede etkili olduğu bulunmuştur (Stratton, 1998).

Aktif çamur sistemlerinde köpük oluşumuna neden olan iki önemli grup içerisinde *Gordonia* (18 izolat) ve *Tsukamurella* (27 izolat) 16S rDNA çalışmalarıyla doğrulanmış ve biyolojik köpük oluşturan arıtma sistemi içerisinde oldukça yüksek sayılara ulaştıkları bulunmuştur (Goodfellow vd., 1998).

Kabarmaya neden olan filamentli mikroorganizmaların çoğalmasında etkili olan parametrelerin araştırılmasında, temel besi maddelerinin (karbon, azot ve fosfor) yanında iz metallerinde kısıtlayıcı olduğu durumlarda bu mikroorganizmaların önemli bir avantaj elde ettikleri ortaya konmuştur. İz metallerin kısıtlayıcı bulunması durumunda, filamentli mikroorganizmaların yüzey alanlarının hacimlerine olan oranı diğer flok yapıcı ve serbest mikroorganizmaların yüzey alanlarının hacimlerine olan oranlarından büyük olması dolayısıyla, atıksuların yapısında az bulunan metaller absorpsiyon ve adsorpsiyon mekanizmaları ile filamentliler tarafından daha kolayca alınır (Simpson vd., 1991).

Nocardia popülasyonunun kontrol altına alma çalışmaları üzerine çeşitli proses faktörlerinin aktif çamur sistemindeki etkileri araştırılmış ve sıcaklık, pH ve bekletme süresi parametreleri incelenmiştir. Özellikle aktif çamurun sistemde kalma süresinin uzadıkça *Nocardia* popülasyonunda artışlar olduğu gözlenmiştir. Aerobik selektörlerin 5 günlük bekletme sürelerinde *Nocardia* popülasyonunu kontrol altına almada etkili olduğu ancak 10 günlük bekletme sürelerinde etkili olmadığı bulunmuştur. Anoksik selektör uygulamalarında 12 günlük bekletme sürelerine kadar nitrifikasyon proseslerinde *Nocardia* popülasyonunu kontrol edebildiği görülmüştür. pH 6.5 değerinin *Nocardia* popülasyonları için en uygun çoğalma ortamı oluşturduğu ve sıcaklığın 13 °C den 20 °C ye ve 20 °C den 25 °C ye

çıkarılmasında belirli bir bekletme süresi içerisinde önemli bir populasyon değişimine neden olmadığı saptanmıştır (Cha vd., 1992).

Nocardia ve *Microthrix parvicella* nın neden oldukları köpük problemi bir hava diffüzörünün mekanik karıştırıcılı bir aktif çamur pilot tesisinde başarıyla kontrol edildiği ve seçici olarak köpüğün sistemden uzaklaştırılmasının bu mikroorganizmaların kontrol altına alınmasında etkili olabileceği gösterilmiştir (Pretorius ve Laubscher, 1987). Köpük içerisinde *Nocardia* filament sayısının aktif çamur bulk solusyonunda olan sayısından en az 10-50 kat fazla olduğu tespit edilmiştir.

Sphaerotilus natans çamur kabarmasına neden olan filamentli mikroorganizmaların ilk bilinenlerinden ve en çok çalışılanlarından. Genellikle havalandırma havuzunda düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında, atıksuda yüksek C:N oranı olması ve fosfor kısıtlaması olan sularda oldukça iyi gelişir. Aktif çamur arıtma tesislerinde kabarmaya neden olduğu endüstri grupları çoğunlukla meyve, sebze, et ve kümes hayvanlarıdır. Bu endüstrilerde C:N oranı çok değişik oranlarda bulunmaktadır. *Sphaerotilus natans* asetat veya glukozun tek karbon kaynağı olduğu ortamlarda çoğalabilir. Literatürde sitratın tek karbon kaynağı olduğu durumlarda çoğalamadığı bildirilsede çoğalabildiği patates işleme endüstrisi atıksularında gösterilmiştir (Contreras vd., 2000).

Mikroorganizmaların substrat alımlarında morfolojik şekillerinin önemli olduğu bazı araştırmalarda gösterilmiş ve yuvarlak şekilli organizmaların yüksek substrat konsantrasyonlarında çubuk şekilli olan organizmalara göre 4 kat daha hızlı çoğaldığı, buna karşılık düşük substrat konsantrasyonlarında çubuk şekilli organizmaların yuvarlak şekilli organizmalara karşılık 6 kat daha hızlı çoğaldığı bulunmuştur. Bu sonuçlardan kabarma problemine neden olan çubuk şekilli filamentli organizmaların düşük substrat konsantrasyonlarında flock yapıcı organizmalara göre daha fazla çoğalarak probleme neden olacağı görülmektedir. Bu yönden kabarma problemini kontrol altına almada yüksek substrat konsantrasyonlarının tercih edilmesi uygun olacaktır (Vasiliev ve Vavilin, 1992).

Aktif çamur kabarma problemine uygulanan ilk metotlardan olan klor filamentli aktif çamur kabarması problemini iyileştirmek için sıklıkla aktif çamura ilave edilmektedir. Klor ilavesi ile filamentli bakterilerin öldürülmesi birinci derecede planlanırken flock yapıcı bakterilerin korunması veya hayatiyetlerini sürdürmesi de bu plan içerisinde gözden uzak tutulmaması gerekmektedir. Diğer bir ifade ile filamentlilerin ölüm hızı flock yapıcı organizmaların ölüm hızından fazla olmalıdır. Bu uygulamanın amacına uygun olarak işlemesi için flock yapıcı bakterilerin klordan bir şekilde korunuyor olması gerekmektedir. Flock yapıcı bakterilerin klordan korunması, aktif çamur floku içerisinde korunarak klor ile direkt temas etmemesi ile hipotez edilmektedir. Flock serbest klorun flokun iç kısma geçişini limitleyerek flock yapıcı bakterileri flock yüzeyinde ve dışında bulunan organizmalara göre daha az etkilemektedir. Klorlama genellikle düşük doz (5 mg/l) uygulaması ile başlatılmakta ve gerekirse daha yüksek dozlarda (35 mg/l ye kadar) uygulanabilmektedir. Serbest klor (20.2 mgCl₂/l) uygulamalarında serbest klor bakiyesi yaklaşık 4000 mg/l askıda madde konsantrasyonlu aktif çamurda kısa süre içerisinde (10 sn) düşük konsantrasyonlara (0.2 mg Cl₂/l) inmektedir (Neethling vd., 1987).

Aktif çamur floku flok yapıcı ve filamentli organizmalardan oluşmaktadır. Filamentli mikroorganizmaların üzerlerine flok-yapıcı bakterileri ekstrasellular polimerlerin yardımıyla fikse etmesiyle aktif çamur floklarını oluştururlar. Bu yapıda filamentler flokun sıkı ve kuvvetli olması için yapı taşı olarak görev yapar. Aktif çamurda filamentli mikroorganizmaların çok fazla sayıda bulunması aktif çamur sisteminin iyi dizayn edilmediğini veya uygun bir şekilde işletilmediğini gösterir. Kabaran çamurda filamentler çok miktarda olup flok dışına uzanarak flokların çökme ve sıkılaşmasına girişim yaparlar. Filamentlilerin yokluğunda ise floklar küçük olup kolayca çöker ancak su fazı (süpernatant) bulanık kalır ki bu durum “pin point” olarak bilinir. Arzu edilen durum ise filamentli ve flok yapıcı organizmaların bir “denge” içinde çoğalması durumudur ki aktif çamur hızla çöker, sıkı floklardan oluşur ve berrak süpernatant verir.

Filamentli mikroorganizmaların neden olduğu kabarma problemi genellikle iki stratejik yolla kontrol altına alınabilir: Birinci yol dezenfektanların kullanılarak filamentli organizmaların çoğalmasının azaltılmasıdır. Bu yolla çözüm genellikle geçicidir ve tekrar tekrar belirli periyotlarda dezenfektanların kullanılmasını gerektirir. Ayrıca bu strateji flok yapıcılarada zarar verdiği için spesifik değildir. İkinci yol ise biyolojik metodlardır ve bu yolla flok yapıcıların çoğalması desteklenirken filamentli organizmaların çoğalması kontrol altına alınmayı amaçlar. Bu metod iki şekilde uygulanabilir. Birinci uygulamada flok yapıcı organizmaların substrat kullanımı ve çoğalmasına filamentli organizmaların substrat kullanımı ve çoğalmasından daha fazla yardımcı olacak şekilde koşullar oluşturur ki bu kinetik seçim olarak adlandırılır. İkinci uygulama ise filamentli organizmaların substrat kullanım metabolik arayollarını bloke ederek çoğalmalarını durdurmaktadır ki, bu yola metabolik seçim denir. Kabarma problemi olan aktif çamur arıtma tesislerinde bu uygulamaların hemen hepsi tek tek veya birlikte uygulanmaktadır.

5.6. Aktif Çamur Örneklemesi ve Filamentli Organizma Tanımlanması

Aktif çamur sisteminden alınacak olan numuneler havalandırma havuzu sonu ile son çökeltim tankı arasındaki kanaldan alınmalı veya geri devir çamuru hattının tam karışımının olduğu noktalardan alınmalıdır. Bu numuneler yüzeyin altından, eğer yüzey köpüğü varsa köpük karıştırılmadan, alınmalıdır. Eğer köpük mevcutsa ayrıca köpük numuneleri alınır ve ayrıca incelenebilir (köpüğün altında oluşan sıvının köpüğü seyreltmesine izin vermemek gerekir). Eğer aktif çamur sistemi seri bağlı ardışık reaktörlerden oluşuyorsa, numuneyi havalandırma havuzunun sonundan bir tane almak gerekir (filamentli organizma aynı olacağı için). Eğer tesis ayrı ve paralel sistemlerden oluşmuş ise (çok reaktörlü veya iki kademeli) numuneleri her bir sistemin havalandırma havuzu sonundan alınması gerekir. Havalandırma havuzuna herhangi bir tali giriş (örneğin çürütücü süpernatantı) var ise bu kaynakta örneklenerek filamentli organizma(ların) kaynağı olup olmadığı kontrol edilmelidir. Numuneler haftada bir (yaklaşık iki çamur yaşında bir) alınarak rutin analizler yapılabilir Kabarmasının olduğu kritik zamanlarda ise günlük incelemelerin yapılması iyi olur.

Mikrobiyolojik inceleme için gerçekte birkaç ml numune yeterlidir. 20-25 ml’lik tüplere veya şişelere 5-10 ml numune konarak (septik koşulların oluşmasını önlemek için) mikroskopik analiz için laboratuvara getirilir. Numunelere filamentlilerin özelliklerini bozmamak için kimyasal koruyucular konmaz veya dondurulmaz. Numuneler derhal incelemeye alınmalıdır veya inceleninceye kadar 4°C’de saklanmalıdır. Bununla birlikte uzun çamur yaşlı tesislerin

(inceleme yerinden uzakta alınan numuneler) numuneleri 7-10 gün, oldukça büyük yüklü tesislerden alınan numuneler 3-4 gün, inceleme için oda sıcaklığında bekletilebilir. Filamentli organizmaların boyama reaksiyonları uzun bekletme sürelerine oldukça hassastır. Eğer incelemeye kadar uzun taşıma zamanı geçecek ise numune alındığında 2 adet havada kurutulmuş preparat hazırlanması iyi olur.

Numunelerin mikroskopik incelemesinde 100X ve 1000X'lik faz kontrast araştırma mikroskobu yeterlidir. Bununla birlikte mekanik tablalı, fotoğraf veya videolu görüntüleme sistemine sahip binoküler veya trinoküler mikroskoplar arşiv yapmada faydalıdır. Bir oküler mikrometre ve objektif mikrometre ölçüm ve sayımların yapılmasında yardımcı olmaktadır. Ayrıca yeni bilgisayar programları sayma ve ölçüm analizlerinde kullanılabilir. Filamentlerin tayininde rutin olarak iki boyama prosedürü kullanılmaktadır: 1.Gram Boyama, 2.Neisser Boyama. Bu parametreler dışında birçok farklı analiz prosedürleri uygulanmaktadır. Bunların içinde en çok kullanılan testler, sülfür oksidasyonu ve filament içinde bulunan sülfür granülleri için "S testi", filamentlerin kılıfı için "kılıf boyama", ekzosellüler polimerik maddelerin boyanması için "Tersine Boyama" dır (Jenkins vd., 1993).

Mikroskop inceleme için alınan numune iki adet lam üzerine birer damla olarak damlatılır ve lamaların yarı alanını kaplayacak şekilde düzgünce yayılır. Bu lamalar havada kurumaya bırakılır (alevde kurutulmaz). Bu lamalar uzun bir süre için saklanabilir ve daha sonrada boyanabilir. Gram ve Neisser boyama aşağıda verilen prosedürle boyanır. Bu iki boyama metodu da oldukça kararlı olup kullanımında genellikle problem çıkmaz. Karşılaşılan en büyük problem aseton-alkol ile yapılan fazla boyanın giderilmesi (decolorization) işlemi sırasında fazla ve uzun süre bu işleme devam edilmesidir. Bunun sonucunda bazı Gram pozitif filamentli organizmalar boyayı kaybederek Gram negatif boyanabilirler.

5.6.1. Literatürde Mikroskop ile Canlı Numune İnceleme Metodları

Canlı inceleme için iyi karıştırılmış numuneden bir damla lam üzerine damlatılır ve üzerine 22 mm'lik lamel kapatılarak lamelin üzerinden (kalem gibi bir madde ile) hafifçe bastırılır. Bu preparat faz kontrast aydınlatma altında 100X büyütme ile dikkatlice incelenir ve aşağıdaki karakteristikler not edilir:

- 1)mevcut flokların şekli ve boyutu,
- 2)mevcut protozoa ve makroorganizmaların cins veya türleri,
- 3)numunede mevcut bulunan serbest hücreler,
- 4)filamentli organizmaların mevcudiyeti, miktarı, ve flok yapısına olan etkisi.

Filamentli organizmaların miktarı çeşitli metodlarla belirlenebilir. Değişik araştırmacılara göre filamentli organizmaların miktarının tespiti subjektif olarak bir "çokluk kategorisi" içinde sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmalardan en çok kullanılan bir tanesi Tablo 4 de verilmektedir (Jenkins vd., 1993). Bu sınıflamaya göre 100X faz kontrast mikroskopta incelenen filamentli organizmaların miktarı rölatif olarak "hiç"(0)'den "fazla"(6)'ya kadar derecelendirilmiştir. Bu sınıflandırmadaki "çok sık" ve daha fazla miktarlardaki filamentli organizmalar çamurun çökmesinde problem olarak ortaya çıkmakta ve kabarma problemine gösterge olmaktadır.

Herhangi bir filamentli organizmanın “çok sık” olarak bulunması bu sistemde baskın olduğunu gösterir ve çamur kabarmasının en muhtemel nedeni olduğu söylenebilir. Yine bir filamentlinin “sık” olarak bulunması ancak gereğinden fazla sayıda bulunmaması (baskın olmama durumu) herhangi bir problemin nedeni olarak gösterilemez. Kuantitatif olarak daha birçok filament sayım metodu mevcuttur. Örneğin flok yüzeyinden uzanan filamentli organizmaların toplam uzunluğu μm cinsinden aktif çamurun mililitresinde olarak ölçülebilir veya daha basit bir metot olarak mikroskobun görüş alanı içinde horizontal çizgide kesişen filamentler sayılabilir.

