

39704

**FERMENTASYON ENDÜSTRİSİ ATIKSULARINDA
KALICI KOI'NİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Gülsüm YILMAZ

**İ.T. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Ocak 1994

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Şubat 1994

Tez Danışmanı

: Doç.Dr.İzzet ÖZTÜRK

Diğer Jüri Üyeleri

: Prof.Dr.H.Zuhuri SARIKAYA

Doç.Dr.İlhan TALINLI

ŞUBAT, 1994

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın bütün aşamalarında her türlü destek ve yardımı hiç düşünmeden sağlayan Sayın Doç.Dr.İzzet Öztürk'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleşmesindeki yardım ve desteklerinden dolayı Araş.Gör.Seval Sözen'e;

Biyolojik Aktivite ölçümlerindeki yardımlarından dolayı Araş.Gör.Emine Ubay'a;

Gösterdikleri hoşgörü ve yardımlarından dolayı İ.T.Ü. Çevre Laboratuvarı Ekibine;

Çizimleri büyük bir titizlikle yapan Araş.Gör.Faik Sevimli, A.Fuat Aydın ve Ercan Çi-til'e;

Verdikleri moral ve destekten dolayı aileme ve tüm arkadaşlarıma çok çok teşekkür ederim.

Gülsüm YILMAZ
OCAK, 1994

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
NOTASYON LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ	1
1.2. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI	1
BÖLÜM 2. BİYOLOJİK ARITMANIN ESASLARI, ÇÖZÜNMÜŞ KALICI KOI KAVRAMI VE TAYİN YÖNTEMLERİ	3
2.1. BİYOLOJİK ARITMA KİNETİĞİ	3
2.2. AKTİF ÇAMURDA ÇÖZÜNMÜŞ KALICI KOI OLUŞUMU	4
2.3. AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİNDE ÜRÜN ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	5
2.4. KOI'NIN BÖLÜMLERİ	6
2.5. ÇÖZÜNMÜŞ KALICI KOI ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	8
2.5.1. Kademeli Yöntem	9
2.5.2. Karşılaştırmalı Yöntem	10
2.5.3. Partiküler Kalıcı KOI (X_p) ve Çözünmüş Kalıcı KOI (S_p) nin Doğrudan Tayin Yöntemi	11
2.5.3.1. X_p 'nin Doğrudan Tayini	11
2.5.3.2. S_p ve S_p 'nin Tayini	13
BÖLÜM 3. ÇÖZÜNMÜŞ KALICI KOI ÖLÇÜMÜ KONUSUNDA DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR	16
BÖLÜM 4. MATERYAL, METOD VE DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	29
4.1. FERMENTASYON ENDÜSTRİSİNİN TANITILMASI	29
4.1.1. Atıksu Karakterizasyonu	29
4.2. ATIKSU ARITMA TESİSİ	30
4.3. MATERYAL VE METOD	32

	Sayfa
4.4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	34
4.4.1. Birinci Seri Deneyler	34
4.4.2. İkinci Seri Deneyler	36
4.4.3. Üçüncü Seri Deneyler	38
BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	41
5.1. KALICI ÇÖZÜNMÜŞ KOI (S_I) ve KALICI PARTİKÜLER KOI (X_I)'NİN HESAPLANMASI	41
5.1.1. S_I 'nin Belirlenmesi	41
5.1.2. X_I 'in Belirlenmesi	43
BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	50



NOTASYON LİSTESİ

b	=	Özgöl İçsel Solunum Hızı	(gün ⁻¹)
C_T	=	Toplam Substrat Konsantrasyonu	(mg/l)
f_E	=	Partiküler Kalıcı Ürün Oranı	(gün ⁻¹)
K_S	=	Yarı Doygunluk Hız Sabiti	(gün ⁻¹)
S	=	Substrat Konsantrasyonu	(mg/l)
S_I	=	Çözünmüş Kalıcı Substrat	(mg/l)
S_P	=	Çözünmüş Mikrobiyal Ürün Konsantrasyonu	(mg/l)
S_R	=	Çözünmüş Artık Ürün Konsantrasyonu	(mg/l)
S_S	=	Kolay Ayrışan Çözünmüş Substrat Konsantrasyonu	(mg/l)
S_T	=	Toplam Çözünmüş Substrat Konsantrasyonu	(mg/l)
X	=	Biyokitle Konsantrasyonu	(mg/l)
X_I	=	Kalıcı Partiküler Substrat Konsantrasyonu	(mg/l)
X_S	=	Zor Ayrışan Partiküler Madde Konsantrasyonu	(mg/l)
X_T	=	Toplam Katı Madde Konsantrasyonu	(mg/l)
μ	=	Özgöl Çoğalma Hızı	(gün ⁻¹)
$\hat{\mu}$	=	Maksimum Özgöl Çoğalma Hızı	(gün ⁻¹)
Y	=	Mikroorganizma Dönüşüm Oranı	

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2-1. Özgöl Çoğalma Hızı, μ ile Substrat Konsantrasyonu Arasındaki İlişki	3
Şekil 2-2. Bir Atıksudaki Toplam KOI'nin Bölümleri	7
Şekil 2-3. Bir Arıtma Tesisi Çıkışında Çözünmüş KOI'nin Bölümleri	8
Şekil 2-4. Kesikli Reaktörde Çözünmüş KOI Eğrisi	9
Şekil 2-5. Kalıcı Çözünmüş KOI'nin Belirlenmesi için Karşılaştırmalı Yöntem	10
Şekil 2-6. X_i 'nin Deneysel Tayini	13
Şekil 2-7. X_i 'nin Belirlenmesi	14
Şekil 3-1. İnorganik Tuzlar ve 1000 mg/l Glikoz/gün Beslenen Havalandırmalı Kesikli Reaktördeki 1-150 Günler Arasındaki Biyokitle, Çözünmüş KOI ve Çözünmüş Karbonhidrat Konsantrasyonları	18
Şekil 3-2. İnorganik Tuzlar ve 1000 mg/l Glikoz/gün Beslenen Havalandırmalı Kesikli Reaktördeki 151-300 Günler Arasındaki Biyokitle, Çözünmüş KOI ve Çözünmüş Karbonhidrat Konsantrasyonları	18
Şekil 3-3. İnorganik Tuzlar ve 1000 mg/l Glikoz/gün Beslenen Havalandırmalı Kesikli Reaktördeki 300-400 Günler Arasındaki Biyokitle, Çözünmüş KOI ve Çözünmüş Karbonhidrat Konsantrasyonları	19
Şekil 3-4. İnorganik Tuzlar ve 1000 mg/l Glikoz/gün Beslenen Havalandırmalı Kesikli Reaktördeki 451-613 Günler Arasındaki Biyokitle, Çözünmüş KOI ve Çözünmüş Karbonhidrat Konsantrasyonları	19
Şekil 3-5. Kağıt Endüstrisi Atıksuları için KOI Profilleri	21
Şekil 3-6. 3 No.lu Tesisin Çıkışında Artık Partiküler KOI'nin Saptanması	25
Şekil 4-1. Atıksu Arıtma Tesisi Akım Şeması	31
Şekil 4-2. Birinci ve İkinci Seri Deneylerde Çözünmüş KOI Profilleri	37
Şekil 4-3. Üçüncü Seri Deneylerde Çözünmüş KOI Profilleri	40

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3-1. Kesikli Reaktöre Havalandırma Hacmi Başına Eklenen Besleyici Miktarları (Gaudy ve Blachly, 1985)	17
Tablo 3-2. Kağıt Endüstrisi İçin Kademeli Yöntemle Elde Edilen İlk Minimum ve Nihai KOI Değerleri (Germirli ve diğerleri, 1991)	21
Tablo 3-3. Endüstriyel Atıksuların Kalıcı Çözünmüş KOI'leri (Germirli ve diğerleri, 1991)	22
Tablo 3-4. Arıtılabilirlik Çalışmasında Kullanılan Tekstil Atıksularının Karakteristikleri (Orhon ve diğerleri, 1992)	24
Tablo 3-5. Biyolojik Arıtılabilirlik Deneyleri Sonuçları (Orhon ve diğerleri, 1992)	26
Tablo 3-6. Peynir Altı ve Sitrik Asit Atıksularının Karakterizasyonu (Germirli ve diğerleri, 1992)	26
Tablo 3-7. Peynir Altı Anaerobik Arıtma Çıkışı Atıksularının Artık KOI Deneyleri Sonuçları (Germirli ve diğerleri, 1992)	28
Tablo 3-8. Sitrik Asit Anaerobik Arıtma Çıkışı Atıksuların Artık KOI Deneyleri Sonuçları (Germirli ve diğerleri, 1992)	28
Tablo 3-9. Artık KOI Deneylerinin Değerlendirilmesi (Germirli ve diğerleri, 1992)	28
Tablo 4-1. Proses Atıksularının Miktar ve Özellikleri (Öztürk ve diğerleri, 1992)	30
Tablo 4-2. Bu Çalışmada Kullanılan Atıksuların Karakterizasyonu	33
Tablo 4-3. Buffer Atıksuları ile Hazırlanıp 546 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları	34
Tablo 4-4. Anaerobik Arıtma Çıkışı Atıksularıyla Hazırlanıp 570 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları	35
Tablo 4-5. NH_3 Uçurulmuş Anaerobik Arıtma Çıkışı Atıksularıyla Hazırlanıp 546 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları	35
Tablo 4-6. % 50 Anaerobik Arıtma Çıkışı + % 50 Kesan Kuyu Karışımı ile Hazırlanıp 570 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları	35
Tablo 4-7. Süzölmüş Aerobik Arıtma Girişi ¹ Atıksuları ile Hazırlanıp 645 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları	36

	Sayfa
Tablo 4-8. Glikoz Çözeltisi ile Hazırlanıp 525 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları	38
Tablo 4-9. Aerobik Arıtma Girişi ² Atıksuları ile Hazırlanıp 552 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları	39
Tablo 4-10. Süzölmüş Aerobik Girişi ² Atıksuları ile Hazırlanıp 552 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları	39
Tablo 4-11. Glikoz Çözeltisi ile Hazırlanıp 552 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları	39
Tablo 5-1. Deneysel Çalışma Sonuçları	44



ÖZET

Bu çalışmada fermentasyon endüstrisinden kaynaklanan atıksuların kalıcı KOI'lerinin belirlenmesi amacıyla, maya üretiminden ortaya çıkan proses atıksuları, anaerobik arıtma görmüş proses atıksuları ve de bu atıksularla evsel ve fermentör yıkama sularının karışımı atıksular üzerinde bir dizi deneysel çalışma yürütülmüştür.

Birinci bölümde, çalışmanın anlamı, önemi, amaç ve kapsamı kısaca özetlenmiştir.

İkinci bölümde, biyolojik arıtmanın esasları üzerinde durulup, kalıcı KOI kavramı ve tayin yöntemleri açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, çözünmüş kalıcı KOI ölçümü konusunda daha önce yapılan çalışmalar üzerine literatür çalışması yapıp çeşitli endüstriler için kalıcı KOI değerleri verilmiştir.

Dördüncü bölümde, fermentasyon endüstrisi tanıtılıp atıksu karakterizasyonları verilmiştir. Söz konusu endüstrinin atıksu arıtma tesisi hakkında genel bir bilgi ve tesisin çeşitli noktalarından alınan atıksularla yürütülen deneysel çalışma sonuçları verilmiştir.

Beşinci bölümde, S_1 ve X_1 hesaplanarak, deney sonuçları değerlendirilmiştir.

Altıncı Bölümde, tüm çalışmanın bir değerlendirilmesi yapıp öneriler getirilmiştir. Ön arıtma uygulanmamış fermentasyon seperasyon atıksularında inert KOI oranı ortalama olarak $S_1/S_0=0.10$ civarında, anaerobik ön arıtma sisteminde arıtılan fermentasyon seperasyon atıksularının müteakip aerobik arıtımında S_1/S_0 oranları 0.20-0.30 aralığında bulunmuştur. Anaerobik çıkışı ile seyreltik yıkama suları ve evsel atıksularının karışımında yürütülen çalışmalarda S_1/S_0 0.18-0.48 aralığında değişmektedir. Değerler arasındaki bu farkın genelde anaerobik arıtma sisteminin o andaki işletme şartlarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Bu endüstri için Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde önerilen 300 mg/l'lik toplam KOI limitine mevcut teknolojilerle ulaşılmasının fevkalade zor olduğu görülmüştür.

Mevcut durumun daha iyi değerlendirilebilmesi için, kesikli aerobik arıtılabilirlik deneylerinin olabildiğince, farklı atık kombinasyonlarını ve işletme şartlarını temsile yetecek sayıda bir deneyler serisi tarzında yürütülmesi önerilmiştir.

DETERMINATION OF THE INERT SOLUBLE COD FOR THE FERMENTATION INDUSTRY EFFLUENTS

SUMMARY

INTRODUCTION

Most agro industries, processing complex natural organics, generate strong wastes. Discharge standards applied to these effluents are often too stringent and below the levels that can be achieved with appropriate biological treatment technologies. Generally, two-stage biological treatment is prescribed for wastewaters with COD levels above 2000-3000 mg/l range. The preferred initial stage is mainly anaerobic as it provides substantial energy savings for a similar treatment efficiency obtainable with an aerobic treatment system.

Recent studies conducted on carbon removal systems have shown that the kinetics of the degradable portion of the influent COD play a relatively less important role compared to the residual fractions of the effluent namely, the inert COD content of the wastewater and the residual microbial products generated during the treatment process. This picture is much more significant for high strength wastes that require more than 95% COD removal.

The objective of this study is to characterize the fermentation industry (Baker's yeast production) wastewaters in terms of inert and residual COD fractions and observe the changes induced by two-stage biological treatment to these fractions. In this context, a method given by Germirli et al (1992) is used for the experimental assessment of soluble and particulate residual COD. The method is applied to fermentation effluents undergoing two-stage anaerobic- aerobic biological treatment. The results are evaluated in terms of total COD removals achievable in the treatment processes and the fate of inert soluble COD in each of the treatment step.

THE INERT AND RESIDUAL COD CONCEPT

The commonly used COD parameter does not differentiate between inert and biodegradable organic matter in wastewaters. This differentiation is necessary and significant especially for high strength industrial effluents. In such strong waster the soluble influent COD fraction may severely interfere with the treatability results. The importance of the initial soluble COD fraction is recognized in the literature and

methods are suggested for its measurement. Ekama et. al (1986) suggested the use of a laboratory completely mixed reactor system operated at sludge ages between 10 to 20 days and stipulate that the influent inert soluble COD (S_I) will be equivalent to the COD of the filtered effluent. More recently the IAWQ Task Group defined a different method which consisted of removing an aliquot from the mixed liquor from a continuously fed completely mixed reactor operated at a sludge age in excess of 10 days and aerating it in a batch reactor (Henze et al, 1987), the final residual COD determined by periodical sampling and analysis was assumed to be equal to the concentration of the feed, S_I . Contrary to the traditional process understanding, increasing the sludge age does not result in higher COD removals, but it may end up yielding higher effluent COD levels (Orhon et al, 1989). This may be explained in terms of two new COD components: the initial inert soluble COD, S_I and residual soluble metabolic products, S_p . A number of studies have clearly indicated that the effluent COD of treatment systems operated at low sludge age essentially consist of these two components (Daigger and Grady, 1977). In the Task Group approach which provided a new multi-component explanation to the biodegradation mechanism, these two fractions are not separately identified (Henze et al, 1989). While the Task Group approach may be acceptable for wastewaters with low COD content such as domestic sewage, it may be misleading for strong wastes and especially when two-stage treatment is involved.

In a batch activated sludge system, the COD-time profile passes through a minimum when the readily degradable substrate, S_s is totally depleted ($S_s = 0$). At this point, the remaining substrate is likely to be composed of S_R and S_I . The soluble residual products concentration generated during this period, Δt from the start of the experiment will be directly proportional to the initial readily biodegradable substrate, S_{so} .

Two different experimental methods can be used for the determination of S_I and S_R (Germirli et al, 1991). The first method is essentially based upon the following expression to yield a linear relationship between the initial COD concentration, S_{so} and the minimum levels of the COD profiles obtained from a set of experiments carried out with increasing S_{so} values.

$$S_R = m S_{so} + n$$

$$m = k \cdot \Delta t \cdot Y_{obs}$$

$$n = k \cdot \Delta t \cdot X_{AO}$$

where, k is rate constant

Y_{obs} is the observed yield for biomass

X_{AO} is initial concentration of the active biomass in the reactor.

The second method is much simpler in the structure and consisted of running two parallel batch reactors started with the same initial COD, one with the wastewater is tested and the other with glucose. Since the minimum level of the COD profile of

the tested wastewater is equal to $S_I + S_R$ and that of glucose approximates S_R alone since it contains no initially inert fraction,

$$(S_I)_{\text{wastewater}} = (S_I + S_R)_{\text{wastewater}} - (S_R)_{\text{glucose}}$$

with the assumption that.

$$(S_R)_{\text{wastewater}} \approx (S_R)_{\text{glucose}}$$

This assumption is reasonably valid as the two systems have the same S_{so} . More detailed information about these methods can be found elsewhere (Germirli et al, 1991). The initial particulate COD, X_I can be directly determined by a special procedure proposed by Orhon et al (1992).

MATERIAL AND METHODS

In this study fermentation industry (Baker's yeast) effluents were tested for their inert COD content.

In Baker's yeast production, high strength process wastewaters are originated from yeast separators and rotary vacuum filters. In addition to these effluents, medium and low strength wastewaters including floor and equipment cleaning waters and domestic wastewaters are also present. High strength process waters have a chemical oxygen demand (COD) of 10,000-30,000 mg/l and their pH values vary in the range of 5 to 7.4. These effluents are treated in the first stage anaerobic treatment plant. Low strength effluents with an average COD of 1700 mg/l are directed to the aerobic treatment system.

Wastewaters used in this study were collected at four different locations of the investigated fermentation industry: Buffer tank, Anaerobic Treatment plant effluent, domestic and cleaning effluents collection tank and influent of the aerobic treatment plant. Table 1 summarizes the initial characteristics of wastewaters used in this study. All analyses were performed by following the procedures described in Standard Methods (APHA, AWWA, WPCF, 1989). Nutrient requirements were supplemented by adding a solution prepared with 160 gr/l KH_2PO_4 , 320 gr/l K_2HPO_4 , 120 gr/l NH_4Cl . The wastewater samples were subjected to vacuum filtration by using Whatman GF/C glass fiber filters. The filtrates were taken as the soluble fractions. Cylindrical batch reactors with 2 lt of liquid volume were used for the experiments. Excess aeration was supplied to met complete mixing in batch reactors. Any water loss in reactors by evaporation was replaced with distilled water prior to sampling.

Table 1: Initial Characteristics of Wastewaters Used In This Study

Parameter	Buffer Tank	Anaerobic Effluent	Domestic and Cleaning Ww	Aerobic Plant Influent (Run 2)	Aerobic Plant Influent (Run 3)
COD _{tot} (mg/l)	20,000	8000	3850	3000	2830
COD _{sol} (mg/l)	15,000	6950	2600	2350	2035
SS (mg/l)	1200	650	550	620	740
TKN (mg/l)	1480	1570	160	850	
NH ₃ -N	210	1200	60		
Total P (mg/l)	3.2	14	24		
SO ₄ = (mg/l)	1290	25	98		
PH(-)	6.0	8.1	5.7	8.5	7.9

RESULTS AND DISCUSSION

Aerobic batch treatability experiments were performed for 3 Runs. The seed from a full scale second stage activated sludge treatment plant treating Baker's yeast effluents were acclimatized with the wastewater containing 50% of glucose and 50% of the influent from the related aerobic treatment plant and were used in all batch reactors as the initial adapted sludge. The initial inert COD's were determined by comparative evaluation method. The particulate inert COD's were determined by the direct calculation procedure. The feed used for Run 1 was collected from different location of a two-stage (anaerobic-aerobic) treatment plant operating higher organic loadings, while the feed used for Run 2 and 3 was taken from a similar treatment plant operating low organic loadings.

In the first Run, five 2-liter aerated batch reactors operated with identical initial wastewater and glucose COD concentrations (total COD of about 3000 mg/l). The comparative evaluation method was tested for the buffer tank effluents, anaerobic first stage treatment plant effluents, domestic and cleaning waters mixture and the influent of the 2nd stage aerobic treatment plant in the investigated industry. Periodical samples (at least 3 times per week) were compared and the difference of either the first minimum or ultimate levels between the soluble COD values for the each batch reactor and the corresponding glucose solution was evaluated as the inert soluble COD fraction of the tested effluents. Table 2 summarizes the results from Run 1, 2 and 3 together with the related studies.

CONCLUSIONS

In this study, performed to determine the initial inert COD concentrations for the fermentation industry wastewaters, the following results have been obtained.

- The initial residual COD ratio (S_f/S_o) for the raw effluents from high strength baker's yeast wastewaters was determined as 0.1.
- The initial residual COD ratio's for the anaerobic first stage treatment plant were in the range of 0.2 to 0.3. Ammonia stripping prior to aerobic post treatment has no significant effect on S_f/S_o values.
- The S_f/S_o ratios for the effluents simulating the influent of the existing full-scale aerobic treatment plants have varied from 0.18 to 0.48. Such a large variation has most probably been originated from the operating conditions of the existing full-scale anaerobic treatment plants. In any case, the effluents standards proposed by water pollution control regulation for this industry are extremely difficult to met with the existing treatment technologies.
- The initial concentration of the seed does not affect the S_f .
- The degree of the first stage treatment and the characteristics of the subsequent anaerobic treatment system (i.e. selector, reactors in series, types of aeration and mixing regime) may provide better treatment and lower S_f values than the results from batch scale laboratory reactors.

Table 2: Inert Soluble COD Fractions of Industrial Effluents

Category	Soluble COD S_o (mg/l)	Inert Soluble COD Fraction S_i (mg/l)	S_f/S_o	Reference
Pulp and paper	3340	196	0.059	Germirli et al (1991)
Meat processing	1990	110	0.055	Germirli et al (1991)
Dairy	1570	0	-	Germirli et al (1991)
Antibiotics	9300	2500	0.27	Germirli et al (1991)
Textile	1000	190	0.19	Germirli et al (1991)
Woven fabric	1176	90	0.076	Orhon et al (1992)
Knit fabric	800	88	0.11	Orhon et al (1992)
Cheese whey (Raw)	60000	0	-	Germirli et al (1992)
Cheese whey (Anaerobically Pre-treated)	1020	256	0.25	Germirli et al (1992)
Citric Acid (Raw)	29300	1870	0.064	Germirli et al (1992)
Citric Acid (Anaerobically pre-treated)	2025	804	0.397	Germirli et al (1992)
Baker's yeast effluents (Raw)	2270	300	0.132	This Study
Baker's yeast effluents (Anaerobically Pre-treated)	2380	800	0.336	This Study
After NH_3 Stripping	2435	730	0.300	This Study
Baker's yeast effluents (Aerobic influent) Run 1	2675	480	0.179	This Study
Run 2	2240	1070	0.477	This Study
Run 3	2000	650	0.325	This Study

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ

Günümüzde su kirliliği en önemli çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Bu kirlilikte endüstriyel atıksuların büyük bir payı bulunmakta ve endüstriyel atıksu arıtımı gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır.

Endüstriyel atıksuların özellikle kirletici yükü fazla kuvvetli atıkların arıtılmasında iki kademeli biyolojik arıtma geniş kullanım alanına sahiptir. İki kademeli arıtmada ilk kademe, aerobik arıtmayla elde edilen verimi enerji tasarrufu ile birlikte sağladığı için önemli avantajlar sağlayan anaerobik arıtma kademesidir.

Atıksuların arıtma tesisine girişteki karakteristiklerinin tanımlanması biyolojik atıksu arıtma tesislerinin tasarımı ve işletilmesi açısından büyük önem taşır. Kompleks organik madde içeren atıksuların organik madde muhtevasının ölçülmesi, bu maddeleri tek olarak ölçme imkanı olmadığından, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, BOİ, kimyasal oksijen ihtiyacı, KOİ ve toplam organik karbon, TOK gibi kolektif parametrelere dayanır. Atıksu karakteristiklerinin tanımlanmasında en yaygın biçimde kullanılan kolektif parametre KOİ'dir. Bu parametre diğerlerine tercih edilmesine rağmen, biyolojik olarak kolay ayrışan ile kalıcı organik madde arasındaki farkı belirleyememektedir. Girişteki kalıcı çözünmüş organik madde biyolojik arıtma tesislerinde hiçbir değişikliğe uğramadan sistemden çıkar.