Tablo 4: Filamentli Organizma Miktarının Subjektif Olarak Belirleme Sistemi.

Sayısal Miktar	Sözel Miktar	Tanımı
0	Hiç	-
1	Birkaç	Filamentli Organizma Bazı Flokların İçinde Nadiren Gözlenir
2	Biraz	Filamentli Organizma Yaklaşık Olarak Flokların Yarisında Gözlenir
3	Sık	Filamentli Organizma Tüm Floklarda 1-5 Adet Filament/Flok Olacak Şekilde Düşük Yoğunlukta Gözlenir
4	Çok Sık	Filamentli Organizma Tüm Floklarda 5-20 Adet Filament/Flok Olacak Şekilde Orta Yoğunlukta Gözlenir
5	Fazla	Filamentli Organizma Tüm Floklarda >20 Adet Filament/Flok Olacak Şekilde Yüksek Yoğunlukta Gözlenir
6	Çok Fazla	Filamentli Organizma Dominanttır ve Flokların Dışında Serbest Çoğalır

Filamentlilerin miktarı bulunduktan sonra mikroskop 1000X’lik faz kontrast objektifi kullanılarak preparatta kaç farklı tip filament olduğu araştırılır. Bu sayı genellikle 3-6 arasında değişmektedir. Her bir filamentli organizma dikkatlice karakterize edilerek her bir parametre “ortalama” olarak not edilir. Bu arada bulunan sıradışı filamentlileri gözardı etmemek gerekir. Her bir filament tipi aşağıdaki özelliklerine göre karakterize edilir.

1. Dallanma: “var” veya “yok”, eğer var ise “yalancı” veya “gerçek” dallanma olup olmadığı belirlenir.
2. Hareket: “var” veya “yok” (Sadece 1 tek filamentli organizma aktif olarak hareketlidir).
3. Filamentin Şekli: Düz, hafif kıvrımlı, kıvrık, kılıflı, düzensiz şekilli veya miselli.
4. Filament Yerleşimi ve Uzunluğu: Serbest, flok içinde, flok yüzeyinden dışa uzanan ve her bir filamentin ölçülen uzunluğu.
5. Epifitik Bakterilerin Asılı Çoğalması(Attached Growth): “var” veya “yok”(temiz).
6. Kılıf: “var” veya “yok”. Bu gözlem eğer filament hücreleri yoksa oldukça zor tespit edilir. Bu durumda kılıf boyanması tavsiye edilir.
7. Septa: “var” veya “yok”
8. Filament Çapı: Filament çapının ortalama $1\mu\text{m}$ den kısa veya uzun olması önemlidir.
9. Hücre Şekli: Kare, dikdörtgen, oval, varil, disk şekilli, yuvarlak uçlu filament, belirsiz ve düzensiz şekilli.
10. Hücre İçi Sülfür Granüllerinin Varlığı: “var” veya “yok”, in situ olarak sülfür testi ile belirlenir, sülfür granülleri parlak sarı, ışıldayan bir görüntü verir.
11. Boyanma Reaksiyonları: Gram ve Neisser boyamalar her bir filamentin hazırlanan preparatlarına uygulanarak reaksiyonları bulunur. Bu analizlerin doğru olarak

uygulanması zamanla geliştirilebilir ve sonuçları Gram negatif, kuvvetli Gram pozitif veya zayıf Gram pozitif, Neisser negatif veya Neisser pozitif olarak neticelendirilir. Filamentli organizmaların çoğu Gram negatif olarak boyanmaktadır. Neisser boyama ile genelde hücre içi granülleri Neisser pozitif olarak boyanır. Bu boyanma şeklini filamentin negatif veya pozitif olmasıyla karıştırmamak gerekir. Çünkü pek çok filamentli organizma Neisser negatif olup bilinen sadece 2 tanesi Neisser pozitifdir.

Mikroskopik inceleme sonuçlarını bir sayım tablosuna yazmak genelde faydalı olur. Her bir filamentli organizmanın tanımlanması için gerekli karakteristiklerin sayısını limit bir sayıya indirerek tanımlama basitleştirilebilir. Bu liste iki alt grup altında toplanmıştır. Bu listede en fazla rastlanan 22 filamentli organizmanın tanımı vardır ve basitçe tanımlanabilen bazı organizmalar (örneğin mantarlar) bu listeden çıkarılmıştır. Anahtar liste genelde “evet” veya “hayır” olarak cevaplandırılabilen bir soru listesi haline getirilmiştir.

Bu anahtar listenin kullanılması tüm filamentli organizmaları içermediğinden bazı tanımlama risklerinin de içermektedir. Tanımlanan filamentli tiplerinin tanımlara ve mikrofotograflara ne kadar uyduğu dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir. Bazan herhangi bir tanıma uymayan filamentli organizmalar bulunabilir. Bu gibi durumlarda organizma “tanımlanamadı” şeklinde rapor edilmeli, herhangi bir bilinen mevcut türe benzetilerek tanımlanmamalıdır. Gerçekte anahtar listede bulunmayan bir çok tür araştırmalarda bulunmaktadır. Tanımlama yaparken en iyi yol belli karakteristikleri bulduktan sonra aynı örnekleri bu konuda daha tecrübeli ve tanıyabilen kişilere göstermek ve doğrulamak iyi olacaktır. Tecrübeli bir araştırmacı filamentli organizmayı 2 saat gibi bir çalışmayla tanımlayabilir.

5.7. Aktif Çamurda Köpük Oluşumu

Aktif çamur sistemlerinde kabarmanın yanında bir diğer önemli problem çamur köpüğü oluşumu olup dünyanın hemen her yerinde biyolojik arıtma sistemlerinde karşılaşılan istenmeyen bir problemdir. Bu köpükler mikroorganizmaların çoğalmasından olabileceği gibi atıksuların yapısında bulunan yüzey aktif maddeleri ve çeşitli kimyasallarca oluşturulabilir.

Arıtma sistemlerinde görülen köpük ve kabarcık tipleri aşağıda verilmektedir.

- 1) Parçalanmamış yüzey-aktif organik maddeler,
- 2) Beyaz köpük oluşturan ve biyolojik olarak zor parçalanan deterjanlar,
- 3) Çöktürme tankında denitrifikasyondan dolayı havalanan ve yükselen çamurdan oluşan kabarcık ve balonlar,
- 4) Actinomyces lerin fazla çoğalmasından dolayı oluşan kahverengi kabarcık ve köpükler.

Actinomyces ler kahverengi viskoz kabarcıkların en önemli sorumlularıdır. Bu organizmalar havalandırma havuzunda yüksek ortalama hücre bekletme sürelerinde çok gelişirler. Çökme tankında da görülebilirler. Köpük oluşturan bu mikroorganizmalar çeşitli şekerlerden yüksek molekül ağırlıklı polisakkaritlere, proteinlere ve aromatik bileşiklere kadar pek çok maddeyi kullanabilirler.

Köpük oluşumunda mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri ve havalandırma sırasında çıkan kabarcıklar onların yüzmesine yardımcı olur. Bu mikroorganizmaların hücre

duvarlarının hidrofobik olması dolayısıyla yüzeye taşınmaları ve ürettikleri biyolojik yüzey aktif maddeler ile köpüğün oluşumuna katkıda bulunurlar. Köpükler genellikle uzun bekletme süresinde (>9 gün), ılık sıcaklıklarda (>18 °C) ve yağ içeriği yüksek olan atıksularda daha fazla görünür.

Bu parametrelerden başka çamur kabarması ve köpük oluşumu arıtma tesisinin bulunduğu ülke, coğrafik konumu, iklim şartları gibi faktörlerden de etkilenmektedir.

6. GEREÇ VE YÖNTEM

6.1. Kimyasal ve Fiziksel Analizler ve Metotları

Tuzla Organize Deri Sanayi Biyolojik Arıtma Tesisinden sürekli olarak 1999 yılından itibaren 4 yıllık zaman dilimi içerisinde havalandırma havuzundan ve son çökeltme havuzundan alınan numunelerde çeşitli kimyasal ve fiziksel analizler yapılmıştır. Tesisin atıksuyunun karakterize etmek için Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (ÇKOİ) Toplam Askıda Katı Madde (TAM), Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM), Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), Amonyak Azotu (NH₃-N), Toplam Krom (TCr), Yağ ve Gres, Alkalinite, Sülfat (SO₄⁻), Sülfür (S²⁻), Klorür ve pH parametreleri Standart Metotlara (1989) göre ölçülmüştür.

Ayrıca biyokütlenin miktarı, askıda katı madde analizi yapılarak ve çamurun çökeltme karakteristiği çamur hacim indeksi (ÇHİ, veya SVI) ile tespit edilmiştir.

6.2. Mikrobiyolojik ve Mikroskobik İnceleme Metotları

Havalandırma havuzundan alınan numunelerde mikroskobik inceleme için öncelikle çeşitli preparatlar hazırlanarak çeşitli boyama teknikleri uygulanmış ve mikroskopta incelemeye hazır hale getirilmiştir. Boyama tekniklerinden Gram boyama, Neisser boyama, fosfat boyama(toluidin), uygulanmıştır. Bu metotlar Jenkins ve diğerleri, (1993)'e göre uygulanmıştır. Ayrıca numunelerden alınan örneklerde canlı mikroskobik inceleme direkt olarak yapılmıştır. Yapılan incelemelerde aktif çamurun mikrobiyolojik yapısı tanımlanmış, mikroorganizmalar tanımlanarak aktif çamurdaki miktarları bulunmuştur. Boyanan ve boyanmadan orijinal olarak incelenen numunelerin mikroskop fotoğraf makinesi ile görüntüleri tespit edilmiştir. Bu araştırmada Olympus BX50 Model araştırma mikroskobu ve buna bağlı İkagami marka görüntüleme kamerası kullanılmıştır. Alınan görüntüler üzerinde ölçeklerin ve tanımlayıcı yazıların konması ve boyutların ölçülmesinde önceden objektif ve oküler mikrometrelerle kalibre edilmiş SPOT analiz programı kullanılmıştır. Alınan örneklerde öncelikle canlı preparatlar parlak alan ve faz kontrast mikroskopta 100X büyütme sağlanarak incelenmiş ve aktif çamurun genel mikrobiyolojik yapısı tespit edilmiştir. Bu canlı muayenede sistemdeki flokların yapısı, protozoa, rotifer, filamentli mikroorganizmalar ve nematodlar araştırılmış, görüntüleri alınmış ve miktarları tespit edilmiştir. Hazırlanan ve boyanan diğer preparatlarda 100X, 400X ve 1000X büyütme kullanılarak filamentli mikroorganizmalar tanımlanmaya çalışılmış ve yine görüntüleme sistemiyle mikro fotoğrafları alınarak bilgisayar ortamında görüntüleri depolanmıştır.

6.3. Respirometrik Analiz Metodu

Respirometre cihazı 3 litre hacimli ana reaktör ve oksijen tüketim hızının ölçüldüğü bir hücreden meydana gelmektedir. Respirometrenin iç hücresi tamamı ile kapalı 0.75 litrelik bir hücre, çözünmüş oksijen ölçüm probu, 4 adet selonoid vana, bir numune pompası ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Hava debisi, OTH ölçümlerinin en az 5 mg/l çözünmüş oksijen

konsantrasyonu ile başlayacak şekilde ayarlanmış ve ölçümlerde ototrofik çoğalmadan kaynaklanan oksijen tüketimini engellemek amacıyla nitrifikasyon inhibitörü kullanılmıştır.

6.3.1. *Respirometrik Ölçümler için Yapılan Aklimasyon Çalışmaları*

Karışık kültürler ile yürütülen çalışmalar İTÜ Çevre Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. 3 adet laboratuvar ölçekli 2 litre efektif hacimli doldur-boşalt reaktörlerde karışık kültürler ile aklimasyon deneylerine başlanmıştır. Aklimasyon çalışmaları için başlangıçta bütün reaktörlere Tuzla Organize Deri Sanayi Arıtma Tesisi'nden alınan karışık kültür mikroorganizma topluluğu eklenmiştir. Reaktörler aklimasyon süresi boyunca ham atıksu, yağlı atıksu ve oksijen kısıtlı olarak düzenlenmiş ve biyolojik çoğalmayı sağlamak üzere diğer makro ve mikro besi maddeleri de yeterli miktarda sistemlere eklenmiştir. Tüm reaktörler 20°C'de işletilmiş, reaktörlerdeki çözünmüş oksijen konsantrasyonları en az 3 mg/l olacak şekilde ayarlanmış ve reaktörler periyodik olarak izlenerek kararlı dengeye ulaşp ulaşmadıkları kontrol edilmiştir. Tüm respirometrik çalışmalar kararlı haldeki reaktörlerden alınan aktif çamur örnekleri ile gerçekleştirilmiştir.

7. BULGULAR

7.1. Tesis Atıksu Karakterizasyonu

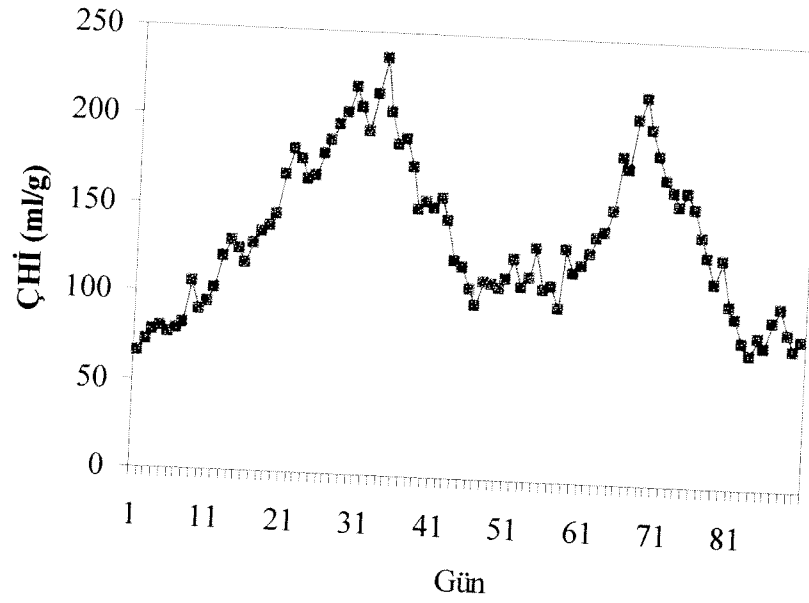
Tesisin laboratuvarlarında günlük rutin olarak kimyasal arıtma sonrası dengeleme havuzu ve havalandırma havuzu girişinden yapılan analizlerin sonuçları ortalama, alt ve üst değerler olarak Tablo 5 de verilmektedir.

Tablo 5: Dengeleme Havuzu Çıkışı ve Biyolojik Arıtmaya Girmeden Önce Deri Atıksuları Karakterizasyonu

Parametre	Atıksu Özellikleri			
	Dengeleme Sonrası		Çökeltme Sonrası	
	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık
Total KOİ, mg l ⁻¹	3830	1790 – 9680	2100	1680 – 2450
Çözünmüş KOİ, mg l ⁻¹	1280	860 – 3550	1160	820 – 1370
TAM, mg l ⁻¹	1770	550 – 12840	690	450 – 1400
TKN, mg l ⁻¹	265	120 – 650	215	110 – 310
NH ₃ -N, mg l ⁻¹	109	43 – 240	105	35 – 205
S ²⁻ , mg l ⁻¹	52	4 – 260	38	4 – 58
pH	8.0	5.2 – 12.1	7.8	6.5 – 8.5
Alkalinite, mg l ⁻¹	932	885 – 1370	880	845 – 1350
Klorür, mg l ⁻¹	4088	2435 – 9035	3800	2330 – 8860
Yağ ve Gres, mg l ⁻¹	475	300 – 10050	400	280 – 1800
Toplam Krom, mg l ⁻¹	48	18 – 70	40	15 – 65
SO ₄ ⁻ , mg l ⁻¹	1850	630 – 3350	1500	580 – 2900

7.2. Havalandırma Havuzunun Çamur Hacim İndeksi Kalitesi

Aktif çamurun çökelme özelliğinin bir göstergesi olan ÇHİ biyolojik arıtma sistemlerinin kontrolünde önemli bir yer tutar. Tesisin havalandırma havuzu içerisinde alınan örneklerde günlük rutin olarak çamur hacim indeksi (ÇHİ) analizi yapılmıştır. Sürekli olarak ölçülen bu analiz sonuçlarının 90 günlük bir kesiti Şekil 1 de bir grafik olarak verilmektedir.



Şekil 1: Havalandırma Havuzu 90 Günlük Çamur Hacim İndeksi (ÇHİ) Grafiği

ÇHİ değerleri en iyi 60 ml/g ve en kötü 250 ml/g olarak ölçülmüştür. Zamansal olarak incelendiğinde ÇHİ değerlerinin periyodik olarak hemen hemen her 30-40 gün içerisinde iniş ve çıkışlar yaptığını, piklerin kabarma periyotlarına, düşük değerli dip noktalarında ise tesisin iyi arıtma ve performans gösterdiği, kabarma ve köpük probleminin olmadığı zamanlara karşılık geldiği görülmüştür.

7.3. Havalandırma Havuzunun Mikrobiyolojik Yapısı

Aktif çamurun flok yapısı genelde iyi görünmektedir. Floklar oldukça büyük ve birbirlerine çok yakın olarak yapılanmışlar ve makroyapılarında önemli sayıda filamentli bakteri barındırmaktadırlar. Bu yapılarıyla Sezgin ve diğerleri (1978) nin flok tanımı içerisinde girmektedirler. Flok yapıcı *Zoogloea ramigera* klasik yapısıyla aktif çamurda yer almaktadır.

Günlük olarak alınan numunelerde yapılan canlı mikroskopik incelemelerde aktif çamur flok yapısının zengin bir mikrobiyolojik yapıya sahip olduğu bulunmuştur. Sistemin işleyişine bağlı olarak özellikle çamur kabarmasına bağlı olarak çok çeşitli protozoa, rotifer ve nematodlar her örnekte gözlenmiştir. Protozoaların serbest hareket eden silli türleri 500- 1000 adet/ml ve kamçıli türleri yaklaşık 5000 adet/ml miktarlarına ulaşmaktadır. Kamçıli potozoalardan *Bodo* spp. ve *Aspidisca* spp. ve silli protozoalardan *Lionotus* spp., *Colpidium* spp. ve *Paramecium* spp.en çok rastlanan türler olarak kaydedilmiştir. Yine protozoa

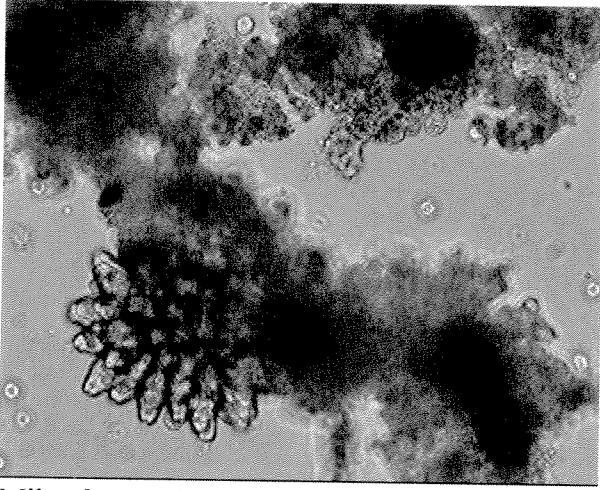
çeşitlerinden olan saplı protozoalar sistemde özellikle sistemin iyi işlediği durumlarda sayılarında artışlar gözlenmiştir. Saplı protozoalar içerisinde göze batan en önemli türler *Epistylis* spp. ve *Vorticella* spp. olup, bu türlerin floklar üzerinde tek tek veya büyük koloniler meydana getirdiği görülmüştür (Mikrofotograf 1).

Metazoa grubundan olan ve aktif çamur sistemlerinin işleyişi hakkında oldukça iyi gösterge olarak kullanılan rotiferlerinde zaman zaman yüksek sayılara ulaştıkları araştırma süresince gözlenmiştir. Genelde sayıları 30-50 adet/ml olarak sayılmışlardır. Sistemin kötü işlediği durumlarda sayılarında bir atış olduğu tespit edilmiş kabarma probleminin olduğu durumlarda sayılarının 100 adet/ml değerlerini aştığı bulunmuştur. Rotiferler flokların içinde, üzerinde ve floklar arasında özellikle kabarma problemi sırasında sayıları hızla artan *Nocardia* spp. filamentlerine tutunarak, ortamda daha rahat beslendiği ve sayılarının arttığı incelemelerde görülmüştür (Mikrofotograf 2).

Aktif çamur sistemlerinin işleyişi hakkında önemli ipuçları veren ve gösterge olarak kullanılan türlerden olan nematodlar (kurtçuklar) normal zamanlarda 5-10 adet/ml ve diğer mikroorganizmaların aksine kabarma ve köpük probleminin olduğu durumlarda sayıları 1-2 adet/ml seviyelerine düşmüştür.

Bu araştırmanın en önemli kısmını teşkil eden filamentli mikroorganizma araştırması hazırlanmış bulunan preparatların boyanması ve mikroskop altında incelenmesi sonucunda ortaya çıkarılmış ve elde edilen görüntüler literatürdeki filamentli bakteri tanımlamalarıyla karşılaştırılarak tür tanımına gidilmiş ve sonuç olarak tesiste baskın 3 değişik filamentli bakteri tipi bulunmuştur (Mikrofotograf 3). Bu türlerden *Microthrix parvicella* ve *Nostocoida limicola II* aktif çamur sisteminin normal işleyiş periyotlarında her numunede görülmüştür. *Nocardia (Gordona)* spp. türü ise genelde kabarma ve köpük probleminin olduğu durumlarda ortaya çıkmış ve sayıları hızla artış göstermiştir. *Nocardia (Gordona)* spp. ler hemen hemen her görüldüğü durumda flokların bir ağ gibi bu filamentli tarafından sarıldığı tespit edilmiştir. Diğer iki tür *M.parvicella* ve *N.limicola II* ise flok yüzeyinde veya aktif çamurda serbest durumda olduğu görülmüştür. *Nocardia (Gordona)* spp. türünün flokları birbirine bağladığı ve bu işlemin tamamlanmasına *M.parvicella* ve *N.limicola II* filamentlerinde yardımcı olduğu bulunmuştur.

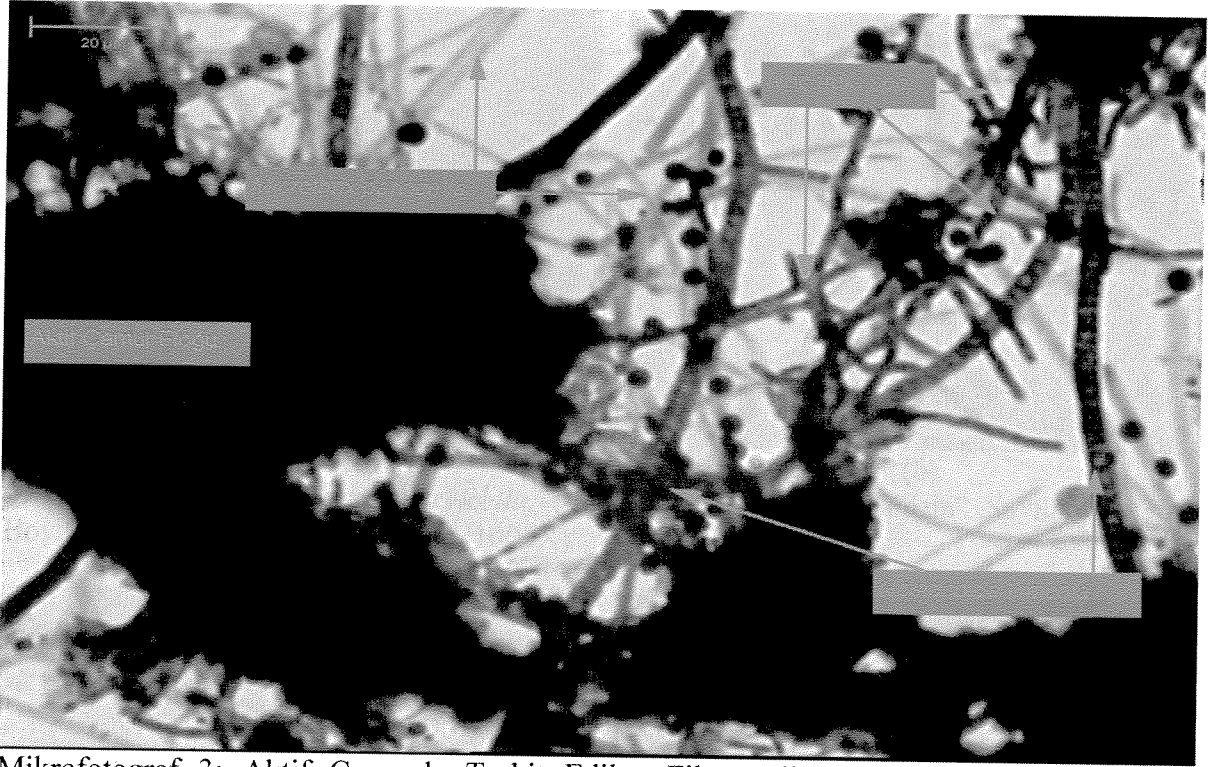
Nocardia (Gordona) spp. türü araştırma süresince çokluk bakımından incelendiğinde kabarma probleminin olduğu periyotlarda flokları tamamen kapladığı ve yapısı gereği (dallı-budaklı) sayısının tespiti mümkün olamamıştır. Jenkins ve Eikelboom'un çokluk sınıflama sistemlerine göre sayısal olarak "5" veya "6", diğer bir ifade ile bu sisteme göre "fazla" veya



Mikrofotograf 1: Koloni Halindeki Saplı Protozoalar (Canlı İnceleme, Faz Kontrast Mikroskop, 100X)



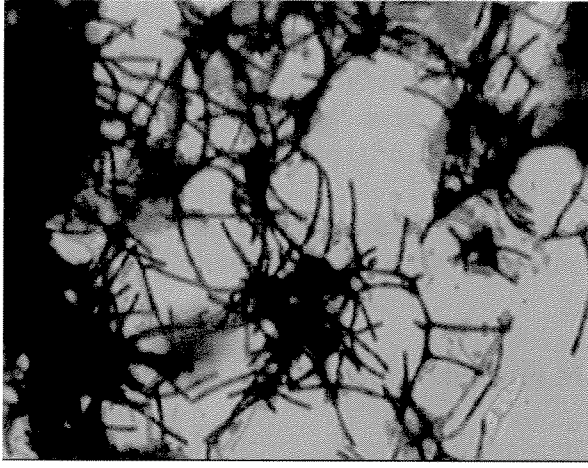
Mikrofotograf 2: Aktif Çamurda Bulunan Rotifer, (Canlı İnceleme, Faz Kontrast Mikroskop, 100X)



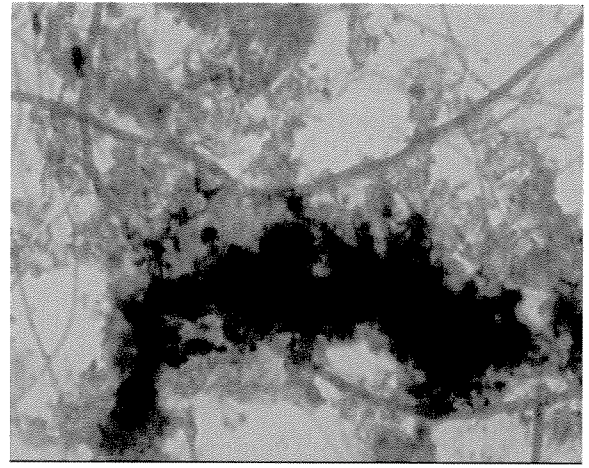
Mikrofotograf 3: Aktif Çamurda Tesbit Edilen Filamentli Bakteriler, (Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskop, 1000X)

“çok fazla” sayılara ulaştığı (Mikrofotograf 4a) literatür karşılaştırmalarından anlaşılmıştır. Kabarma probleminin olmadığı durumlarda bu filamentli bakteri sayısı “birkaç” veya “biraz” diğer bir ifade ile “1” veya “2” olarak görülmüştür (Mikrofotograf 4b).

M.parvicella miktarı sınıflama sistemine göre incelendiğinde sayısının hemen her zaman sayısı flock başına yaklaşık 30-50 adet (Mikrofotograf 5a). ve buna karşılık gelen çokluk sınıflama grubu “6” dır. Kabarma durumunun olduğu periyotlarda sayılarının flock başına 100 adeti bulduğu gözlenmiştir (Mikrofotograf 5b).