Birçok endüstri için deşarj standartları ile belirlenen değerlere günümüzün arıtma teknolojileri ile ulaşmak oldukça güçtür. Bir de girişteki kalıcı kısım düşünüldüğünde bu çoğu zaman imkansız hale gelebilir. Bu nedenle, girişteki kalıcı çözünmüş kısmın (inert KOİ) belirlenmesi, söz konusu endüstri için deşarj standartlarının sağlanıp sağlanamayacağı konusuna açıklık getirir.

1.2. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Bu çalışmanın amacı, fermentasyon endüstrisi atıksularının kalıcı çözünmüş KOİ'sinin belirlenmesidir. Ayrıca, elde edilen sonuçların kirletici yükü fazla diğer endüstrilerin kalıcı çözünmüş KOİ'leri ve bu endüstriye uygulanan deşarj standartlarıyla karşılaştırılması da çalışmanın amacı dahilindedir.

Bu amaçla, kalıcı çözünmüş KOI'nin ölçüm yöntemleri ortaya koyulmuş ve bu konuda daha önce yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Çalışmaya konu olan fermentasyon endüstrisi tanıtılıp atıksu karakterizasyonu verilmiş ve bu atıksuya uygulanan biyolojik arıtma sistemi tanıtılmıştır.

Arıtma tesisinin farklı noktalarından alınan numuneler üzerinde karakterizasyon ve kalıcı çözünmüş KOI (S_I)'nin belirlenmesi amacıyla bir dizi deney yürütülmüştür. Numuneler, atıksu arıtma tesisine girişte, anaerobik arıtma çıkışında, evsel atıksu ve fermentör yıkama suları karışımından ve de aerobik arıtma girişinde olmak üzere dört farklı noktadan alınmıştır. Atıksular belirli oranlarda seyreltilip çözünmüş kalıcı KOI'nin belirlenmesi yöntemlerine uygulanmıştır.

Deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar, kirlilik yükü fazla diğer endüstriler ve deşarj standartları ile karşılaştırılarak öneriler getirilmiştir.



BÖLÜM 2. BİYOLOJİK ARITMANIN ESASLARI, ÇÖZÜNMÜŞ KALICI KOI KAVRAMI VE TAYİN YÖNTEMLERİ

2.1. BİYOLOJİK ARITMA KİNETİĞİ

Aktif çamur proseslerinde, reaktördeki çamur kütlesi birçok bakteri türü ve bu bakterilerle beslenen protozoa, rotifer gibi daha yüksek kademedeki türlerden meydana gelen karmaşık bir ekosistemdir. Ortamdaki organizma topluluğunun çoğalması ve substratın giderilmesi mekanizmaları da oldukça karmaşık proseslerdir ve bu konuda en çok kabul gören modellerden biri de Monod modelidir (Monod, 1949). Bu modelde mikroorganizma çoğalma hızı;

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (2.1)$$

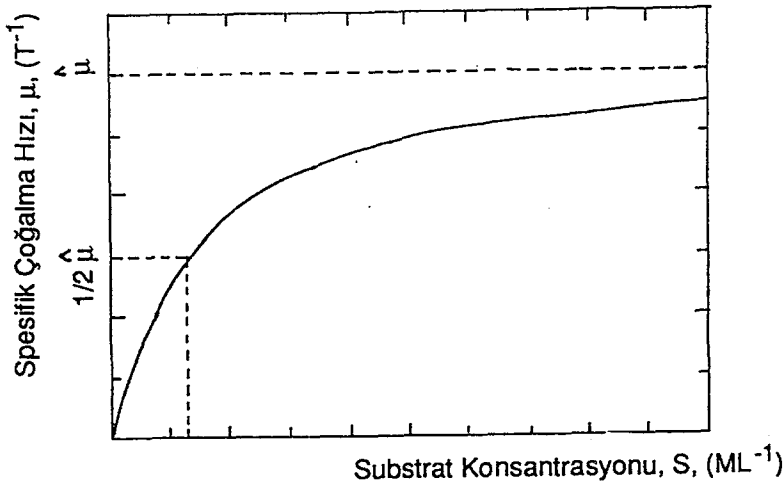
ifadesi ile verilir. Özgül çoğalma hızı (μ) da,

$$\mu = \hat{\mu} \frac{S}{K_S + S} \quad (2.2)$$

denklemleri ifade edilir.

Burada; X, biyokitle konsantrasyonunu; S, hız kısıtlayıcı substrat konsantrasyonunu; μ , özgül çoğal hızını; $\hat{\mu}$, maksimum özgül çoğalma hızını; K_S ise yarı doygunluk hız sabitini göstermektedir.

Şekil 2-1'de de Monod denkleminin grafiği görülmektedir.



Şekil 2-1. Özgül Çoğalma Hızı, μ ile Substrat Konsantrasyonu Arasındaki İlişki

Denklem 2.1 ve 2.2 birleştirildiğinde;

$$\frac{dX}{dt} = \hat{\mu} \frac{SX}{K_S+S} \quad (2.3)$$

ifadesi elde edilir. Tek ve basit bir organik bileşiğin gideriminin çoğalma ile birlikte meydana geldiği düşünülürse substrat (organik madde) giderim hızı;

$$- \frac{dS}{dT} = \frac{1}{Y} \frac{dX}{dt} \quad (2.4)$$

şeklinde çoğalma hızıyla orantılı olarak verilir. Buradaki orantı sabiti, Y, giderilen birim substrat başına üretilen biyokitle olarak tanımlanan dönüşüm oranıdır. Çoğalma hızı Monod denklemi ile ifade edildiğinde;

$$- \frac{dS}{dT} = \frac{\hat{\mu}}{Y} \frac{S}{K_S+S} X \quad (2.5)$$

şeklinde substrat giderim hızı, substrat ve mikroorganizma konsantrasyonunun fonksiyonu olarak verilir.

Aktif çamurda, enerjinin bir kısmı, bazı hücre bileşenlerinin yenilenmesi, hareket ve aktif taşıma gibi biyosentezden başka amaçlarla kullanılır ve bunun sonunda daima gerçek dönüşüm oranının belirttiği miktardan daha az biyokitle gözlenir. Genellikle biyokitle azalmasına yol açan olayların tümü, "biyokitle kaybı" (decay) olarak adlandırılır. Buna göre, biyokitle çoğalma denkleminin;

$$\frac{dX}{dT} = \hat{\mu} \frac{S}{K_S+S} X - k_d X \quad (2.6)$$

şeklinde verilmesi gereklidir. Burada k_d mikroorganizma ölme katsayısını göstermektedir.

Yukarıdaki denklemlerde kullanılan $\hat{\mu}$, K_S , k_d katsayıları, aktif çamur proseslerinde "kinetik sabitler" olarak; Y, dönüşüm oranı ise "stokiyometrik katsayı" olarak adlandırılır.

2.2. AKTİF ÇAMURDA ÇÖZÜNMÜŞ KALICI KOİ OLUŞUMU

Özenle işletilen ve iyi tasarlanmış bir aktif çamur tesisinin çıkışında bile bir miktar biyolojik olarak ayrışamayan çözünmüş organik madde bulunduğu bilinmektedir. Bu

organik kalıntılar uzun temas süreleri sonunda dahi giderilememekte, hatta belli bir süreden sonra ortamda organik madde artışı gözlenebilmektedir. Yapılan araştırmalar bu maddelerin biyokitle tarafından üretildiğini düşündürmektedir (Artan, 1987).

Aktif çamur mikroorganizmaları tarafından üretilen bu kalıcı organik bileşikler, en iyi laboratuvar ölçekli aktif çamur sistemlerinde saf, basit ve tamamiyle ayrışabilir organik bileşiklerden oluşan sentetik substratlar kullanılarak gözlenebilir ve ölçülebilir (Chudoba, 1985).

2.3. AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİNDE ÜRÜN ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Biyolojik arıtma sistemlerinde mikrobiyal büyüme ve substrat kullanım hızları, sistemdeki hız kısıtlayıcı nütrient konsantrasyonu ile orantılıdır. Hız kısıtlayıcı olan madde aynı zamanda sistemde giderilmesi istenen maddedir. Bu nedenle hız kısıtlayıcı besi maddesi konsantrasyonunun nasıl ölçüleceği oldukça önemlidir (Grady ve Lim, 1980).

Belli bir maddenin giderilmesi için tasarlanmış bir sistemde, sistemin verimi, o maddenin konsantrasyonunun ölçülmesi ile belirlenebilir. Ancak yüzlerce bileşik içeren bir atıksuyun, çözünmüş organik maddelerinin biyolojik olarak arıtılması için tasarlanmış bir sistemde arıtma veriminin özel testlerle ölçülmesi hemen hemen olanaksızdır. Esas olarak bir grup organik madde içeren endüstriyel atıksularda bu grubun birleştirilmiş bir özelliğinin ölçülmesi mümkündür. Biyolojik arıtma sistemlerinde birincil substratın metabolize edilmesi sırasında, biyolojik olarak ayrışabilen ara ürünler oluştuğu ya da ölen mikroorganizmaların hidrolizi ile ayrışabilir organik maddeler üretildiği gözönüne alınırsa, spesifik substrat ölçümlerinin kullanılması, arıtma amacına uymamaktadır (Artan, 1987).

Bu nedenle substrat ölçümünde, toplam organik karbon (TOK), biyokiyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) gibi spesifik olmayan ancak herbiri birbirinden farklı bilgiler veren test yöntemleri kullanılabilir.

Toplam organik maddenin ölçülmesinde, TOK yöntemi, BOİ ve KOİ yöntemlerine göre daha uygundur ve doğrudan bir ifadedir ancak iki önemli dezavantaja sahiptir: Birincisi; biyolojik olarak ayrışabilen ve ayrışamayan organik maddeler arasında ayırım yapamaz. İkincisi ise BOİ ve KOİ'nin tersine, TOK yönteminin organik maddenin oksidasyon kademesinden bağımsız olması ve organik bileşiklerin oksidasyon kademesi hakkında hiçbirşey söylememesidir.

Bu nedenle atıksulardaki substratın ölçülmesinde BOİ ve KOİ yöntemlerinin kullanılması daha yaygındır.

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı kavramı aerobik organotrofik mikroorganizmalar için elverişli bir organik karbon kaynağı içeren bir atıksuyun kirlenme potansiyelinin, mikroorganizmaların bu sudan alınmış bir örnekte gelişmeleri sırasında harcadıkları oksijenin ölçülmesiyle belirlenebileceği fikrine dayanır (Gaudy, 1972).

Biyokimyasal yükseltgenme 5 günde tamamlandığından BOI_5 değeri, atıksudaki substrat düzeyini tamamiyle yansıtmaz. Ayrıca, deneyde aşı olarak kullanılan mikroorganizmalar, atıksudaki substrata aklime edildiğinde veya atıksu biyolojik gelişmeyi engelleyici inhibitörler içerdiğinde hatalı BOI sonuçları elde edilecektir. Biyolojik olarak inert organik maddeler de farklı bir tarzda, BOI deneyinin önemli hata kaynaklarından birini oluştururlar. Ayrıca yöntemin oldukça zahmetli olması, en az 5 gün sürmesi, deney koşullarından çok fazla etkilenmesi gibi dezavantajları, BOI_5 parametresinin, biyolojik arıtma sistemlerinin tasarım ve işletilmesinde kullanışlılığını azaltmaktadır.