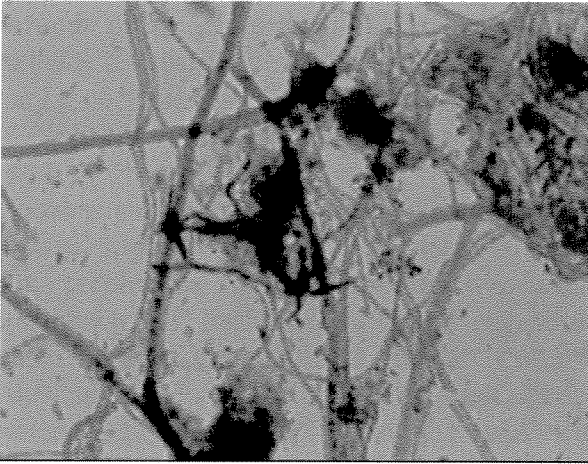


(a)

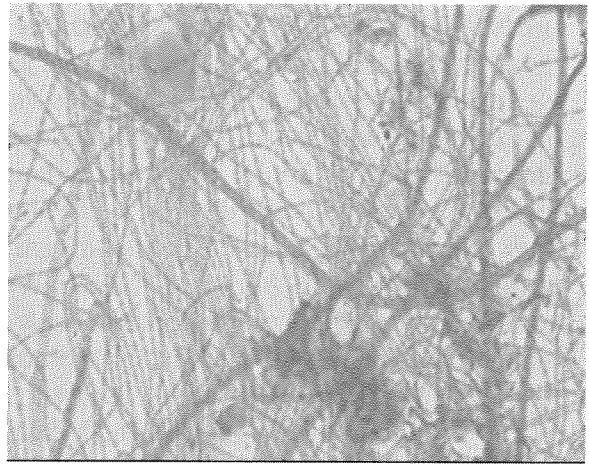


(b)

Mikrofotograf 4: *Nocardia (Gordona) spp.*, (a) “Çok Fazla” (b) “Biraz” Sayılarda (mavi renkli), (Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskop, 1000X)

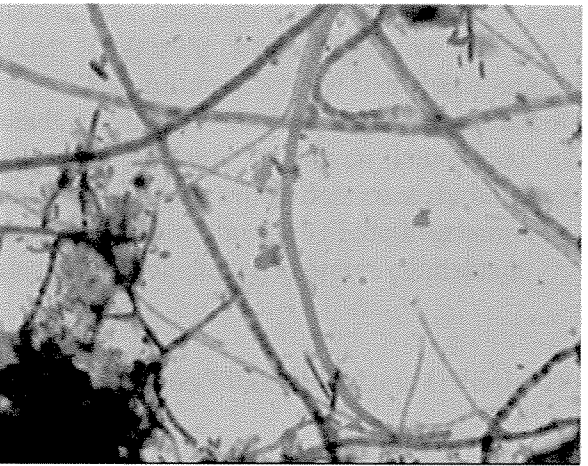


(a)

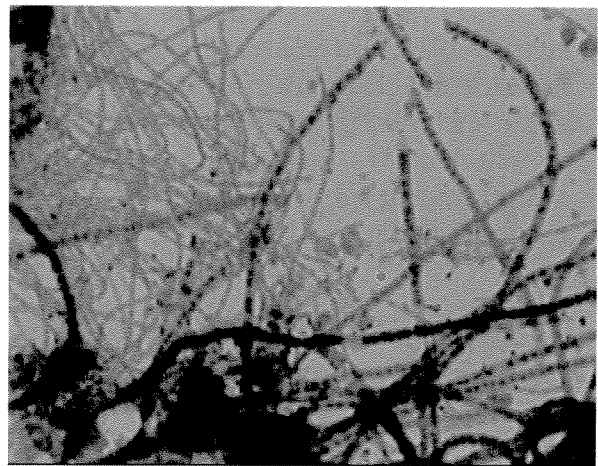


(b)

Mikrofotograf 5: *Microthrix parvicella*, (a)“Fazla” ve (b) “Çok Fazla” Sayılarda (Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskop, 1000X)



(a)



(b)

Mikrofotograf 6: *Nostocoida limicola II*, (a)“Biraz” ve (b) “Fazla” Sayılarda (Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskop, 1000X)

Nostocoida limicola II filamentli bakterisi incelenen hemen her örnekte tespit edilmiş ve sayıları flok başına normal zamanlarda 5-7 adet “biraz” ve kabarma durumlarında 10-15 adet “fazla” kadar sayılmıştır. Sistemin normal işlediği durumlarda *M.parvicella* ile birlikte görülen bu mikroorganizma daha çok aktif çamurda serbest halde ve flokların üzerinde görüntülenmiştir (Mikrofotograf 6).

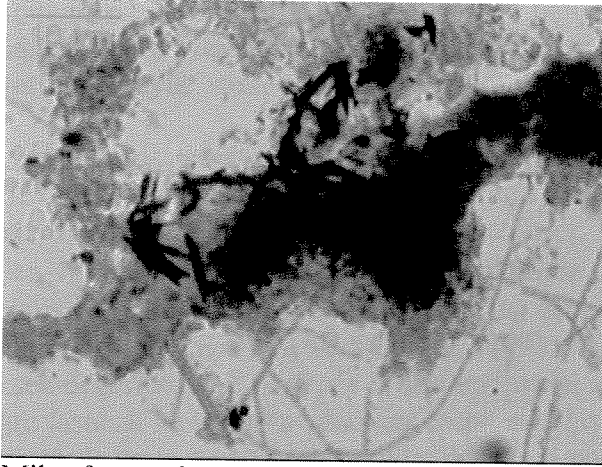
Aktif çamur sistemlerinde genelde bulunan diğer ökaryotik mikroorganizmalardan Fungi (Mantarlar) ve alglere bu tesiste rastlanmamıştır.

7.4. Kabarma Probleminin Mikrobiyolojik Mekanizması

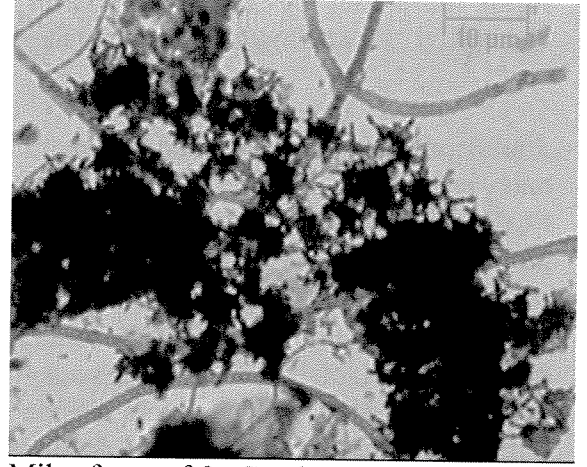
Deri endüstrisi atıksularını arıtan tesiste kabarma ve köpük probleminin kronik olarak devam ettiği araştırma süresince gözlenmiştir. Kabarma ve köpük probleminin başlamasıyla aktif çamurun çökme karakterinde dereceli olarak bir düşüş ölçülmüş ve gözlenmiştir. Bu ÇHI ölçümleriyle tespit edilmiş ve son çıkışta arıtılmış atıksu deşarj kalitesinin ve arıtma veriminin düşmesine neden olmuştur. Kabarma ve köpük probleminin olduğu periyotlarda havalandırma havuzunun üzerinde oluşan köpük yoğun, gri renkli ve zaman zaman 1-1.5 m kalınlığa ulaşmış hatta şiddetli kabarma probleminin olduğu zamanlarda havalandırma havuzundan dışarıya taşıdığı durumlar gözlenmiştir. Araştırmanın önemli bir kısmını oluşturan kabarma ve köpük probleminin nasıl başladığı ve ilerlediği konusunda oldukça ilginç bulgular ve görüntüler elde edilmiştir. Bu konuda en önemli bulgu kabarma ve köpük probleminin *Nocardia* (*Gordona*) spp. filamentli organizmasıyla yakından ilişkili olduğudur. Sistemde diğer iki tür filamentlinin (*Nocardia* (*Gordona*) spp. siz olarak) fazla sayılarda bulunması durumunda dahi herhangi bir kabarma veya köpük problemine yol açmaz iken, *Nocardia* (*Gordona*) spp. nin flok içerisine girip “kontaminasyona” başlaması ve burada çoğalarak sayılarını arttırması ve büyümesiyle kabarma problemi ortaya çıkmaktadır. Buradan bu filamentlinin kabarma ve köpük probleminin tetikleyicisi olduğu anlaşılmaktadır. Flok içerisine yerleşen *Nocardia* (*Gordona*) spp. tekil hücreleri (Mikrofotograf 7) bir kaç gün içerisinde “çoğalmaya” (Mikrofotograf 8) ve “dallanmaya” (Mikrofotograf 9) başlamaktadır. Flok içinde çoğalmaya devam eden bu organizma floğu iyice bloke ettikten sonra flok dışına doğru “yayılmaya” (Mikrofotograf 10) ve filamentlerinde bulunan küçük dallarının (diken) yardımıyla ve diğer iki tür filamentli organizmanın (*M.parvicella* ve *N.limicola* II) uzun filamentleri sayesinde diğer flokları birbirine bağlamaktadır (Mikrofotograf 11). Her ne zaman bu proses tamamlanırsa tamamlansın ÇHI değerleri >150 ml/g değerini aşmış ve kabarma ve köpük problemi tesiste gözle görülür duruma gelmiştir. Bu durumda yüzey alanı iyice artan floklar ve filamentli organizmalar son çökeltim tankında uzun süre kalsa bile çökelemediklerinden dolayı çıkış atıksuyunda kaçaklara neden olmakta ve arıtılmış atıksuyun kalitesinde düşmeye neden olmaktadır. *M.parvicella* ve *N.limicola* II’nın sistemde dominant durumda olduğu zamanlarda da önemli bir problem ortaya çıkarmadıkları görülmüştür. Şiddetli kabarma ve köpük problemi her üç filamentlinin bir arada bulunması ve çoğalmasıyla ortaya çıkmaktadır.

7.5. Tanımlanmış Filamentli Bakterilerde Tespit Edilen Morfolojik Farklılıklar

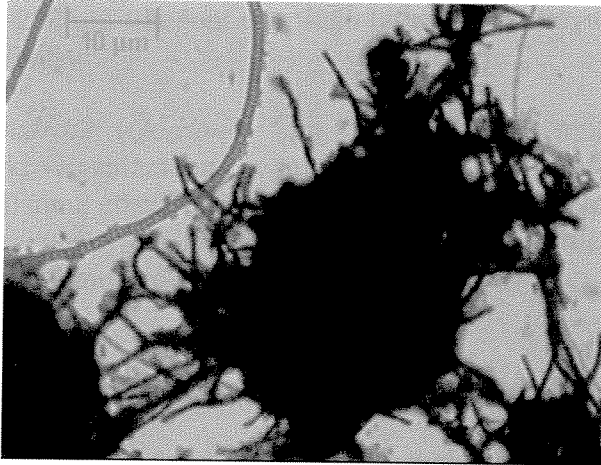
Filamentli mikroorganizmalar üzerine Türkiye’de henüz bir tanımlama ve katalog çıkarma çalışması yapılmamıştır. Filamentli mikroorganizmaların ülkeden ülkeye ve tesisten tesise farklılıklar göstermesi dolayısıyla ortaya çıkarılan yeni filamentli mikroorganizmaların



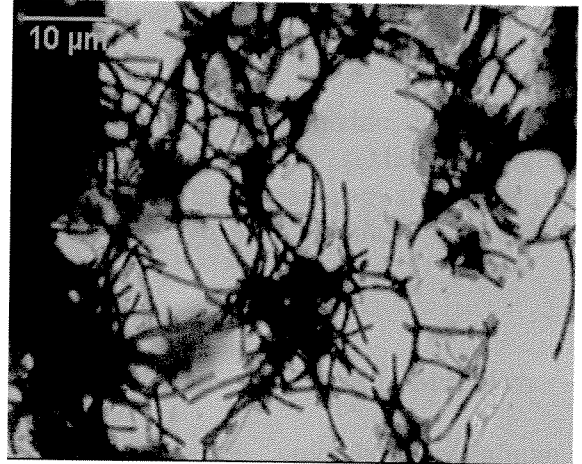
Mikrofotograf 7: *Gordona* spp. Tekil Hücrelerinin Flok "Kontaminasyonu", (Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskop, 1000X)



Mikrofotograf 8: *Gordona* spp. Hücrelerinin "Çoğalması", (Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskop, 1000X)

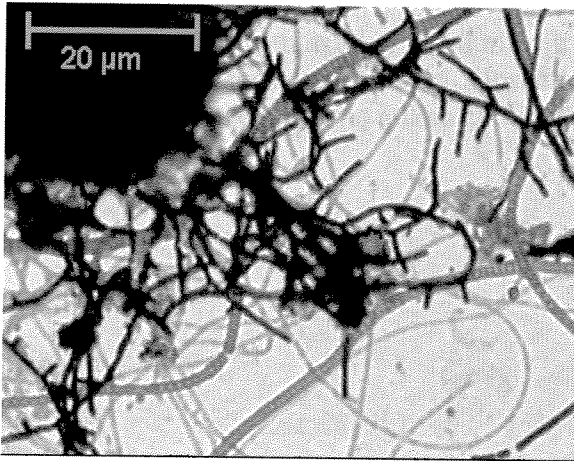


(a)

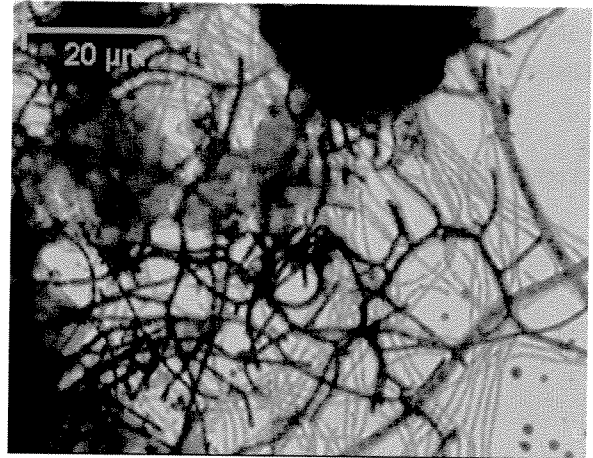


(b)

Mikrofotograf 9: *Gordona* spp. Hücrelerinin "Dallanması", (a) Flokların Tamamen Sarılması, (b) Flokların Dışına Uzaması (Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskop, 1000X)



Mikrofotograf 10: *Gordona* Filamentlerinin Flok Dışına "Yayılması" (Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskop, 1000X)



Mikrofotograf 11: Üç Filamentli Türünün Kabarma Durumundaki Görünümü, (Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskop, 1000X)

tanımlanması ve literatürde yayınlanmış bulunan türlerle benzerlik ve farklarının tespit edilmesi ilerde yapılacak araştırmalara ve arıtma sistemlerinde uygulanacak iyileştirme metotlarına büyük yarar getirecektir.

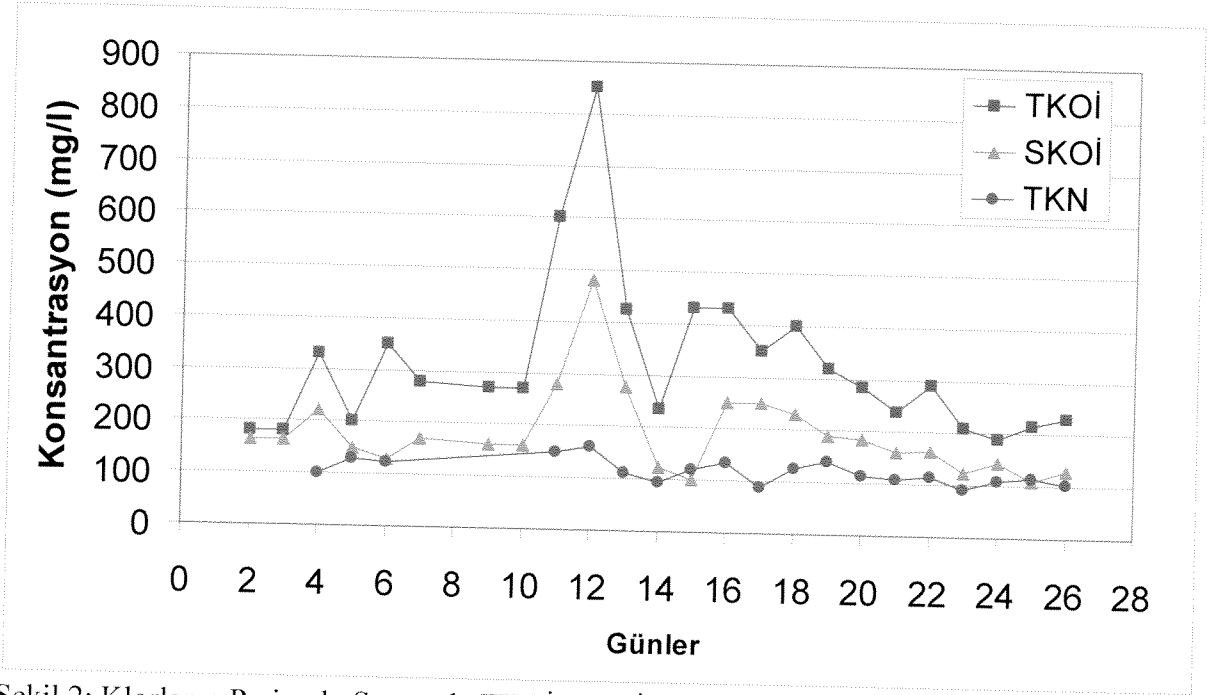
Bu araştırmada tespit edilen ve tanımlanan filamentli mikroorganizmaların bazı morfolojik özellikleri literatürde (Jenkins, Richard ve Daigger, 1993; Eikelboom, 1975) yer alan benzerleriyle bazı farklılıklar göstermektedirler. Deri endüstrisi aktif çamur sisteminde tespit edilen ve tanımlanan *N.limicola* II filamentinin bu araştırmada ölçülen boyutları 1.5-2.2 µm genişlikte ve 200-250 µm uzunluktadır. Bu değerler bu konuda en önemli çalışmaları yapmış bulunan Jenkins, Richard ve Daigger, (1993) ve Eikelboom, (1975) 'un bulgularından daha yüksek değerlerdir. *N.limicola* II deri endüstrisi aktif çamurunda daha çok floklardan dışarıya doğru taşması ve uzanması halinde tespit edilmiş ve serbest olarak sıvı ortamda bulunmuştur. Literatürde gram negatif nadiren de olsa gram pozitif olarak boyandığı belirtilen bu filamentli organizma bu çalışmada sürekli olarak gram negatif boyanmış formda gözlenmiştir.

Bir morfolojik farklılık da *M.parvicella* 'nın boyutlarında tespit edilmiştir. Literatür de verilen 50-200 µm filament uzunluğu bu araştırma boyunca çok daha uzun, 300-500 µm olarak tespit edilmiştir.

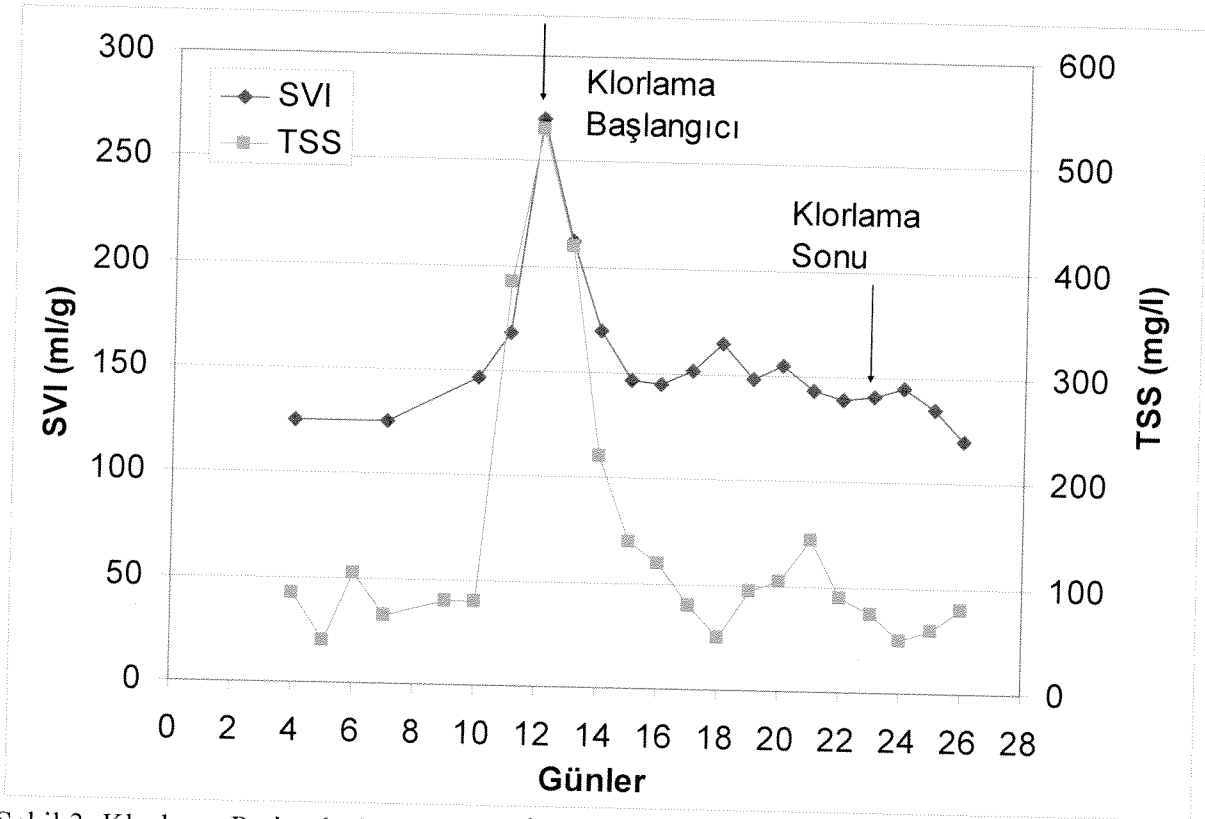
Nocardia (Gordona) spp. türü için bir morfolojik farklılık görülmemekle birlikte bu mikroorganizmanın çoğalma ve dallanma göstermeden önce tekil çubuk şeklinde olduğu, dallanma göstermesinden sonra bir uzunluk ölçmenin pek mümkün olamayacağı anlaşılmıştır. Bu yönüyle bakıldığında literatürde verilen boyutların göreceli olarak ölçüldüğü düşünülmektedir.

7.6. Klorlama Uygulaması Sırasında Elde Edilen Kimyasal ve Fiziksel Analiz Bulguları

Klorlama periyodu boyunca havalandırma havuzu ve son çıkış atıksularından alınan örneklerde ÇHİ, TKOİ, SKOİ, TKN, AKM ölçümleri yapılmış ve bu sonuçlar Şekil 2 ve Şekil 3 de grafikler halinde verilmiştir. Burada elde edilen sonuçların kabarmanın başladığı günde değerlerin pik oluşturacak şekilde ölçülen parametrelerde artış olduğu bulunmuştur. Klorlamanın uygulanmasından sonraki günlerde değerlerde 12 gün sonunda tesisin normal çıkış suyu değerlerine ulaşıldığı görülmüştür ve bu mikroskobik örneklerin incelenmesiyle mikrofotograflarla tespit edilmiştir. Klorlama boyunca yapılan analiz sonuçları ve tesisin normal atıksu giriş ve arıtılmış atıksu çıkış karakterizasyonu Tablo 6 da verilmektedir.



Şekil 2: Klorlama Periyodu Sırasında TKOİ, SKOİ ve TKN Sonuçları.



Şekil 3: Klorlama Periyodu Sırasında ÇHI(SVI) ve AKM(TSS) Sonuçları.

Table 6: Klorlama Periyodu Boyunca Biyolojik Arıtma Tesisinin Giriş ve Çıkış Atıksu Karakterizasyonu

Parametreler	Atıksu Karakterizasyonu			
	Giriş		Çıkış	
	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık
Toplam KOİ, mg l^{-1}	2331	1680 - 2450	256	180 - 430
Süzülmüş KOİ, mg l^{-1}	1308	820 - 1370	172	100 - 250
AKM, mg l^{-1}	790	450 - 1400	75	40 - 145
UAKM, %	60	-	-	-
pH	7.8	6.5 - 8.5	7.7	7.1 - 8.0
TKN, mg l^{-1}	226	110 - 310	114	67 - 140
$\text{NH}_3\text{-N}$, mg l^{-1}	140	35 - 205	104	76 - 120
Sülfür, mg l^{-1}	59	4 - 58	0	-
Total Krom, mg l^{-1}	36	15 - 65	2.2	0.8 - 4.0
Yağ & Gres, mg l^{-1}	515	280 - 1800	20	15 - 30

7.7. Kabarma ve Köpük Problemini Kontrol Çalışması: Hipoklorit Uygulaması

Arıtma tesisinin şiddetli kabarma ve köpük problemiyle karşı karşıya kaldığı bir günde (köpüklerin havalandırma havuzundan dışarıya taşıdığı ve ÇHİ parametresinin $>200 \text{ ml/g}$ olduğu) literatürde verilen değerlere bağlı kalınarak tesisi kontrol altına alabilmek için klor uygulamasına karar verilmiştir.

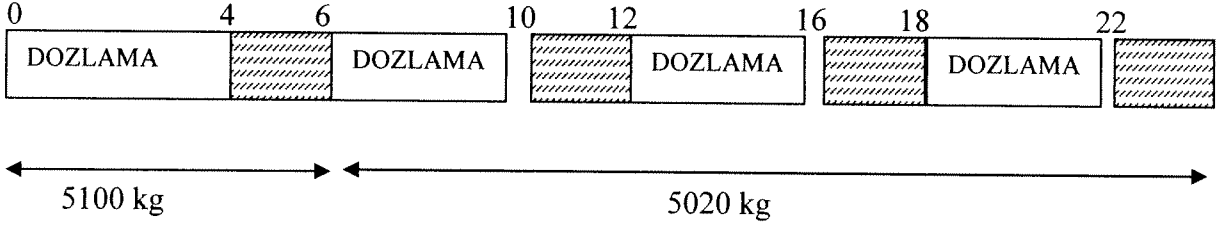
Hipoklorit dozajı, geri devire, arşimet vidalarından hemen sonra (aktif çamur atıksu ile karışmadan önce) yapılmıştır. Bu işlem için herbiri 1'er m^3 hacminde 4 adet (polietilen-polipropilen) tank kullanılmıştır, tankların üstünde hacim ölçeği mevcuttur. Tanklar ikişer gruplandırılmış ve paralel bağlanmıştır. Dozlama işlemi tank çıkışlarına konmuş vanalar ile, elle yapılmıştır. Kullanılan hipoklorit ortalama %15 aktif klor içermektedir.

Klor dozajı kesikli yapılmıştır. Dozlama izlenen yol; 4 saat dozlama-2 saat bekleme şeklinde olmuştur. İlk 4 saat 5100 kg hipoklorit kullanılmış, şok dozlama yapılmıştır. 2 saat bekleme ve ardından daha sonraki 18 saat 5020 kg hipoklorit dozlaması yapılmıştır. Dozlamanın ilk 6 gün formatları Şekil 4 de verilmektedir. Diğer günlerin klor dozlama formatları aşağıda anlatılmaktadır.

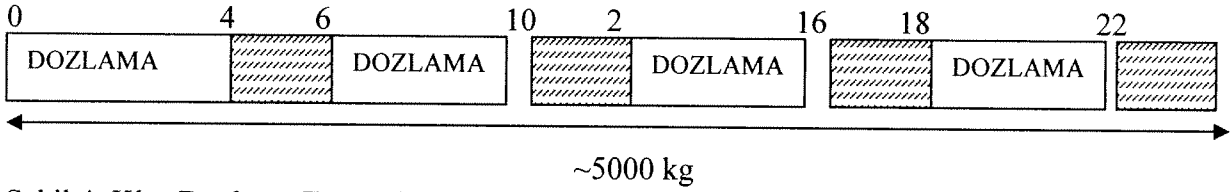
Dozlamanın 6.günü günü biyolojik havuzda köpüğün olduğu ikinci bölgeye (orta bölge) yüzeyden yaklaşık 2500 kg hipoklorit verilmiştir. (pompa kapasitesi sebebiyle bu işlem yaklaşık 30 dk. da tamamlanmıştır). Arıtılmış suda bulanıklığın artması sebebiyle, geri devire hipoklorit dozajına ara verilmiştir. Bunun bir önemli nedeni klorun etkisiyle morfolojik yapılarında bozunma, kırılma olan çok fazla sayıdaki filamentli bakteri hücrelerinin bulk solusyona geçerek son çökeltim tankında (oldukça küçük ve floklarla bir bağlantısı olmadığından) savaklardan kaçması şeklinde açıklanabilir. Sonuçta yüksek değerlerde bulanıklık, KOİ ve BOİ olarak son çıkışta görülmüştür. Sistemin kabarma öncesi sağlıklı (a) ve klor ile iyileştirilmesi sonucunda elde edilen sağlıklı yapısı (b) Mikrofotograf 12 (a) ve (b) 'de, kabarma ve köpük probleminin maksimuma çıktığı günlerde filamentli bakterilerin aktif çamur içerisindeki görünimleri Mikrofotograf 13'de verilmektedir. Filamentli

mikroorganizmaların klor etkisinde “parçalandığı” ve “doğranmış” bir şekilde floktan koparak aktif çamur sisteminde serbest halde bulunduğu tespit edilmiştir (Mikrofotograf 14).

a) 1. Gün Klor Dozlama Formatı

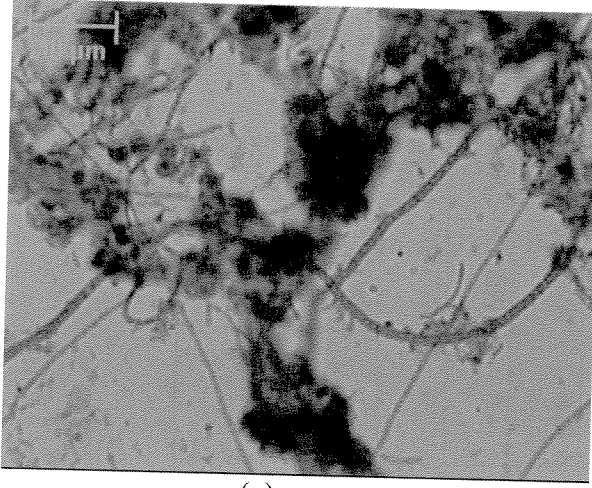


b) 2. gün ile 6. gün arasındaki Klor Dozlama Formatı

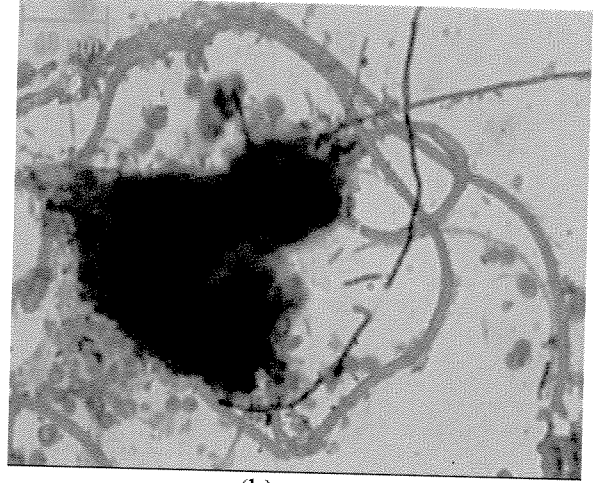


Şekil 4: Klor Dozlama Formatları

9. gün yaklaşık 2500 kg hipoklorit, köpüğün olduğu ikinci bölge (orta bölge) yüzeyine verilmiştir. 12. günde yarım gün boyunca geri devire yaklaşık 3000 kg hipoklorit dozajı yapılmıştır. Kullanılan Hipoklorit Miktarı, dozajı, günün koşullarındaki maliyeti ve uygulanış tarih ve zamanları tabloda özet halinde verilmektedir (Tablo 7).