Kimyasal oksijen ihtiyacı, KOI , kuvvetli bir kimyasal oksitleyici ile oksitlenebilen organik madde içeriğinin oksijen cinsinden eşdeğerinin bir ölçüsüdür. Atıksu örneklerinin 2 saat içinde, kuvvetli asit ortamda ve kaynama sıcaklığında indirgedikleri Cr^{+6} miktarının ölçülmesi ilkesine dayanır. Böylelikle KOI deneyi, deney koşullarında ve deney süresi içerisinde bikromatla yükseltgenebilir maddelerin atıksulardaki konsantrasyonunu bulmakta kullanılır. KOI deneyinin yetersizliği, mikroorganizmalar için uygun substrat oluşturmayan yükseltgenebilir maddelerin ve bu arada biyolojik olarak inert organik maddelerin de, Cr^{+6} 'yı indirgemeleri nedeniyle ölçüm sonuçlarına yansımalarından ileri gelir. KOI deneyinin diğer bir dezavantajı da biyolojik olarak ayrışabilen aromatik hidrokarbonların, vd. organik maddelerin Cr^{+6} ile yükseltgenememeleridir.

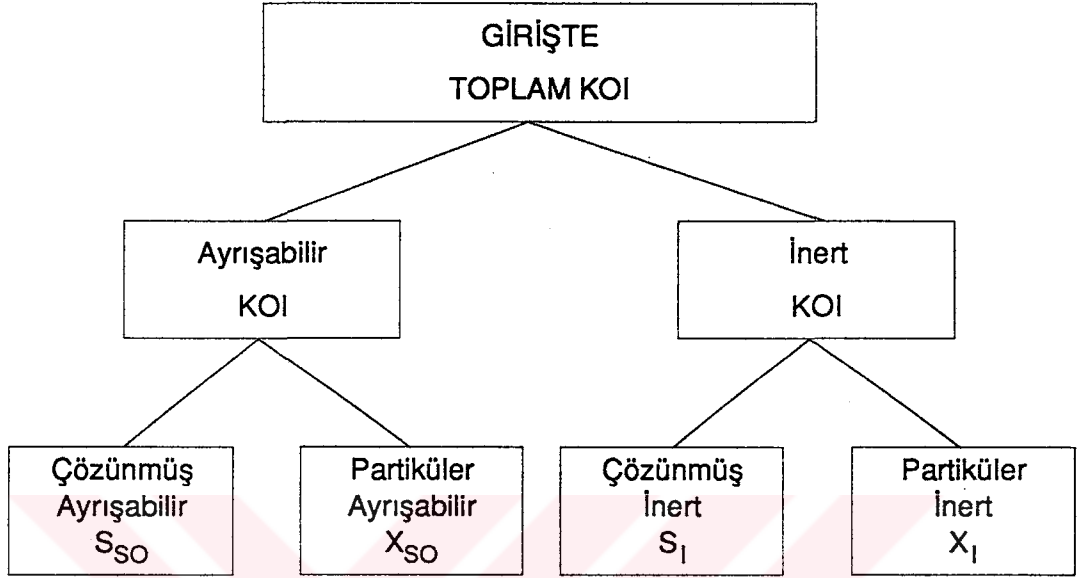
Ancak tüm bunlara rağmen KOI genellikle diğerlerine tercih edilir. Çünkü, organik substrat, biyokitle ve tüketilen oksijen arasında bir elektron ve enerji dengesi sağlar (Gaudy ve Gaudy, 1971). Ayrıca daha az zahmetli oluşu, deneyin 2 saat gibi kısa bir sürede tamamlanabilmesi avantajları arasındadır.

2.4. KOI 'NİN BÖLÜMLERİ

Biyolojik olarak inert ve ayrışabilir organik maddeler arasında ayırım yapmamasına rağmen, en çok kullanılan substrat ölçme yöntemi olduğu için, KOI 'nin bölümlerini tanımlamak gerekir.

Ekama ve diğerleri (1986)'ne göre, bir atıksuyun KOI 'si iki ana bileşene ayrılabilir:

Biyolojik olarak ayrışamayan (inert) ve biyolojik olarak ayrışabilen kısımlar. İnert KOI bölümü de kendi içinde çözünmüş ve partiküler olmak üzere ikiye ayrılabilir. Aynı şekilde ayrışabilen KOI'yi de çözünmüş ve partiküler olarak ayırmak mümkündür (Şekil 2-2).



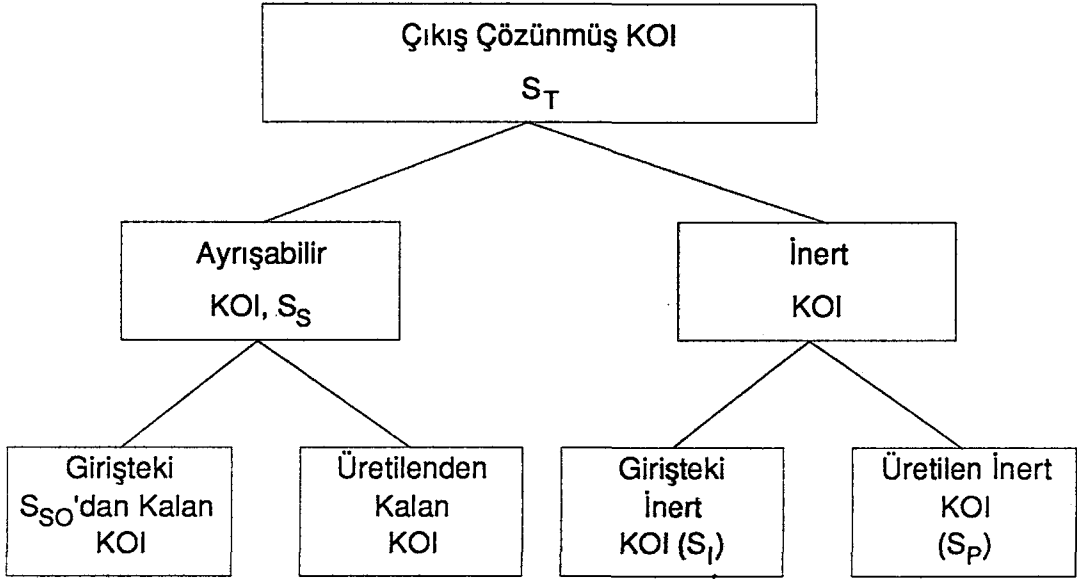
Şekil 2-2. Bir Atıksudaki Toplam KOI'nin Bölümleri

Uluslararası Su Kirlenmesi Araştırmaları ve Kontrolü Birliği (IAWQ) tarafından oluşturulan çalışma grubunun modeline göre de atıksudaki organik maddeler, biyolojik olarak ayrışabilen ve ayrışamayan olarak ikiye ayrılmaktadır. Aktif çamur sistemlerinden hiçbir değişikliğe uğramadan çıkan, biyolojik olarak ayrışamayan kısım; atıksuyun biyolojik olarak inert kısmı olarak tanımlanır. İnert çözünmüş organik madde S_I sembolü ile, inert askıdaki organik madde ise X_P ile gösterilir. Biyolojik olarak ayrışabilen organik kısım da ikiye ayrılabilir: Kolay ayrışabilen kısım, S_S ve yavaş ayrışabilen kısım, X_S.

Doğrudan hetetrofik bakteriler tarafından alınan ve yeni biyokitlelerin çoğalması için kullanılan kolay ayrışabilen kısım göreceli olarak basit moleküllerden oluşur. Daha kompleks moleküllerden oluşan yavaş ayrışan kısım ise kullanılmadan önce kolay ayrışabilir substrata dönüştürülmelidir (Henze ve diğerleri, 1987).

Artan (1987)'in geliştirdiği modele göre ise giriş akımındaki toplam KOI; çözünmüş olduğu kabul edilen kolay ayrışabilir organik maddeden (S_S), partiküler formdaki yavaş ayrışabilir organik maddeden (X_S), inert çözünmüş organik maddeden (S_I) ve inert partiküler organik maddeden (X_I) ibarettir. Şekil 2-3'de görüldüğü gibi çıkış akımındaki çözünmüş KOI'de biyolojik olarak ayrışabilir ve inert olarak iki kısma

ayrılabilir (Orhon ve diğerleri, 1989).



Şekil 2-3. Bir Arıtma Tesisi Çıkışında Çözünmüş KOI'nin Bölümleri

Çözünmüş inert organik madde, atıksudaki çözünmüş inert organik madde (S_I) ile çözünmüş mikrobiyel ürünlerin (S_R) toplamından ibarettir.

Bu nedenle S_S , S_R ve S_I arasında aşağıdaki ilişki kurulabilir:

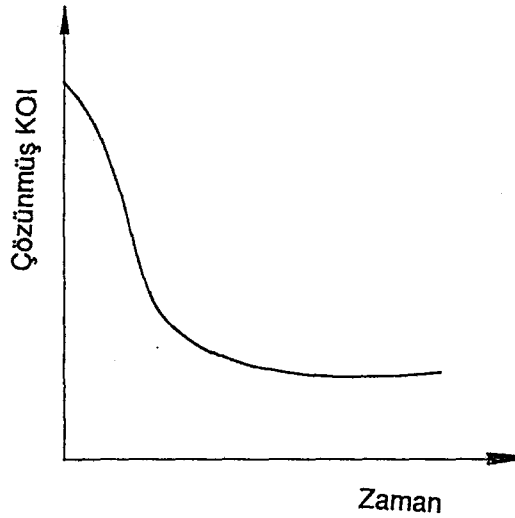
$$\text{Çıkış akımındaki Toplam Çözünmüş KOI} = S_S + S_I + S_R$$

2.5. ÇÖZÜNMÜŞ KALICI KOI ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Özellikle kuvvetli atıksularda giriş akımındaki çözünmüş KOI'nin bileşenleri, sistemin arıtılabilirliğini ciddi olarak etkileyebilmekte veya farklı endüstri kategorileri için geliştirilmiş deşarj limitlerine ulaşılmasını engelleyebilmektedir. Girişteki çözünmüş inert organik madde de yapısını hiç değiştirmeden çıkış akımına geçer. Bu bileşen konvansiyonel atıklarda çok önemli olmamakla birlikte, endüstriyel deşarjlarda ve kuvvetli atıklarda oldukça büyük bir öneme sahiptir (Germirli ve diğerleri, 1990).

Girişteki çözünmüş KOI'nin kalıcı (inert) kısmının belirlenmesi için araştırmacılar çeşitli yöntemler önermektedir (Ekama ve diğerleri, 1986), (Henze ve diğerleri, 1987), (Germirli, 1990).

Germirli (1990), kesikli bir sistemde, kolay ayrışabilen substrat, S_S , tamamen tükenmediğinde ($S_S=0$), KOI profilinin bir minimuma ulaştığını belirtmiştir. Bu noktada kalan substrat S_R ve S_I 'nin toplamından ibarettir (Şekil 2-4).



Şekil 2-4. Kesikli Raktörde Çözünmüş KOI Eğrisi

Giriş akımındaki çözünmüş kalıcı KOI'yi ölçme yöntemleri;

- Kademeli Yöntem,
- Karşılaştırmalı Yöntem,
- Partiküler Kalıcı KOI (X_I) ve Çözünmüş Kalıcı KOI (S_I)'nin Doğrudan Tayin Yöntemidir.

İlk iki yöntemde ilave substrat olarak, kalıcı KOI'si (S_I) bulunmadığı, tamamen kolay ayrışabilir substrattan meydana geldiği kabul edilen glikoz kullanılır.

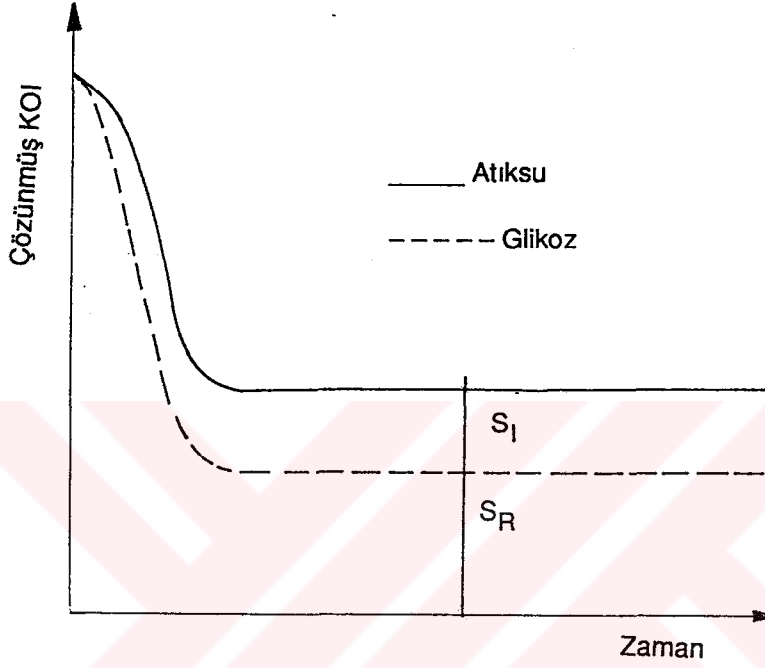
Deneylerde kullanılan biyokitlenin aklimasyonu, doldur boşalt (fill and draw) reaktörlerde % 50 glikoz çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilir.