(a)

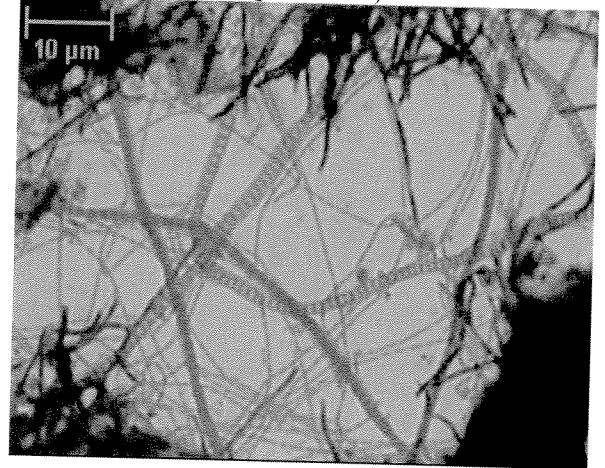


(b)

Mikrofotograf 12: Sağlıklı Flok Yapısı: (a) Kabarma ve Köpük Öncesi; (b) Klorlama ile İyileşmesinden Sonra (Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskop, 1000X)

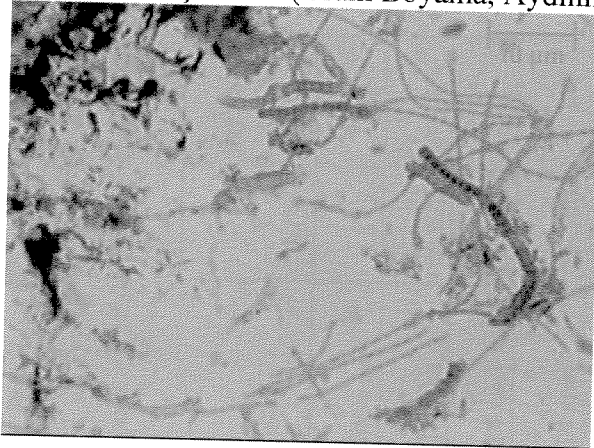


(a)

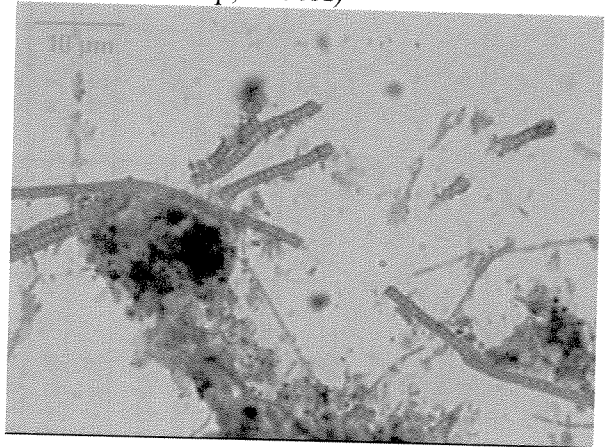


(b)

Mikrofotograf 13: Kabarma ve Köpük Sırasında Aktif Çamur (a) *Gordona* spp. (*Nocardia* spp.) lerin Çoğalması ve Dallanması, (b) *M. parvicella* ve *N. Limicola* II nin Yayılması ve Flokları Birleştirmesi (Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskop, 1000X)



(a)



(b)

Mikrofotograf 14: Klorun Filamentli Bakteriler Üzerine Etkisi, (a) "Parçalanmış" *Gordona* spp. ve *M. parvicella* Filamentleri (b) *N. limicola* II Filamentlerinin Parçaları. (Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskop, 1000X)

Tablo 7: Klorlama Sırasında Kullanılan Hipoklorit Miktarı, Dozu, Maliyeti ve Biyolojik Havuz Debisi ve AKM Miktarları
BİYOLOJİK HAVUZA HİPOKLORİT DOZAJI

Kullanılan hipoklorit ortalama %15 aktif klor içermektedir.

	V (m3)	Biy.havuz AKM (kg/m3)	Biy.havuz ton AKM	kg/ton AKM	kg aktif Klor	kg Klor (%15)	lt Klor (d=1,24)	birim fiyat TL/kg	Yüzeye dozaj (~kg)	tutar TL	*tutar \$
02/12/2002	ilk 4 saat	6,8	47	16,4	765	5.100	4.113	130.000	0	663.014.733	496,8
	18 saat	5,1	105	7,2	753	5.020	4.048	130.000	0	652.541.175	488,9
02/13/2002	24 saat	5,1	140	5,5	771	5.140	4.145	130.000	0	668.160.350	500,6
02/14/2002	24 saat	4	110	7,1	777	5.180	4.178	130.000	0	673.434.667	504,6
02/15/2002	24 saat	3,8	105	7,5	783	5.220	4.210	130.000	0	678.616.033	508,5
02/16/2002	24 saat	3,8	105	7,4	777	5.180	4.178	130.000	0	673.453.733	504,6
02/17/2002	24 saat	3,8	105	7,3	768	5.120	4.129	130.000	0	665.574.433	498,7
	yüzeye 2,5 ton verildi!										
02/18/2002	27.500	4,7	129	2,9	375	0	0	130.000	2.500	325.000.000	243,5
	yüzeye 2,5 ton verildi!										
02/20/2002		4,2			0		0	130.000	2.500	325.000.000	243,5
02/23/2002	13.750	3,5	48	9,4	452	3.016	2.432	130.000	0	392.058.333	293,8
toplam										5.000	5.716.853.458
										31.432	4.283

*1 \$=1.334.640 TL
alınmıştır.

7.8. Klor Uygulaması Sırasında Tesiste Yapılmış Gözlemler

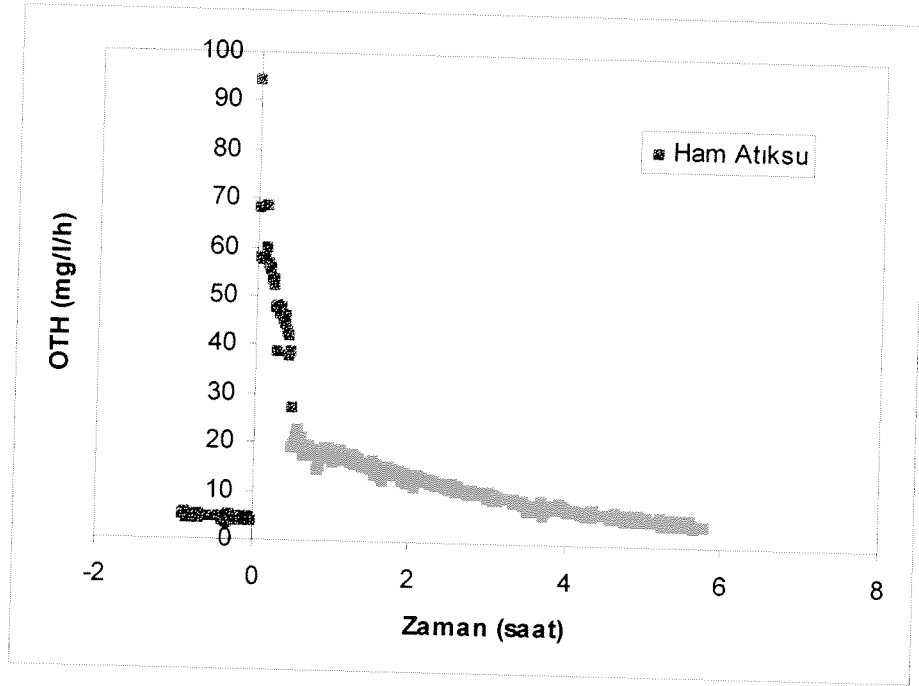
Hipoklorit dozajının ilk gün şok dozlama ile başlatılmasından sonra, 2. gün biyolojik havuzun girişinde köpükte gözle görülür bir azalma olmuştur. Daha sonra bu bölgede köpük eski halini almıştır. Biyolojik havuz yüzeyinde köpük 1. ve 3. bölgede kısa sürede azalmış, orta bölgede sıkışma olduğu gözlemlenmiştir. Dozaj süresince (bir kaç günlük dozajdan sonra) 3. bölgede beyaz köpük (deterjan köpüğüne benzer köpük) görülmüştür. Hipoklorit dozajına ara verildiği 18.02.2002 tarihinden itibaren ise biyolojik havuzun hemen hemen tüm yüzeyinde bu beyaz köpük görülmüştür.

Hipoklorit dozajı süresince ve daha sonraki yaklaşık 10 gün, son çöktürmede çok ince flok kaçakları (parçalanmış floklar) olmuş, son çöktürme yüzeyinde çok ince tabaka halinde parçalanmış floklar görülmüştür. Uygulama sonucunda biyolojik havuz yüzeyinin, tamamen açıldığı ve beyaz köpüğün de kaybolduğu görülmüş ve ÇHİ değerlerinde de önemli küçülmeler ve iyileşmeler görülmüştür.

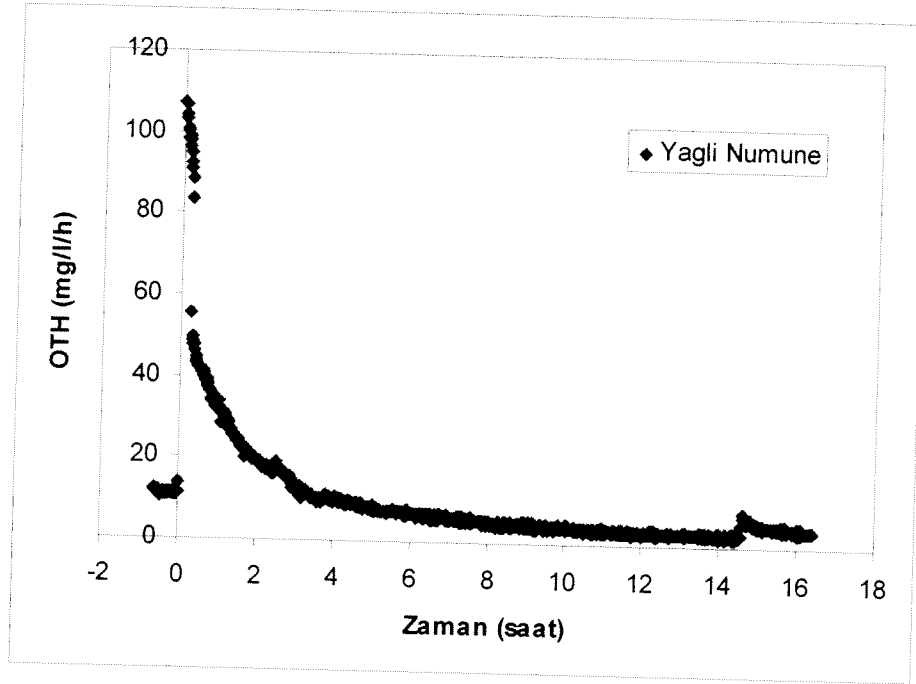
7.9. Respirometrik Analiz Bulguları

Respirometre ile gerçekleştirilen OTH ölçümleri incelenen 3 farklı atıksuyun biyolojik olarak ayrışabilirlik özellikleri ile ilgili verilerin elde edilmesinde kullanılmıştır. Ardışık kesikli deney setleri halinde gerçekleştirilen respirometrik deneylerde aklime edilmiş aktif çamur kullanılmıştır. Deneylerin başlangıcında reaktör içindeki aktif çamur havalandırılarak OTH ölçümleri yapılarak çamurların içsel solunum seviyesindeki oksijen tüketim hızları belirlenmiştir. Reaktörlere atıksu ilavesi yapıldığında OTH grafiklerinde ani bir yükselme gözlemlenmiş ve eklenen sübstratı tükenmesi sürecinde de OTH giderek azalan bir profil çizerek, deney sonucunda başlangıçtaki içsel solunum OTH seviyesine ulaşmıştır.

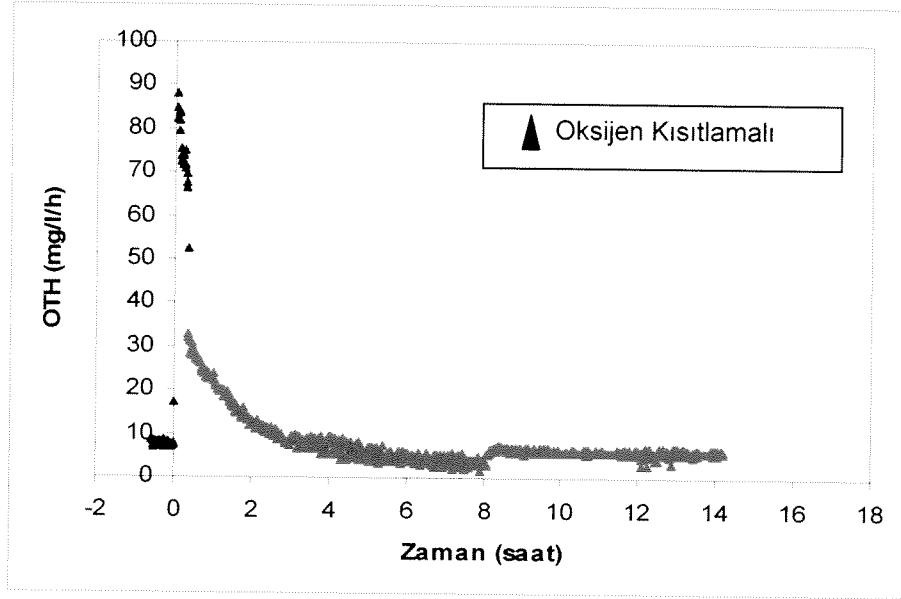
OTH ölçümleri için her bir reaktörden 650 mg UAKM içeriğine sahip aktif çamur numuneleri alınarak 185 mg KOİ içeriğine sahip atıksu ile beslenerek toplam hacim 2 litreye ayarlanmıştır. Tüm respirometrik deneylerde başlangıç koşulları F/M oranı 0.29 gKOİ/gKOİ olacak şekilde seçilmiştir. Respirometrik deneyler sonucu 3 farklı atıksu numunesi için elde edilen OTH profilleri Şekil 5 te verilmektedir.



Şekil 5: Ham Atıksu ile Gerçekleştirilen OTH Deneyi Sonuçları

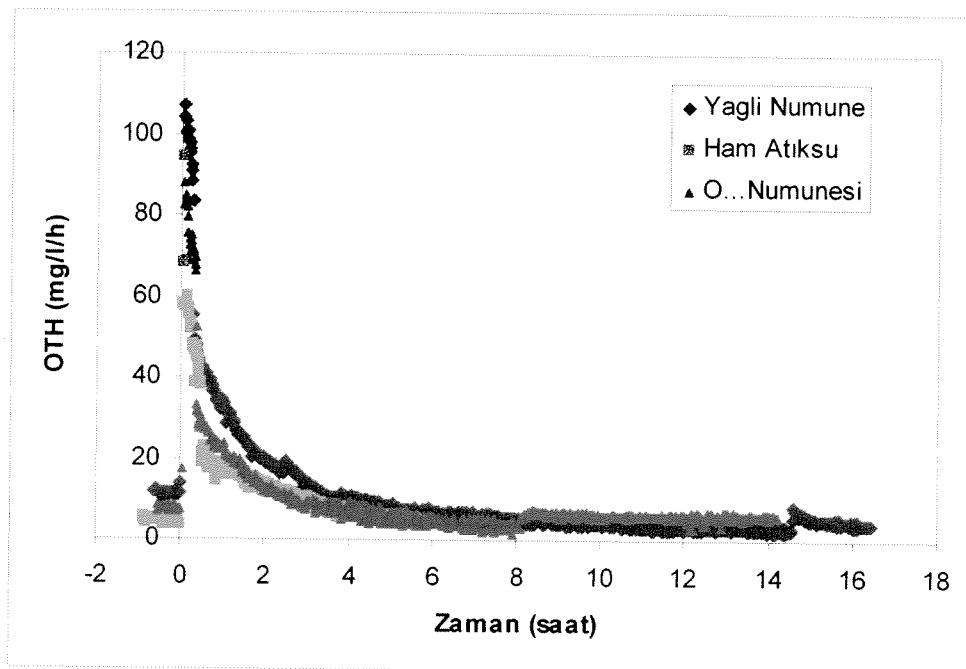


Şekil 6: Yağlı Atıksu ile Gerçekleştirilen OTH Deneyi Sonuçları



Şekil 7: Oksijen Kısıtlamalı Atıksu ile Gerçekleştirilen OTH Deneyi Sonuçları

Respirometrik ölçümler sonucunda KOİ içeriği daha yüksek olan yağlı atıksu numunesi ile yürütülen ölçümlerde ham atıksu numunesinden daha yüksek OTH değerleri gözlenmiştir. Oksijen kısıtlamalı reaktör numunesi ile yürütülen respirometrik deneyde ilk OTH değeri ham atıksu ile elde edilen değerden daha düşük olmasına rağmen, özellikle yavaş ayrışan KOİ fraksiyonunun ayrışması sürecinde ham atıksuya oranla daha hızlı bir oksijen tüketimi elde edilmiştir. Bu durum Oksijen kısıtlamalı reaktör numunesi söz konusu olduğunda hidroliz prosesinin daha hızlı gerçekleştiği anlamına gelmektedir. Sistemlerde elde edilen OTH profilleri kıyaslandığında (Şekil 8) en fazla oksijen tüketiminin yağlı atıksu numunesinde en az oksijen tüketiminin de Oksijen kısıtlamalı reaktör numunesinde elde edildiğini göstermektedir.



Şekil 8: Farklı Atıksular ile Gerçekleştirilen OTH Deney Sonuçlarının Karşılaştırması

Farklı atıksu numuneleri ile aynı koşullarda yürütülen respirometrik deneyler sonucu OTH profilleri altındaki alanlar kullanılarak hesaplanan oksijen tüketim miktarları kıyaslamalı olarak Tablo 8’de verilmektedir. Tablodan da anlaşılacağı gibi her atıksu numunesinde bulunan kolay ayrışan KOİ fraksiyonu için tüketilen oksijen miktarları 13.6-14.7 mg/l aralığında olup aynı mertebede olduğundan, tüm atıksu numunelerinde aynı miktarda kolay ayrışabilir KOİ bulunduğu sonucuna varılmıştır. Yavaş ayrışan KOİ fraksiyonu için harcanan oksijen miktarları karşılaştırıldığında ise en yüksek yavaş ayrışan KOİ fraksiyonunun yağlı atıksu numunesinde, en düşük miktarın ise Oksijen kısıtlamalı reaktör numunesinde olduğu görülmektedir. Bu noktadan hareketle 3 atıksu numunesinin ayrışabilirlikleri karşılaştırıldığında, hidrolizi daha zor olan yağlı atıksu numunesinin biyolojik olarak en zor ayrışan atıksu olduğu; ham atıksu numunesinin de yavaş ayrışan KOİ içeriği yüksek, hidroliz sürecinin nispeten yavaş olduğu; Oksijen kısıtlamalı reaktör numunesinin ise daha kolay hidroliz olabildiğinden biyolojik olarak en kolay ayrışan atıksu numunesi olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen oksijen tüketimi miktarları kıyaslanarak her atıksu numunesi için elde edilen kolay ve yavaş ayrışan KOİ fraksiyonları Tablo 9’da verilmektedir.

Tablo 8. Farklı Atıksular İçin Harcanan Oksijen Miktarları

Atıksu	Toplam Oksijen Tüketimi (mg/l)	Kolay Ayrışan Substrat için Harcanan Oksijen (mg/l)	Yavaş Ayrışan Substrat için Harcanan Oksijen (mg/l)
Ham Atıksu	56.3	14.7	41.6
Yağlı Atıksu	63.4	13.6	49.8
Oksijen Kısıtlamalı Atıksu	48.8	13.9	34.9

Tablo 9: Farklı Atıksuların Kolay ve Yavaş Ayrışan KOİ Fraksiyonları

Atıksu	Toplam KOİ (mg/l)	Kolay Ayrışan KOİ Fraksiyonu		Yavaş Ayrışan KOİ Fraksiyonu	
		(%)	(mg/l)	(%)	(mg/l)
Ham Atıksu	2800	%26	728	%74	2072
Yağlı Atıksu	3200	%21	672	%79	2528
Oksijen Kısıtlamalı Atıksu	2650	%28	742	%72	1908

8. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Tuzla Organize Deri Sanayi Bölgesi Biyolojik Arıtma Tesisinde kronik olarak süregelen ve 3 filamentli bakteri türünün neden olduğu aktif çamur kabarma ve köpük problemi tespit edilmiştir. Bu filamentliler zaman içerisinde tesise gelen atıksuların karakterizasyonundaki farklılıklar ve bazı işletim problemleri (oksijen yetmezliği, pompa bakım ve arızaları, difüzör problemleri, gibi) dolayısıyla tesisin veriminde önemli düşüşlere neden olmaktadır. Çamur kabarmasının önüne geçebilmek ve tesisi belirli bir verimin üzerinde tutabilmek için mikrobik incelemelerin yararlı ve önceden haber verme yeteneğinde olduğu anlaşılmıştır. Bu yönüyle tesisin sürekli olarak mikroskobik ve mikrobiyolojik kontrol ve izlenmesinin yapılması tesisin sağlıklı işlemesi bakımından önem taşımaktadır. Mikroskobik incelemeler özellikle kış aylarında (havalarda daha soğuk olduğu Ekim-Mart döneminde) baş gösteren problemin kolay veya hafif atlatılması için yol gösterici olmaktadır. Özellikle *Gordona* spp. türünün havalandırma havuzundaki çoğalma ve dallanma kademelerinin mikroskobik incelenmesi ile (Gram Boyama yapılarak preperat hazırlanması ve 1000X büyütme ile incelenmesi) tespiti, ayrıca SVI değerinin kabarma için tetikleyici kritik 150 ml/g değerini geçip geçmediği kontrol edilmelidir. Boyama yapılmadan canlı inceleme yapıldığında sistemdeki ökaryotik mikroorganizmaların, özellikle nematod, rotifer ve protozoaların çeşit ve sayıları günlük olarak izlenmelidir. Acil önlem alınması gereken kabarma ve köpük oluşumu gibi durumlarda başarıyla uygulanmış olan hipoklorit dozlaması geçici de olsa daha büyük çevre zararları ve kanuni maddi kayıpları önleme adına kullanılabilir. Klor dozlamasının özellikle geri devir çamuruna uygulanmasının daha faydalı olduğu görülmüştür. Klor dozunun AKM konsantrasyonu hesap edilerek uygulanmasında fayda görülmektedir.

Oldukça büyük olan tesisin alet, makina ve ekipmanlarının bakım ve kontrolü sürekli olarak yapılmalı, Filamentli kabarmaya neden olan parametrelerin başında gelen yağ ve gres, çözünmüş oksijen, uzun çamur yaşı ve besi elementlerinin kontrolü günlük olarak kontrol edilmelidir.

9. LİTERATÜR

- APHA., *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Ed. American Public Health Association, Washington DC, USA, (1998).
- Ateş, E., Orhon, D., Tunay,O., Characterization of Tannery Wastewaters for Pretreatment-Selected Case Studies, *Water Sci. Tech.*, 36(2-3), 217-223, (1997).
- Bitton, G., *Wastewater Microbiology*. Wiley-Liss, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, New York, (1994), 478 p.
- Blackbeard, J. R., Ekema, G. A., Marais, G.v.R., A Survey of Bulking and Foaming in Activated Sludge Plants in South Africa, *Water Polln. Control*, 85, 90, (1986).
- Cha, D. K., Jenkins, D., Lewis, W. P., Kido, W. H., Process Control Factors Influencing *Nocardia* Populations in Activated Sludge, *Water Environ. Res.* Vol.64, No.1, 37-43, (1992).
- Chudoba, J., *Activated Sludge Bulking Control*, Chapter 6 in Encyclopedia of Environmental Control Technology, Vol. 3, Wastewater Treatment Technology, Ed., P.N. Cheremisinoff, Gulf Publishing Co. Houston, Texas, (1989).
- Contreras, E. M., Giannuzzi, L., Zaritzky, N. E., Growth Kinetics of the Filamentous Microorganism *Sphaerotilus natans* in a Model System of a Food Industry Wastewater, *Water Res.*, Vol.34, No.18, 4455-4463, (2000).
- Eikelboom, D. H., Filamentous Organisms Observed in Bulking Activated Sludge, *Water Res.*, 9, 365, (1975).
- Eikelboom, D. H., Identification of Filamentous Organisms in Bulking Activated Sludge Prog. *Water Technol.*, 8, 153, (1977).
- Eikelboom, D. H., van Buijsen, H. J. J., *Microscopic Sludge Investigation Manual*, TNO Research Institute for Environmental Hygiene, Delft, (1981), The Netherlands.
- Eikelboom, D. H., Grovenstein, J., Control of Bulking in a Full Scale Plant by Addition of Talc (PE 8418). *Water Sci. Tech.* Vol. 37, No. 4-5, pp. 297-301, (1998).
- Goodfellow, M., Stainsby, F. M., Davenport, R., Chun, J., Curtis, T., Activated Sludge Foaming: The True Extent of Actinomycete Diversity, *Water Sci. Tech.*, Vol.37, No.4-5, 511-519, (1998).
- Jenkins, D., M. G. Richard, G. T. Daigger., *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*, Water Research Commission, PO Box 824, Pretoria, (1984), 0001, RSA.
- Jenkins, D., M. G. Richard, G. T. Daigger., *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*. Second Edition, Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, (1993), 193 p.

- Lacko, N., Bux, F., Kasan, H.C., Survey of Filamentous Bacteria in Activated Sludge Plants in KwalaZulu-Natal, *Water SA*, Vol.25, No.1, 63-68, (1999).
- Madoni, P., Davoli, D., Gibin, G., Survey of Filamentous Microorganisms from Bulking and Foaming Activated Sludge Plants in Italy, *Water Res.*, Vol.34, No.6, 1767-1772, (2000).
- Mamais, D., Andredakis, A., Noutsopoulos, C., Kalergis, C., Causes of, and Control Strategies for, *Microthrix parvicella* Bulking and Foaming in Nutrient Removal Activated Sludge Systems, *Water Sci. Tech.*, Vol.37, No.4-5, 9-17, (1998).
- Neethling, J. B., Chung, Y-C., Jenkins, D., Activated Sludge Chlorine Reactions During Bulking Control, *J. Env. Eng. Div. Amer. Soc. Civil Eng.*, 113(1), 134-145, (1987).
- Orhon, D., Genceli, E.A., Çokgör, E.U., Characterization and Modeling of Activated Sludge for Tannery Wastewater, *Water Environ. Res.*, 71(1), 50-63, (1999).
- Pretorius, W. A., Laubscher, C. J. P., Control of Biological Scum in Activated Sludge Plants by Means of Selective Flotation, *Water Sci. Technol.*, 19, 1003, (1987).
- Ramirez, G. W., Alonso, J. L., Villanueva, A., Guardino, R., Basiero, J. A., Bernecer, I., Morenilla, J. J., A Rapid, Direct Method For Assessing Chlorine Effect On Filamentous Bacteria In Activated Sludge, *Water Res.*, 34(15), 3894-3898, (2000).
- Richard, M., *The Bench Sheet Monograph on Activated Sludge Microbiology*, Published by The Water Pollution Control Federation, Alexandria, Virginia, (1989), 74 p.
- Sezgin, M., Jenkins, D., Parker, D. S., A Unified Theory of Filamentous Activated Sludge Bulking, *J. Water Polln. Control Fedn.*, 50, 362, (1978).
- Simpson, J. R., List, E., Dunbar, J. M., Bulking Sludge: A Theory and Successful Case Histories, *J. IWEM 90 Conference Paper*, 5, (1991), 302-311.
- Slijkhuis, H., van Groenestijn, J. W., Kijlstra, D. J., *Microthrix parvicella*, A Filamentous Bacterium from Activated Sludge: Growth on Tween 80 as Carbon and Energy Source, *J. Gen. Microbiol.*, 130, 2035, (1984).
- Slijkhuis, H., Deinema, M. H., Effect of Environmental Conditions on the Occurrence of *Microthrix parvicella* in Activated Sludge, *Water Res.*, 22, 825, (1988).
- Soddell, J. A., Seviour, R. J., Blackall, L. L., Hugenholtz, P., New Foam-Forming Nocardioforms Found in Activated Sludge, *Water Sci. Tech.*, Vol.37, No.4-5, 495-502, (1998).
- Stratton, H., Seviour, B., Brooks, P., Activated Sludge Foaming: What Causes Hydrophobicity and Can It be Manipulated to Control Foaming?, *Water Sci. Tech.*, Vol.37, No.4-5, 503-509, (1998).

- Strom, P. F., Jenkins, D., Identification and Significance of Filamentous Microorganisms in Activated Sludge, *J. Water Polln. Control Fedn.* 56, 52, (1984).
- Tsai, Y. C., Lee, C. M., Substrate Utilization Characteristics of the Predominant Filamentous and Floc Forming Bacteria Isolated from A Chemical Fiber Factory Wastewater Treatment Plant, *Water Sci. Tech.*, Vol.37, No. 4-5, 291-295, (1998).
- Vasiliev, V. B., Vavilin, V. A., Substrate Consumption by an Activated Sludge with Changing Bacterial Size and Form, *Ecological Modelling*, 60, 1-9, (1992).
- Wanner, J., *Activated Sludge Bulking and Foaming Control*, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA, USA, (1994).
- Wanner, J., Rusickova, I., Jetmarova, P., Krhutkova, O., Paraniakova, J., A National Survey of Activated Sludge Separation Problems in The Czech Republic: Filaments, Floc Characteristics and Activated Sludge Metabolic Properties, *Water Sci. Tech.*, Vol.37, No. 4-5, 271-279, (1998).

10. EK: ÇALIŞILAN TESİS GENEL ÖZELLİKLERİ

İSTANBUL ORGANİZE DERİ SANAYİ BÖLGESİ ATIKSU ARITMA VE KROM GERİ KAZANMA TESİSİ

Atıksu Arıtma ve Krom Geri Kazanma Tesisi (Tesis), İstanbul, Kazlıçeşme’de yaklaşık 500 yıldır faaliyet göstermekte olan tabakhanelerin, İstanbul Organize Deri Sanayi Bölgesi’ne taşınma projesi kapsamında, 1989 yılında Degremont firması tarafından projelendirilmiş, Degremont/Günberk Demirkaya Konsorsiyumu tarafından inşaatı ve makine montajı yapılmış ve Avusturya “ILF Consulting Engineering” firması, projenin ve tesisin yapımında, kontrol mühendisliği görevini üstlenmiştir. 1992 senesinde biten tesisin 1994 senesine kadar işletmeye alma çalışmaları devam etmiş ve 1994 senesinden beri tam arıtma yapan bir tesis olarak işlevini sürdürmektedir.

Tesis bu gün, İstanbul Organize Deri Sanayicileri Derneği üyeleri tarafından kurulan “İstanbul Arıtma Tesisleri İşletmesi ve Destek Hizmetleri A.Ş.” tarafından işletilmektedir.