2.5.1. Kademeli Yöntem

Bu yöntem, kesikli reaktöre aynı konsantrasyonda seyreltik çözünmüş atıksu üzerine kademeli olarak artan konsantrasyonlarda glikoz ilavesi ile elde edilen sistemlerin, az miktarda aşı mikroorganizma eklenerek çalıştırılması ve reaktörlerdeki çözünmüş KOI değerlerinin zamana karşı izlenmesi adımlarından oluşmaktadır. Bu yöntemle her bir reaktördeki S_I konsantrasyonu sabit tutulmakta, ancak S_{SO} konsantrasyonları farklı olduğundan, farklı S_R değerlerine ulaşılmaktadır. Bütün reaktörlerdeki çözünmüş KOI değerlerinin ulaştıkları ilk minimum değer veya nihai değerler esas alınarak, çözünmüş KOI'ye karşı, çözünmüş giriş KOI değerleri çizilir ve bu doğrunun KOI eksenini kestiği değer, atıksuyun çözünmüş kalıcı KOI değeri olarak hesaplanır (Germirli ve diğerleri, 1991).

2.5.2. Karşılaştırmalı Yöntem

Bu yöntemde çözünmüş atıksu ve aynı konsantrasyonda glikoz çözeltisi iki ayrı reaktörde, aklime olmuş aşı mikroorganizma ve gerekiyorsa nütrient ilavesi ile kesikli olarak çalıştırılır ve zamana karşı çözünmüş KOI değerleri izlenir. Atıksu ve glikozun KOI değerleri bir minimuma ulaştığında, aradaki farktan S_I belirlenir (Şekil 2-5).



Şekil 2-5. Kalıcı Çözünmüş KOI'nin Belirlenmesi İçin Karşılaştırmalı Yöntem

İncelenen atıksuyun çözünmüş KOI profilinin minimum seviyesi $S_I + S_R$ değerine eşit olduğundan ve glikozun S_I 'nin sıfır olması nedeniyle ulaştığı minimum seviyenin S_R 'yi ifade etmesi bekleneneğinden;

$$(S_I)_{\text{atıksu}} = (S_I + S_R)_{\text{atıksu}} - (S_R)_{\text{glikoz}} \quad (2.7)$$

eşitliği elde edilir. Burada;

$$(S_R)_{\text{atıksu}} = (S_R)_{\text{glikoz}}$$

kabulü yapılmıştır. Her iki sistem de aynı başlangıç çözünmüş KOI değerine sahip olduğundan, aşı mikroorganizmanın hem atıksuya hem de glikoza aklime edilmiş olması nedeniyle, böyle bir kabulün rahatlıkla geçerli olduğu belirtilmektedir (Germirli ve diğerleri, 1991).

2.5.3. Partiküler Kalıcı KOI (X_I) ve Çözünmüş Kalıcı KOI (S_I)'in Doğrudan Tayin Yöntemi

2.5.3.1. X_I 'nin Doğrudan Tayini

Bölüm 2.5.2'de açıklanan yöntemler, X_I 'nin tayini için, kararlı halde işletilen laboratuvar ölçekli tam karıştırmalı aktif çamur ünitesinde elde edilen verilerin kinetik analizini yani Y_H , b ve f_E gibi kinetik sabitlerin doğru olarak saptanmasını gerektirir. Bu oldukça zor ve endüstriyel atıksular için güvenilir bir yöntem olduğundan Orhon ve diğerleri (1992a) tarafından X_I 'nin deneysel olarak doğrudan tayinine imkan veren yeni bir prosedür önerilmiştir. Bu yöntemde, biri filtre edilmemiş (C_{TO}), diğeri filtre edilmiş (S_{TO}) atıksu, iki ayrı laboratuvar ölçekli aktif çamur reaktörlerinde; aynı numuneye aklime edilmiş az bir miktar aşı mikroorganizma ilavesi ile kesikli olarak çalıştırılır ve biyolojik aktivitenin tamamlandığı bir periyoda kadar toplam ve çözünmüş KOI (C_{TO} ve S_{TO}) nin başlangıç ve son değerleri ölçülür. KOI konsantrasyonları arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde X_I 'nin doğrudan tayinine imkan verir (Germirli ve diğerleri, 1992):

C_{TO} ile beslenen birinci reaktörde girişte:

$$C_{TO} = S_{TO} + X_{SO} + S_I + X_I = C_{SO} + S_I + X_I \quad (2.8)$$

ve deneyin sonunda S_S , X_H ve $X_S \approx 0$ olduğu kabulü ile;

$$C_{T1} = S_{P1} + S_I + X_{P1} + X_I \quad (2.9)$$

$$S_{T1} = S_{P1} + S_I \quad (2.10)$$

Bu nedenle,

$$C_{T1} - S_{T1} = X_{P1} + X_I \quad (2.11)$$

ve giderilen toplam KOI miktarı;

$$\Delta C_{T1} = C_{TO} - C_{T1} = C_{SO} - S_{P1} - X_{P1} \quad (2.12)$$

X_P ve S_P 'yi, C_{SO} 'ın sabit bir kısmı olarak ifade etmek mümkündür (Orhon ve diğerleri, 1992b):

$$X_{P1} = Y_{XP} C_{SO} \quad (2.13)$$

$$S_{P1} = Y_{SP} C_{SO} \quad (2.14)$$

$$\Delta C_{T1} = (1 - Y_{XP} - Y_{SP}) C_{SO} \quad (2.15)$$

Benzer şekilde S_{TO} ile beslenen ikinci reaktörde girişte:

$$S_{TO} = S_{SO} + S_I \quad (2.16)$$

Son değerlerin ölçülmesiyle,

$$C_{T2} = S_{P2} + S_I + X_{P2} \quad (2.17)$$

$$S_{T2} = S_{P2} + S_I \quad (2.18)$$

Yukarda ölçülen KOI değerleri kullanılarak,

$$C_{T2} - S_{T2} = X_{P2} \quad (2.19)$$

$$\Delta C_{T2} = S_{TO} - C_{T2} = S_{SO} - S_{P2} - X_{P2} \quad (2.20)$$

Birinci reaktörde olduğu gibi,

$$X_{P2} = Y_{XP} S_{SO} \quad (2.21)$$

$$S_{P2} = Y_{SP} S_{SO} \quad (2.22)$$

ve

$$\Delta C_{T2} = (1 - Y_{XP} - Y_{SP}) S_{SO} \quad (2.23)$$

X_{P2} deneylerde doğrudan ölçülür. (2.13) ve (2.21) ifadeleri birleştirilerek,

$$X_{P1} = X_{P2} (C_{SO} / S_{SO}) \quad (2.24)$$

(2.15) ve (2.23) ifadelerinin birleştirilmeleri, C_{SO} / S_{SO} 'ın yerine $\Delta C_{T1} / \Delta C_{T2}$ oranının kullanılmasına olanak verir. Bu nedenle,

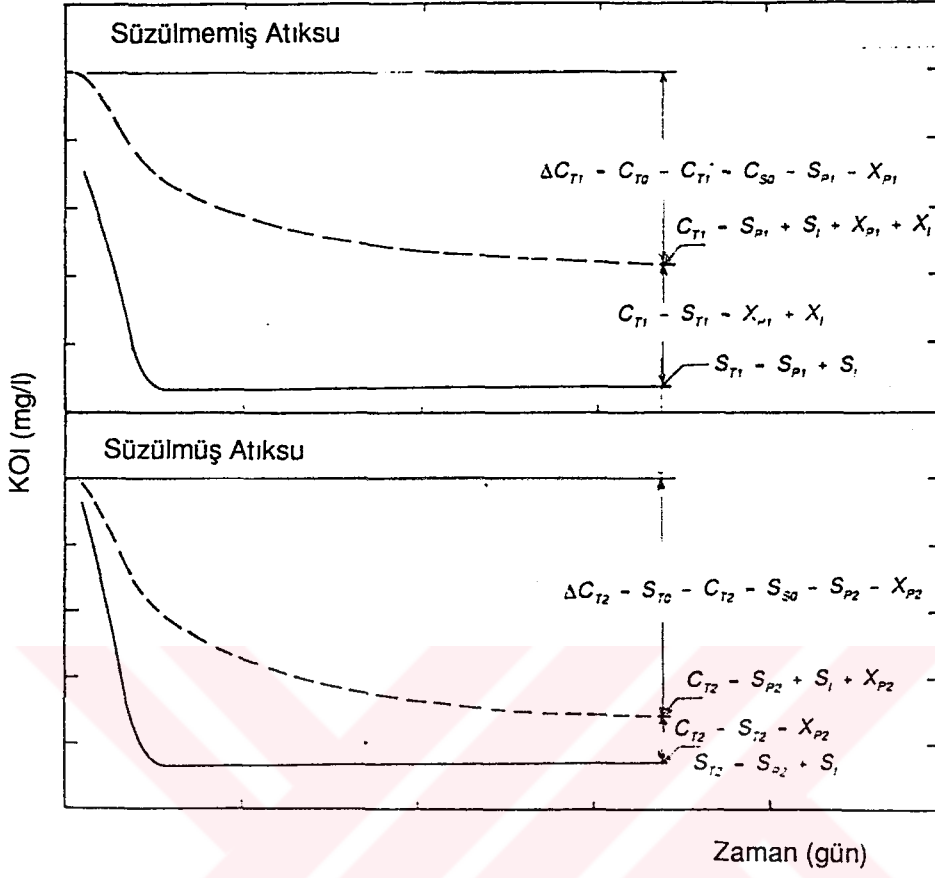
$$X_{P1} = X_{P2} (\Delta C_{T1} / \Delta C_{T2}) \quad (2.25)$$

(2.11) ifadesinde X_I yerine yerleştirilirse,

$$X_I = C_{T1} - S_{T1} - X_{P1} \quad (2.26)$$

$$X_I = C_{T1} - S_{T1} - (C_{T2} - S_{T2}) (\Delta C_{T1} / \Delta C_{T2}) \quad (2.27)$$

Şekil 2-6'da bu yöntemin grafiksel yorumu görülmektedir.