Tesiste çalışan teknik personel sayısı 20’dir ve 3 vardiya halinde çalışılmaktadır.

Tesis, dünyanın en büyük deri atıksu arıtma tesislerinden biridir. Tesisin, eşdeğer nüfusu 1.200.000 kişidir.

Bütün bu sistemler ve kimyasal madde dozajları, PLC (*) sistemi ile, otomatik olarak kontrol edilebilmektedir. PLC sistemi, merkezi kontrol odasındaki ana sisteme bağlı olarak, 4 ayrı ana ünitadaki lokal PLC sistemleri ile donatılmıştır. Böylece hem sahadan, hem de “merkezi kontrol odası” ndan tüm faaliyetlerin kontrolü ve bunlara müdahale edilebilmesi mümkün bulunmaktadır. Bu sistem sayesinde periyodik, ya da istenilen zamanda, arıtma işletmesi ile ilgili tüm veriler, çıktı olarak, alınabilmektedir.

((*) PLC :Programmable Logic Controller)

ATIKSU GİRİŞ DEĞERLERİ ve ÖZELLİKLERİ

Tesise gelecek atıksular üç guruba ayrılmıştır.

- Genel atıksu
- Sülfürlü atıksu
- Kromlu atıksu

Her fabrika çıkışında 3 ayrı kanal bulunmaktadır. Fabrikalardan tesise gelen atıksuların, bu kanallar vasıtasıyla ayrı akımlar şeklinde gönderilmesi gereklidir.

Her üç grup atıksuların toplamı itibariyle, miktar ve özellikleri (tasarım değerleri) şöyledir:

Toplam Atıksu		
Günlük Debi	36.000	m ³
KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı)	200	ton/gün
BOİ ₅ (Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı)	65	ton/gün
A.K.M. (Askıda Katı Madde)	72	ton/gün
S ⁻² (Sülfür)	2,16	ton/gün
Cr ⁺³ (Krom)	3,0	ton/gün
NH ₄ ⁺ /NH ₃ -N (Azot)	6,25	ton/gün
NaCl/Na ₂ SO ₄ (Tuz)	100	ton/gün

Atıksu guruplarına göre, miktar ve özellikleri (tasarım değerleri) şöyledir:

ATIKSU GRUPLARI			
Parametre	Genel Atıksu	Sülfürlü Atıksu	Kromlu Atıksu
Günlük Debi	30.500 m ³	5000 m ³	500 m ³
pH	~ 7	10 - 13.5	3 - 4
Cr ⁺³ Krom	1.5 ton/gün	-	3 ton/gün
S ⁻² Sülfür	0.3 ton/gün	2.16 ton/gün	-

ARITILMIŞ SU PARAMETRELERİ ve DEŞARJI

Aritilmiş Su Parametreleri

Tesise gelen atıksuların, tesis çıkışı tasarım değerleri, aşağıdaki gibidir:

Parametre Adı	Değeri
Sıcaklık	30 °C
pH	6.5-9.0
AKM (Askıda Katı Maddeler)	< 60 mg/lt.
Cr ⁺³ (Üç değerli krom)	4 mg/lt.
Cr ⁺⁶ (Altı değerli krom)	0.5 mg/lt.
S ⁻² (Sülfür)	2 mg/lt
KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı)	% 80 Azalma
BOİ (Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı)	% 90 Azalma

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde, Tablo 12’de yer alan Deri Atıksuları alıcı ortam deşarj standartları şu şekildedir;

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
BOİ ₅	mg/lt	150	100
KOİ	mg/lt	300	200
AKM	mg/lt	125	-
YAĞ VE GRES	mg/lt	30	20
SÜLFÜR (S ⁻²)	mg/lt	2	1
KROM (Cr ⁺⁶)	mg/lt	0,5	0,3
TOPLAM KROM	mg/lt	3	2
BALIK BİYODENEYİ	ZSF	4	4
pH		6 – 9	6 – 9

Tesisin İSKİ kanala deşarj standartları aşağıda verilmektedir.

Parametre	Birim	Kompozit Numune 24 Saatlik
pH	mg/lt	6 – 9
AKM	mg/lt	350
BOİ ₅	mg/lt	250
KOİ	mg/lt	800
Toplam Azot	mg/lt	100
Toplam Krom	mg/lt	5
S ⁻²	mg/lt	2
Yağ & Gres	mg/lt	100

Arıtılmış Su Deşarjı

Arıtma tesisi, deşarj sularının, 2.5 km açık kanalet içinde aktıktan sonra, 13 km’lik kapalı kanal sistemine dahil olarak, Tuzla, Mercan koyundaki “İSKİ Deniz Deşarj Pompa İstasyonu” na ulaşması esasına göre, tasarlanmıştır.

ARITMA TESİSİ BİRİMLERİ

KROMLU ATIKSULAR

Izgara; Kum ve Yağ Tutucular

Kromlu atıksu hattından tesise gelen atıksular ızgaradan geçirilir. Burada tutulabilen partikül büyüklüğü 1 mm’ dir. Daha sonra kum ve yağ tutuculardan geçen kromlu atıksular, “Krom Dengeleme Havuzu” na gönderilir.

Krom Dengeleme Havuzu

1000 m³'lük hacme sahip krom dengeleme havuzunda, atık suların çıkış debisinin sabit tutulması sağlanır. Hidrolik bekleme süresi yaklaşık 2 gündür. Karıştırma mikserler ile sağlamaktadır.

Krom Çöktürme

Kromun, krom hidroksit olarak çökebilmesi için, kromlu atıksuyun pH'ı, Na₂CO₃ ilavesi ile, 8,2 – 8,5 değerine yükseltilmekte ve krom çöktürme havuzunda çöktürülmektedir. Krom giderme verimi yaklaşık % 99 civarındadır. Havuzdaki hidrolik bekleme süresi 1 gündür. Krom çöktürme havuzu çıkışında çamurun katı madde oranı % 3 – 5 arasında değişmektedir. Projede kütleli yüklem miktarı 34 kg katı madde/m²/gün olarak verilmiştir. Dibe çöken çamur buradan, krom geri kazanma ünitesine gönderilir.

Krom Geri Kazanma Ünitesi

Çöktürme havuzunun dibine biriken krom çamuru, 2 adet filtre presten oluşan susuzlandırma ünitesine gönderilir. Günde 6 ton kromlu çamuru işleme kapasitesine sahiptir. Buradan çıkan çamur kekleri (% 35 kurulukta) krom geri kazanma tanklarına gönderilerek sülfürik asitle karıştırılır. Sodyum karbonat eklenerek bazisite ayarlanır, meydana gelen bazik krom sülfat çözeltisi (krom şerbeti) fabrikalarda kullanılmak üzere depolanır. Krom geri kazanma verimi % 50 – 75 arasındadır.

SÜLFÜRLÜ ATIKSULAR

Kaba ve İnce ızgaralar; Kum ve yağ tutucular:

Genel atıksu kanalından tesise gelen atıksular, kaba ve ince ızgaralardan geçirilerek, 3 mm' den büyük partiküller tutularak presle suyu alındıktan sonra katı atık depolama sahasına sevk edilir. Preslerden çıkan su tekrar sisteme verilir.

İzgaralardan geçen atıksu, kum ve yağ tutuculara gönderilir. Proje debisi 2.000 m³/saat ve kapasitesi 200 m³ olan bir adet havuz mevcuttur. Kum ve diğer büyük partiküller havuzun dibine çöker; yağ ise, hava ile yüzdürülüp, yüzeyde toplanır. Kum dipten çekilerek arşimed vidaları ile sudan ayrılır. Yağ ise yüzeyden sıyrıcılarla alındıktan sonra, konteynırlarda toplanarak çamur depolama sahasına gönderilir. Kum ve yağ tutuculardan geçen atıksular, sülfür oksidasyon havuzlarına gönderilir.

Sülfür Oksidasyon Havuzları (Katalitik Oksidasyon)

Sülfürlü atıksular, her biri 2.500 m³ olan iki adet sülfür oksidasyon havuzunda, katalitik oksidasyon sonucunda, zararsız bir form olan, tiyosülfat (S₂O₃²⁻) formuna dönüştürülmektedir. 8 saatte 3 döngü kapasitesine sahiptir. 1 kg sülfür oksidasyonu için katalizör olarak, 250 gr “mangan sülfat” kullanılır. Reaksiyon şu şekilde gerçekleşir:



Katalitik oksidasyondan sonra 2 pompayla okside edilmiş sular dengeleme havuzlarına transfer edilir.

GENEL ATIKSULAR

Kaba ve İnce ızgaralar; Kum ve yağ tutucular

Genel atıksu kanalından tesise gelen atıksular, kaba ve ince ızgaralardan geçirilerek, 3 mm' den büyük partiküller tutularak presle suyu alındıktan sonra katı atık depolama sahasına sevk edilir. Preslerden çıkan su tekrar sisteme verilir.

İzgaralardan geçen atıksu, kum ve yağ tutuculara gönderilir. Kum ve diğer büyük partiküller havuzun dibine çöker; yağ ise, hava ile yüzdürülüp, yüzeyde toplanır. Kum dipten çekilerek arşimed vidaları ile sudan ayrılır. Yağ ise yüzeyden sıyrıcılarla alındıktan sonra, konteynirlarda toplanarak çamur depolama sahasına gönderilir. Kum ve yağ tutuculardan geçen atıksular, dengeleme havuzlarına gönderilir.

Homojenizasyon (Dengeleme) Havuzları

Her biri 9000 m³'lük kapasiteye sahip iki havuzdan meydana gelen homojenizasyon (dengeleme) havuzları, farklı karakterlerde gelen atıksuların ve tesis içinde geri dönen suların dengelendiği havuzlardır. Dengeleme havuzlarında hidrolik bekleme süresi yaklaşık 0,5 gündür. Ön çöktürme havuzlarını sabit bir debi ile beslemek için otomatik çıkış vanası kullanılmaktadır. Havuzlara kireç, demir(III)klorür ve köpük kesici dozaj üniteleri de mevcuttur. Karıştırma işlemi hava ile sağlanmaktadır.

Ön Çöktürme Havuzları

Her birinin çapı 26 m olan, 2 adet ön çöktürme havuzu mevcuttur. Havuzlarda maksimum su derinliği 3 m'dir. Çökme hızı 1,5 m/saat'tir. Ön çöktürme havuzlarında, KOİ'de % 40 - 50 azalma, AKM'de ise % 50 – 70 oranında bir azalma sağlanmaktadır. Bu oran, dengeleme havuzunda FeCl₃ kullanılması halinde, daha fazla olabilmektedir.

BİYOLOJİK ARITMA

Havalandırma Havuzları ve Geri Devir Ünitesi

Havalandırma havuzları, aktif çamur prosesinin kullanıldığı düşük hızlı havalandırma havuzlarıdır. İki adet havuz bulunmaktadır. Havuzların, çapı 55 m, yüksekliği 14 m ve hacmi 27.500 m³ tür ve 3 bölümden oluşmaktadır.

Projede, havalandırma havuzlarında 8.000 mg/lt AKM ve geri devir çamurunda ise 16.000 mg/lt AKM değerleri ile çalışılması öngörülmektedir. Çamur yaşı da 10 – 20 gün arasında olmaktadır.

Havuzların derin yapılmış olması, yer tasarrufu yanında, işletme kolaylığı ve enerji tüketiminde tasarruf sağlamaktadır.

Havalandırma havuzlarında oksijen ihtiyacı, 15.400 Nm³/saatlik hava üretme kapasitesine sahip, 4 adet Turbo kompresör vasıtasıyla sağlanmaktadır. Havuzların her birinde 6 noktada monte edilmiş oksijenmetreler yardımıyla, sürekli çözünmüş O₂ ölçümü yapılabilmekte ve otomatik kontrol ile, Turbo kompresörlerin çalışma koşulları ayarlanarak, havalandırma havuzlarına, istenen oranlarda, hava verilebilmektedir.

Havuzların girişine gerektiği zaman anaerobik bir bölüm oluşturmak amacıyla mikserler yerleştirilmiştir.

Havuzlarda, 710'ar adet özel "deep - air" tipinde difüzör kullanılmıştır. Bu tip difüzörlerin avantajı, tıkanma riskinin olmaması ve hava iletiminin yüksek olmasıdır. Her bir difüzör 45 m³/saat hava iletim kapasitesine sahiptir. Difüzörlerin oksijenlendirme verimleri % 34 olarak kabul edilmiştir.

Maksimum kapasitede, hidrolik bekletme süresi yaklaşık 1,5 gün olarak kabul edilmiştir.

Deri atıksuyunun en önemli karakteristiklerinden biri, atıksuyun fosfor içermemesidir. Havalandırma havuzunda, biyolojik aktivitenin devamlılığı için gerekli olan BOİ:N:P=100:5:1 oranının sağlanabilmesi amacıyla ön çöktürme havuzu çıkışında fosfor ilavesi yapılmaktadır.

Havalandırma havuzlarına geri devir, 3 adet 750 m³/saatlik kapasitede Arşimed Vidası ile, istenen oranlarda, sağlanmaktadır.

Son Çöktürme Havuzları

Dairesel biçimdeki 2 adet son çöktürme havuzunun çapı 44 m. dir. Havuzda maksimum su derinliği 3,4 m'dir.

Son çöktürme havuzlarında çöken çamur sifon sistemiyle alınmakta, böylece çamurun bekleme süresi kısa tutulabilmektedir. Çekilen çamurun bir kısmı geri devir çamuru olarak havuzuna arşimed vidaları ile havalandırma havuzuna geri döndürülürken bir kısmı da çamur yaşına bağlı olarak sistemden uzaklaştırılmaktadır.

ÇAMUR SUSUZLAŞTIRMA ÜNİTESİ

Çamur Havuzu

100 m³ hacme sahip bu havuzda, ön çöktürme havuzlarından gelen primer çamur ile havalandırma havuzlarından gelen fazla çamur karıştırılır. Havuzda pHmetre yardımıyla sürekli pH ölçümü yapılabilmekte ve PLC'ye iletilerek gerektiği kadar kireç ilave edilmektedir.

Yoğunlaştırıcılar

Çamur havuzunda kireçle şartlandırılan çamur yoğunlaştırıcılara gelmektedir. Her birinin çapı 22 m ve maksimum su derinliği 3,5 m olan 4 adet havuzdan meydana gelen yoğunlaştırıcılarda, % 3 – 5 katı madde muhtevasına ulaşan çamur, buradan 6 adet pompayla bant filtrelelere transfer edilebilmektedir. Tek bir havuzun günlük kütleli yükleme kapasitesi 51 kg KKM/m²'dir. Supernatant ise, bir havuzda toplanıp pompalar yardımıyla, sistemin başına, geri döndürülmektedir.

Çamur Susuzlandırma (Bant Filtreler)

6 adet bant filtre preste, % 22 - 25 kurulukta, çamur keki elde edilebilmektedir. Günde 320 ton kuru çamur üretme kapasitesi vardır. Elde edilen kekler kamyonlarla çamur depolama sahasına nakledilmektedir.

LABORATUAR

Tesisin girişinde ve çıkışında, 24 saatlik kompozit numune alabilen, otomatik numune alma cihazları mevcuttur. Ayrıca tesisin önemli noktalarından sürekli numuneler alınarak, tesis bünyesindeki laboratuarda, düzenli olarak, test ve analizleri yapılmaktadır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, arıtma verimi kontrol edilebildiği gibi, işletme sırasında, gerekli müdahaleler yapılabilmektedir.