Şekil 2-6. X_1 'nin Deneysel Tayini

2.5.3.2. S_1 ve S_P 'nin Tayini

Bu yöntem test edilen atıksudaki S_1 değerini elde etmemede de kullanılır.

$$S_{T1} - S_{T2} = S_{P1} - S_{P2} \quad (2.28)$$

$$\frac{S_{P1}}{S_{P2}} = \frac{\Delta C_{T1}}{\Delta C_{T2}} \quad (2.29)$$

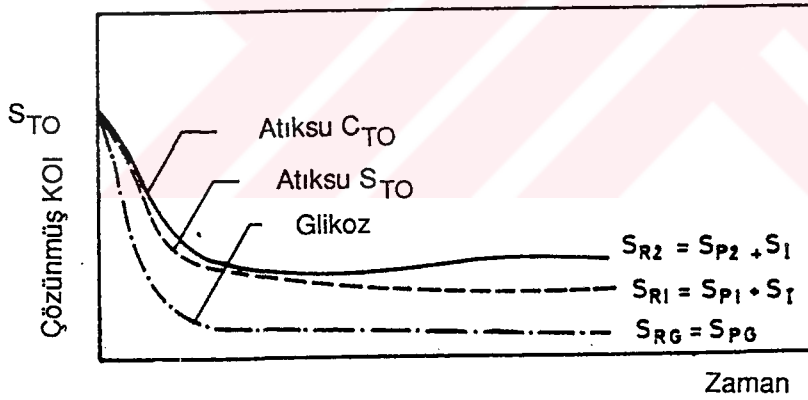
$$S_{P1} = \frac{S_{T1} - S_{T2}}{\left(1 - \frac{\Delta C_{T2}}{\Delta C_{T1}}\right)} \quad (2.30)$$

$$S_I = S_{T1} - \frac{S_{T1} - S_{T2}}{\left(1 - \frac{\Delta C_{T1}}{\Delta C_{T2}}\right)} \quad (2.31)$$

Bu yöntem, partikül KOI değeri makul ölçüde büyük atıksu numuneleri için kullanılabilir. Partikül KOI değeri çok küçük veya pratik olarak ihmal edilebilirse, $S_{T1} \approx S_{T2}$ olacağından, bu yöntem uygulanamaz. Bu durumda ikisi atıksu, biri glikoz olmak üzere üç tane kesikli reaktörle çalışılır. Atıksu reaktörlerinden biri toplam KOI, C_{TO} ; ikincisi toplam çözünmüş KOI, S_{TO} ve üçüncüsü de KOI'si S_{TO} 'a göre ayarlanmış glikozla teşkil edilir. Çözünmüş KOI'deki değişimler izlenerek biyolojik olarak ayrışabilir KOI'nin tükendiği zamana kadar deneye devam edilir. Şekil 2-7'de görüleceği gibi, glikoz reaktöründeki çözünmüş KOI (glikoz saf bir bileşik olarak girişte kalıcı kısım içermediğinden) S_{PG} gibi bir değere ulaşılır. S_{TO} ile başlatılan reaktörde S_I ve S_{P1} 'in toplamına eşit olan bir S_{R1} değerine ulaşıldığından S_I aşağıdaki şekilde hesaplanır (Orhon ve diğerleri, 1992):

$$S_I = S_{R1} - S_{PG} \quad (2.32)$$

Burada $(S_P)_{atıksu} = (S_P)_{glikoz}$ kabulü yapılmıştır.



Şekil 2-7. X_I 'nin belirlenmesi

Y_I gibi bir katsayı ile S_{TO} ve S_I arasında bir ilişki kurulabilir.

$$Y_I = \frac{S_I}{S_{SO}} \quad (2.33)$$

$$Y_P = \frac{S_{R1} - S_I}{S_{TO} - S_I} = \frac{S_{P1}}{S_{SO}} \quad (2.34)$$

$$S_{P2} = S_{R2} - S_I \quad (2.35)$$

$$C_{SO} = (S_{P2} / S_{P1}) \cdot S_{SO} \quad (2.36)$$

$$X_I = C_{TO} - C_{SO} - S_I \quad (2.37)$$

hesaplanır.

BÖLÜM 3. ÇÖZÜNMÜŞ KALICI KOI ÖLÇÜMÜ KONUSUNDA DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Gaudy ve Blachly (1985) artık KOI'nın biyolojik arıtılabilirliği üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Artık KOI'nın yapısını ve uzun bir süre içindeki değişimini saptamak için, kesikli bir reaktör hergün glikozla beslenmiş, biyokitle ve KOI'nın zamanla değişimi izlenmiştir. Bunu uygularken, artık KOI ve biyokitle kaybını engellemek için tamamen kapalı bir sistem kullanılmıştır. Biyokimyasal olayları izlemek ve artık KOI'yi saptamak için analizlerde az miktarda numune kullanılmıştır.

Çalışmanın dayandığı temel prensip şudur: Aklime edilmiş aşırı ilaveli ve havalandırılmalı kesikli veya sürekli bir sistem, 1000 mg/l glikoz (1060 mg/l KOI) gibi biyolojik olarak kolay ayrışabilen bir substratla beslendiğinde, ulaşılabilen en düşük artık çözünmüş KOI 30 ila 50 mg/l arasındadır. Bu düşünceden yola çıkarak, hergün 1000 mg/l glikozla beslemeden meydana gelen çözünmüş artık KOI 30 ila 50 mg/l olursa, artık KOI'nın biyolojik olarak ayrıştırılamayacağı düşünülecekti. Daha hızlı bir artık çözünmüş KOI birikimi, son ürünlerin KOI giderimine ve metabolizmaya engelleyici etkisinin olabileceğini gösterecekti. Oysaki, beklenenden daha az bir KOI birikimi gözlenirse, artığın bir kısmının veya tamamının mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak giderilebildiğini kanıtlayacaktı.

Bu amaçla 10 lt hacimli kesikli reaktör kullanılmıştır. Yeterli karışımı sağlamak ve minimum 4.0 mg/l çözünmüş oksijen temin edilebilecek şekilde seramik difüzörlerle hava verilmiştir. Sıcaklık kontrol edilmemesine rağmen, 2 yıl süreyle $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 'de kalmıştır. pH 6,5-7.2 arasında tutulmuştur. Reaktörlerin besleme şekli Tablo 3-1'de verilmektedir. Çeşitli zamanlarda UAKM, çözünmüş KOI ve diğer analizler için 15 ml numune alınmıştır.

Sistemin verimini saptamak için rutin olarak süzölmüş ve toplam KOI, süzölmüş karbondioksit konsantrasyonu ve biyokitle konsantrasyonu analizleri yapılmıştır. Çözünmüş oksijen, pH ve sıcaklık sık sık ölçülmüştür.

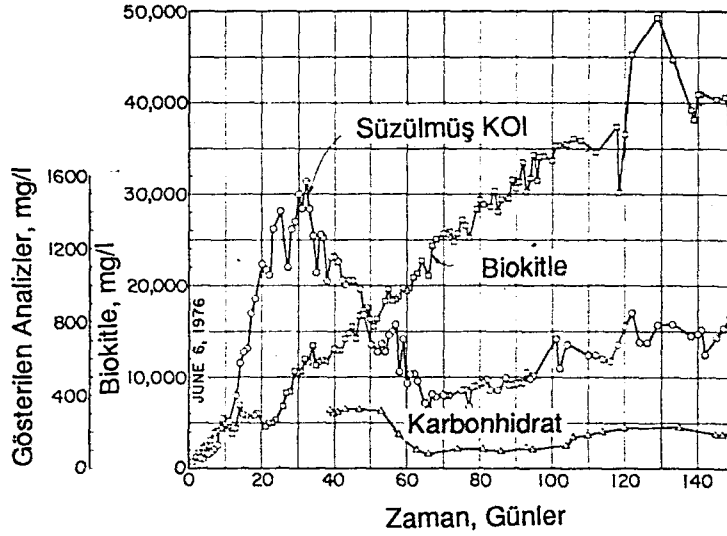
Tablo 3-1. Kesikli Reaktöre Havalandırma Hacmi Başına Eklenen Besleyici (nütrient) Miktarları (Gaudy ve Blachly, 1985)

Glikoz	1000 mg
(NH ₄) ₂ SO ₄	500 mg
MgSO ₄ 7 H ₂ O	100 mg
CaCl ₂	5.0 mg
MnSO ₄ H ₂ O	10 mg
FeCl ₃ 6H ₂ O	0.5 mg
1M fosfat tampon, pH = 7.2	5 ml
Distile su	Hacmi tamamlamak için

1-143. günlerde yukardaki miktarlar hergün eklendi.
144-363. günlerde sadece glikoz ve amonyum sülfat hergün eklendi.
364-613. günlerde sadece glikoz hergün eklendi.

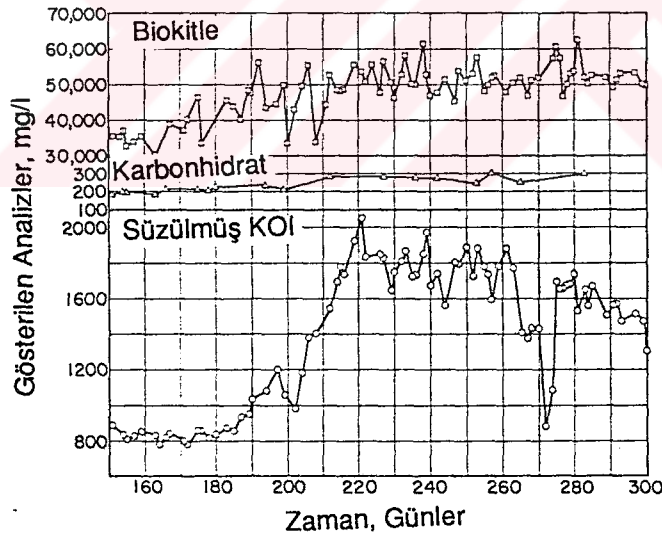
Deneysel çalışmalar 613 gün süreyle yürütülmüştür. Biyokitle ve KOI değişimi Şekil 3-1 ve 3-4'de verilmektedir. Şekil 3-1'de ilk 32 gün boyunca artık KOI birikmesi 1570 mg/l olup yaklaşık olarak beklenen değere yakındır. Biyokitle tarafından metabolize edildiği düşünülmezse, bu değer başta yapılan kabule göre, $32 \times 50 = 1600$ mg/l civarında olması bekleniyordu. Daha sonraki günler çözünmüş KOI azalmış ve 66. günde 324 mg/l değerine ulaşmıştır. Bu süre içinde reaktör toplam 69960 mg/l KOI (1060×66) ile beslenmiştir. Beslemeye göre giderme verimi % 99.5 bulunmuştur. Günlük artık KOI 50 mg/l ve biriken atığın metabolize olmadığı düşünülecek olursa bu değer 3300 mg/l olmalıydı (50×66). Günlük 50 mg/l artık oluştuğu düşünülürse % 90, günlük 30 mg/l artık oluştuğu düşünülürse % 84 artık KOI giderme verimi sağlanmıştır.

İlk 100 günde biyokitle konsantrasyonu düzenli olarak artmıştır. Glikoz için gerçek biyokitle dönüşümü, Y_t 'nin % 40 ile % 60 arasında değiştiği; içsel solunum meydana gelmediği düşünülürse, beklenen biyokitle konsantrasyonu yaklaşık olarak 42000 ile 64000 mg/l'dir. Bu andaki gözlenen biyokitle konsantrasyonu (toplam askıda katı madde) 35000 mg/l bulunmuştur. Bu da ilk 100 günde bir miktar içsel solunum meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 3-1. İnorganik Tuzlar ve 1000 mg/l Glikoz/gün (Çamur atmadan) Beslenen Havalandırılmalı Kesikli Reaktördeki 1-150 Günler Arasındaki Biyokitle, Çözünmüş KOI ve Çözünmüş Karbonhidrat Konsantrasyonları

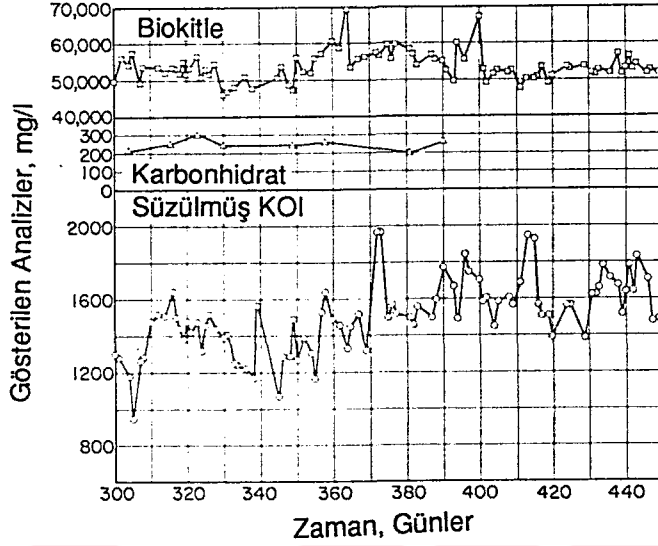
110 ve 140 günleri arasında, AKM için kaydedilen değerlerde açıklanamayan bir durum olmuş fakat 140 ve 160 günleri arasında biyokitle konsantrasyonu 35000 ile 40000 mg/l arasında kalmıştır.



Şekil 3-2. İnorganik Tuzlar ve 1000 mg/l Glikoz/gün (Çamur atmadan) Beslenen Havalandırılmalı Kesikli Reaktördeki 151-300 Günler Arasındaki Biyokitle, Çözünmüş KOI ve Çözünmüş Karbonhidrat Konsantrasyonları

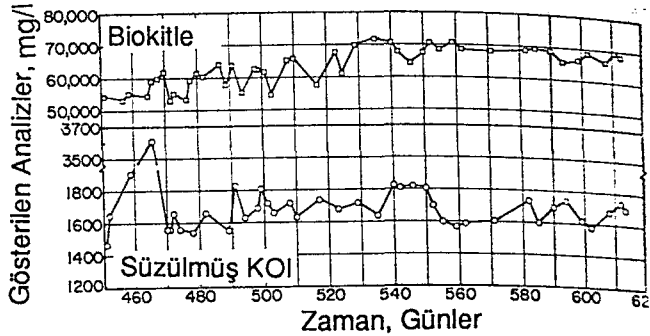
63. günde atığın rengi değişmeye başlamıştır. 70. güne kadar renk açık kahverengiden koyu kahverengiye dönmüş ve deneyin sonuna kadar aynı renkte kalmıştır. 215. güne kadar, biyokitle konsantrasyonu yaklaşık 50000 mg/l'ye yükselip geri kalan 135 günde hemen hemen aynı kalmıştır. Artık KOI 180-272 günleri arasında

azalmıştır (800'den 2000'e, 2000'den 900'e). Sonra hayli artmış ve ortalama 1300 mg/l seviyesine ulaşmıştır. Biyokitle konsantrasyonu 50000 ile 60000 arasında kalmış, yavaş yavaş 70000 mg/l'ye yükselmiştir.



Şekil 3-3. İnorganik Tuzlar ve 1000 mg/l Glikoz/gün Beslenen Havalandırılmalı Kesikli Reaktördeki 300-450 Günler Arasındaki Biyokitle, Çözünmüş KOI ve Çözünmüş Karbonhidrat Konsantrasyonları

466. günde kaydedilen en yüksek KOI değeri, difüzördeki tıkanmadan dolayı çözünmüş oksijendeki azalmadan kaynaklanmış, difüzörler değiştirildiğinde 1600-1700 mg/l seviyesine düşmüştür.



Şekil 3-4. İnorganik Tuzlar ve 1000 mg/l Glikoz/gün Beslenen Havalandırılmalı Kesikli Reaktördeki 451-613 Günler Arasındaki Biyokitle, Çözünmüş KOI ve Çözünmüş Karbonhidrat Konsantrasyonları

İşletmenin son gününde (613. gün) artık çözünmüş KOI 1700 mg/l idi. Günlük 50 mg/l artık KOI oluşumu kabulüne göre hesaplanan artık $613 \times 50 = 30650$ mg/l, 30 mg/l'ye göre 18390 olması bekleniyordu. Buna göre, artık KOI giderme verimi % 94.5 ile % 90.8 arasında değişir. Toplam giderme verimi % 99.7'den biraz

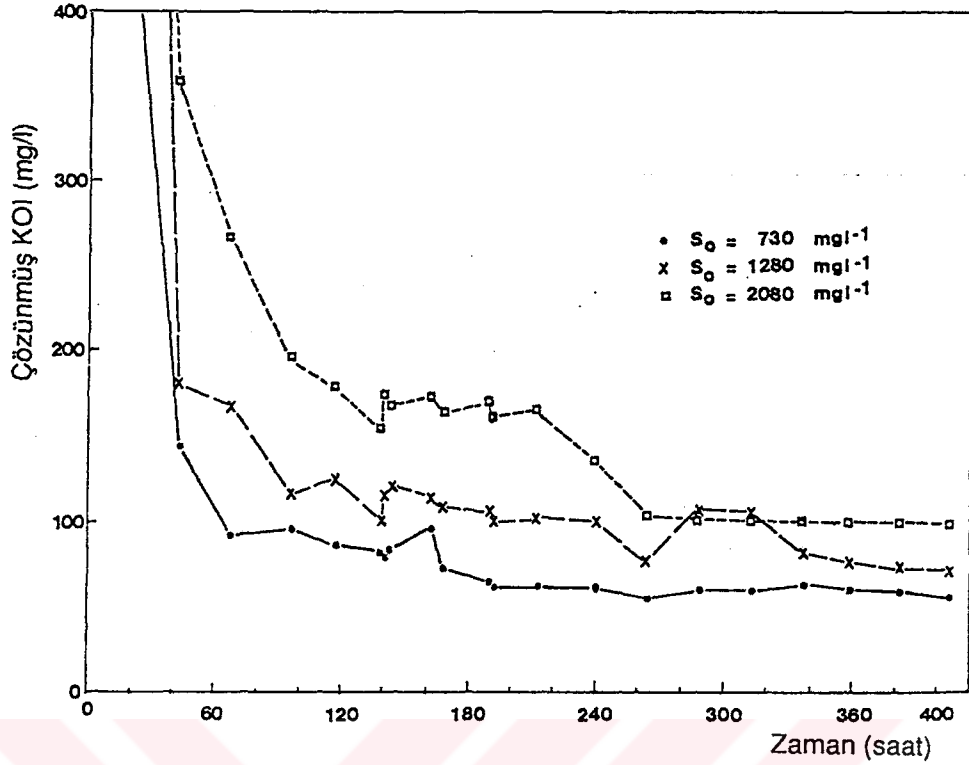
fazladır. KOI/TOK oranı 2.4 ve 3.4 arasında değişmiştir. Toplam biyokitle dönüşümü % 11'den biraz azdır ve katı maddenin yaklaşık % 25'i uçucu olmayan katı madde-dir.

Bu çalışmadan kesikli veya sürekli sistemlerde arıtılabilirlik çalışmalarında artık KOI'nin biyolojik arıtma proseslerinde biyolojik olarak ayrıştırılamayacağı sonucu çıkarılmaktadır. Fakat artık KOI'ı uzun vadede hücre içinde metabolize olabilir. Uzun vadede bu atığın % 90'dan fazlası biyolojik metabolizmaya dönüşür.

Germirli ve diğerleri (1991) girişteki kalıcı çözünmüş KOI'yi saptamak amacıyla toplam çözünmüş KOI konsantrasyonları 1000 ile 9300 mg/l arasında değişen kağıt, mezbaha, antibiyotik, tekstil ve süt endüstrileri atıksuları üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmalarda kademeli ve karşılaştırmalı yöntemler uygulanmış ve bu iki yöntemin karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır.

Kağıt endüstrisinden alınan çözünmüş KOI'si 3340 mg/l olan kompozit bir numune kademeli yöntemle uygulanmıştır. Herbirinin havalandırma hacmi 2 lt olan beş tane kesikli reaktör kullanılmıştır. Birinci reaktör giriş çözünmüş KOI'si 730 mg/l'ye seyreltilmiş atıksu ile teşkil edilmiş; diğer reaktörlerde glikoz ilavesi ile giriş çözünmüş KOI'leri kademeli olarak 1055 mg/l, 1280 mg/l, 1580 mg/l ve 2080 mg/l'ye çıkarılmıştır. Reaktörler 15 gün süreyle % 50 atıksu + % 50 glikoz karışımına aklime edilmiş $X_O = 10$ mg/l aktif çamurla aşılacaktır. 400 saatten daha uzun bir süre boyunca çözünmüş KOI'leri izlenmiş ve uygun 3 reaktöre ait KOI profilleri Şekil 3-5'de verilmiştir.

KOI profilleri benzer eğilimler göstermiş olup önce bir ilk minimum değere ulaşmış sonra az bir artış gösterip ilk minimumdan daha düşük bir nihai platoya ulaşmıştır. Deney sonucunda elde edilen ilk min ve nihai çözünmüş KOI değerleri Tablo 3-2'de verilmiştir. Beş reaktör için ilk minimum ve nihai çözünmüş KOI değerleri ile giriş çözünmüş KOI'ler arasında çizilen doğrunun eksenini kestiği noktalar S_1 değerleri olarak bulunmuştur. Buna göre, nihai KOI değerleri için S_1 konsantrasyonu 30 mg/l, ilk minimum KOI değerleri için 43 mg/l bulunmuştur.



Şekil 3-5. Kağıt Endüstrisi Atıksuları için KOI Profilleri

Tablo 3-2. Kağıt Endüstrisi İçin Kademeli Yöntemle Elde Edilen İlk Minimum ve Nihai KOI Değerleri (Germirli ve diğerleri, 1991).

Reaktör No	Giriş Çözünmüş KOI, mg/l	İlk Minimum Çözünmüş KOI, mg/l	Nihai Çözünmüş KOI, mg/l
1	730	79	55
2	1055	106	63
3	1280	117	72
4	1580	142	90
5	2080	156	97

Mezbaha, antibiyotik, tekstil ve süt endüstrisi atıksuları için karşılaştırmalı yöntem kullanılmıştır.

Çözünmüş KOI'si 1990 mg/l olan mezbaha atıksuları için 940 ve 370 mg/l'lik iki farklı seyrelme 190 saat süreyle izlenmiştir. Birinci seyrelme için S_1 değeri 54 mg/l, ikinci seyrelme için 20 mg/l; benzer şekilde S_1/S_0 oranları sırasıyla 0.057 ve 0.053 olarak bulunmuştur.

Çözünmüş KOI'si 9300 mg/l olan antibiyotik endüstrisi atıksuları kuvvetli atıklara tipik bir örnektir. Deneyde, çözünmüş KOI'si 830 ve 3100 mg/l olan iki farklı seyrelme

460 saat süreyle izlenmiştir. Sonuçta S_1 değeri birinci seyrelme için 240 mg/l, ikincisi için 800 mg/l olarak bulunmuştur. Benzer şekilde S_1/S_0 oranları sırasıyla 0.29 ve 0.26 olarak hesaplanmıştır. Bu oranın büyük olması bu gibi atıkların biyolojik olarak ayrıştırılabilirliğinde karşılaşılan zorlukları göstermektedir.

Çözünmüş KOI'si 1000 mg/l olan tekstil endüstrisi atıksuları, birincisi seyreltme yapılmadan, diğerini 460 mg/l'ye seyrelterek 190 saat süreyle izlenmiştir. İkinci seyreltme için S_1 değeri 88 mg/l, S_1/S_0 oranı ise 0.19 olarak bulunmuştur. Seyreltme yapmadan başlatılan ilk reaktörde S_1/S_0 oranı 0.115 olarak bulunmuştur. Bu reaktörde, substrat inhibisyon ve aklimasyon problemlerinden dolayı 190 saat sonunda glikozun biyolojik ayrışabilirliğinin tamamlanmadığı görülmüştür. Bu nedenle yüksek KOI konsantrasyonlarında elde edilen deneysel sonuçların daha dikkatli analiz edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Çözünmüş KOI'si 1570 mg/l olan süt endüstrisi atıksuları için 1190 ve 590 mg/l'lik seyrelmeler 240 saat süreyle izlenmiş ve iki seyrelmede de glikoz ve süt atıksularının KOI profillerinin çakıştığı görülmüştür. Bu nedenle süt endüstrisi atıksularında çözünmüş kalıcı KOI ölçülememiştir.

Bu çalışma sonunda elde edilen deneysel sonuçlar Tablo 3-3'de özetlenmiştir.

Tablo 3-3. Endüstriyel Atıksuların Kalıcı Çözünmüş KOI'leri

Kategori	Çözünmüş KOI S_0 , mg/l	Kalıcı Çözünmüş KOI S_1 , mg/l	S_1 / S_0
Kağıt	3340	196	0.059
Mezbaha	1990	110	0.055
Antibiyotik	9300	2500*	0.27
Tekstil	1000	190	0.19
Süt	1570	0	-

* Aklimasyon problemlerinden dolayı çok yüksek

Atıksularda çözünmüş kalıcı KOI içeriğinin saptanması için, kalıcı çözünmüş metabolik ürün girişimini tanımlayıp, minimize ederek deneysel yöntemler geliştirilmesini amaçlayan Germirli ve diğerleri (1991) aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır:

- Atıksuların inert çözünmüş KOI fraksiyonlarının belirlenmesi için önerilen iki farklı metod, endüstriyel atıksu karakterizasyonuna inert çözünmüş substrat kavramını getirmiştir.
- Kesikli deneylerden elde edilen çözünmüş KOI profilleri çözünmüş metabolik

ürün oluşumu nedeniyle salınımlar göstermekte ve literatürde belirtilen çözünmüş inert KOI fraksiyonlarının zamandan bağımsız olarak saptanmasının hatalara yol açacağını göstermektedir. Çünkü zamanla ölçülen çözünmüş KOI konsantrasyonları önemli ölçüde değişime uğramaktadır.

- İzlenen KOI profillerinde en az iki minimum KOI değerine ulaşılmaktadır. İlk minimum değeri, çözünmüş metabolik ürün girişi nedeniyle değişken yapıya sahiptir. Atıksuların nihai KOI değerlerinin, ilk minimum KOI değerlerinden daha düşük olması, metabolik ürünlerin büyük bir kısmının daha uzun reaksiyon sürelerinde ayrışabilir karakterde olabilecekleri ihtimali ile açıklanabilir. Bu aynı zamanda, kademeli metoddan ilk minimum değerlerle bulunan S_I konsantrasyonunun, nihai değerlerle bulunana göre daha yüksek olmasını da açıklar; ilk minimumdan elde edilen S_I değerinin içinde kesikli reaksiyon sürdükçe ayrışabilir nitelik kazanacak olan metabolik ürünlerin bulunabileceğini göstermektedir.
- Karşılaştırmalı metod, kademeli metoda göre daha kolay deneysel prosedür içerir, ancak yüksek KOI konsantrasyonlarında aklimasyon ve substrat inhibisyonu problemlerinden dolayı daha hatalı sonuçlar verebilir.
- Aynı atıksu numunesi üzerinde denenen her iki metoddan elde edilen sonuçların birbirine yakın olması önerilen metodların tutarlılığını göstermektedir.
- Bu çalışmada, ayrıca, farklı giriş konsantrasyonlarında kesikli reaktörlere beslenen glikozun ayrışması sırasında sisteme salınan metabolik ürünlerden kaynaklanan ilgi çekici veriler elde edilmiştir. Söz konusu verilerin belirli bir eğilim göstermemesi metabolik ürünlerin yapı ve üretimlerinin, çalışmada tamamı ile değişik karakterde endüstriyel atıksulara aktime edilmiş, dolayısı ile birbirinden farklı, mikroorganizma kültürleri tarafından yönlendirildiği sonucunu getirmektedir.

Orhon ve diğerleri (1992) artık KOI'nin tekstil atıksularının biyolojik arıtılabilirliğine etkilerini incelemişlerdir. Deneyler örgü ve dokunmuş kumaş terbiye işlemlerine ait 3 farklı tekstil atıksuyu ile yürütülmüştür. Bu atıksuların karakteristikleri Tablo 3-4'de verilmiştir.

1. ve 2. tesislerin atıksularında çözünmüş inert KOI, S_I ve çözünmüş artık mikrobiyal ürünler, S_p hesaplanmıştır. 3. tesiste partiküler KOI atıksuyun toplam KOI'sinin hemen hemen % 45'ini teşkil ettiğinden çözünmüş artık bileşiklerin yanında partiküler inert KOI de hesaplanmıştır.

1. ve 2. tesislerde çözünmüş ürünlerin saptanması için karşılaştırmalı yöntem kullanılmıştır.

Tablo 3-4. Arıtılabilirlik Çalışmasında Kullanılan Tekstil Atıksularının Karakteristikleri
(Orhon ve diğerleri, 1992)

Parametre	Tesis No:1 (Dokunmuş Kumaş)	Tesis No:2 (Örgü Kumaş)	Tesis No:3 (Örgü Kumaş)
Toplam KOI, C_{TO}	1240	885	981
Çözünmüş KOI, S_{TO}	1176	800	535
Çözünmüş BOI_5	680	422	170
TKN	144	23	40
Toplam P	2.2	16	14
pH	12.2	7.2	7.85

1 No.lu tesisde çözünmüş KOI'si 1176 mg/l ve glikozun KOI'si 1254 mg/l olan sistemler 516 saat süreyle izlenmiştir. Deney sonunda ulaşılabilen minimum çözünmüş KOI atıksu için 139 mg/l, glikoz için 55 mg/l olarak bulunmuştur. Buradan $S_f = 90$ g/l, $S_p = 48$ mg/l olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre, Y_l ve Y_p stokiyometrik katsayıları sırasıyla 0.076 ve 0.044'dür.

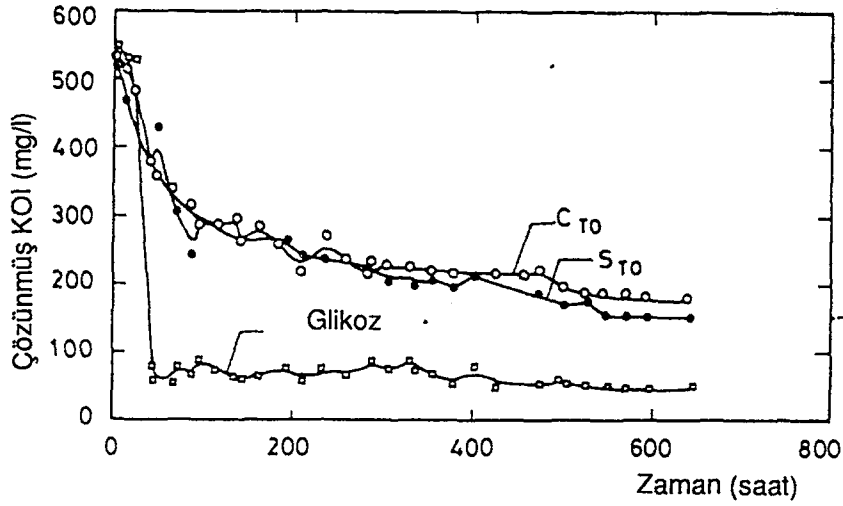
Aynı yöntemle 2 no.lu tesiste yapılan deneyler 427 saat süreyle çözünmüş KOI'si 800 mg/l olan reaktörlerde yürütülmüş, minimum çözünmüş KOI konsantrasyonları atıksu için 120 mg/l, glikoz için 40 mg/l olarak bulunmuştur. $S_l = 88$ mg/l, $S_p = 32$ mg/l, $Y_l = 0.11$ ve $Y_p = 0.04$ olarak hesaplanmıştır.

3. no.lu tesiste partiküler KOI toplam KOI'nin % 45'ini oluşturduğundan 3. yöntem kullanılmıştır. Üç kesikli reaktörde yürütülen deneylerin sonuçları Şekil 3-6'da verilmiştir. Toplam KOI, C_{TO} ile başlatılan reaktörde ulaşılan minimum artık KOI seviyesi, $S_{R2} = 187$ mg/l civarındadır. S_{SO} , S_l ve S_{p1} sırasıyla 418 mg/l, 117 mg/l ve 37 mg/l olarak bulunmuştur. Buradan,

$$S_{p2} = 187 - 117 = 70 \text{ mg/l}$$

$$C_{SO} = (70/37) \cdot 418 = 791 \text{ mg/l}$$

$$X_l = 981 - 791 - 117 = 73 \text{ mg/l olarak hesaplanmıştır.}$$



Şekil 3-6. 3 No.lu Tesisin Çıkışında Artık Partiküler KOI'nin Saptanması

Biyolojik Arıtılabilirlik Deneyleri

KOI bileşenlerinin saptanmasına yönelik yukarıda anlatılan deneysel çalışmalara paralel olarak, benzer havalandırmalı kesikli reaktörler kullanılarak 1 ve 2 no.lu tesislerden alınan numunelerle bir seri biyolojik arıtılabilirlik deneyi gerçekleştirilmiştir. Reaktörler organik yükleme hızlarıyla karakterize edilen işletme ve kararlı denge haline ulaşmak için en az ardışık 5 gün doldur-boşalt (fill and draw) sistemiyle hergün beslenmiştir. Sonuçta, çıkış KOI'si ve buna bağlı organik yükleme hızı arasında amprik bir bağıntı oluşturmak için gözlenen deneysel sonuçlar kullanılmıştır. Sonuçlar daha önceki deneylerde elde edilen bulgularla beraber Tablo 3-5'de verilmiştir. İki farklı deneydeki bulguların karşılaştırmalı değerlendirmesi, çıkış çözünmüş KOI'yi çözünmüş artık bileşen değerlerinin altına düşürmenin mümkün olmadığını göstermiştir.

Orhon ve diğerleri (1992) aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır:

- Çalışmada incelenen üç tekstil endüstrisi atıksuları için, konsantrasyonları 88-117 mg/l arasında değişen çözünmüş inert KOI, S_i'nin atıksuyun organik muhtevasının önemli bir kısmını oluşturduğu bulunmuştur.
- Partiküler inert KOI'nin deneysel olarak saptanması için yeni bir metod tanımlanmış ve 3 no.lu tesiste test edilmiştir. Sonuçlar, girişteki partiküler KOI'nin % 16'sının biyolojik olarak ayrışmadığını göstermiştir.

Tablo 3-5. Biyolojik Arıtılabilirlik Deneyleri Sonuçları (Orhon ve diğerleri, 1992)

Biyolojik Arıtılabilirlik Sonuçları				Artık Bileşenler			
Organik yükleme grKOI/grAKM gün	Giriş KOI mg/l	Çıkış KOI		Giriş KOI mg/l	S _I mg/l	S _P mg/l	S _R mg/l
		Çözünmüş mg/l	Toplam mg/l				
Tesis No:1				1176	90	48	138
0.20	1240	144	-				
0.30	1240	152	230				
0.40	1240	154	220				
Tesis No:2				800	88	32	120
0.20	930	133	138				
0.27	930	129	177				
0.41	930	138	191				
0.41	1140	148	190				
0.52	1140	175	210				
0.87	680	178	336				
1.08	680	195	370				
1.15	875	252	413				
1.26	765	243	380				
1.43	875	266	509				

- Artık KOI deneylerinin ve biyolojik arıtılabilirlik çalışmalarının sonuçları arasında mükemmel bir uyum gözlenmiştir. Bu da çıkış suyu KOI'sini düşük organik yüklemelerde bile toplam artık KOI olarak tanımlanan değerlerin altına düşürülebileceğini göstermiştir.

Germirli ve diğerleri (1992) iki kademeli biyolojik arıtmanın kuvvetli endüstriyel atıksuların biyolojik arıtılabilirliğine etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla karakterizasyonları Tablo 3-6'da verilen peynir altı ve sitrik asit atıksuları incelenmiştir.

Tablo 3-6. Peynir Altı ve Sitrik Asit Atıksularının Karakterizasyonu (Germirli ve diğerleri, 1992)

Parametre	Peynir Altı	Sitrik Asit
Top. KOI	60000	31030
Çöz.KOI	60000	29262
AKM	0	1695
UAKM	0	1515
TKN	1300	700
Top. P	360	-
pH	-	6.1

Bu çalışmada seçilen atıksuların partiküler KOI'leri ya sıfır ya da ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Atıksular öncelikle anaerobik arıtmaya tabi tutulmuştur.

Peynir altı atıksuları laboratuvar ölçekli anaerobik arıtmaya verilmiştir. Anaerobik arıtma çıkışında toplam KOI 2750 mg/l, çözünmüş KOI 1010 mg/l ve TKN = 0 mg/l bulunmuştur.

Sitrik asit atıksuları kurulu bir anaerobik arıtma sisteminde arıtılmıştır. Sistemin çıkışında toplam KOI 3330 mg/l, çözünmüş KOI 2395 mg/l, AKM 1215 mg/l, UAKM 1100 mg/l, pH = 8.1, TKN 1395 mg/l bulunmuştur.

Bu çalışmada kullanılan numuneler yukarıda açıklanan iki sistemin giriş ve çıkışından alınmıştır.

Peynir altı atıksuları hemen hemen çözünmüş yapıda olduğundan anaerobik arıtma girişinde artık KOI bileşenlerini belirlemek için karşılaştırmalı yöntem kullanılmıştır. Reaktörlerden biri 9420 mg/l'ye seyreltilmiş atıksu diğeri hemen hemen aynı konsantrasyonda glikozla beslenerek 380 saat süreyle izlenmişlerdir. Deneyin son 120 saatinde her iki reaktörde de 258 ± 2 mg/l civarında KOI değerine ulaşmışlardır. Bu da peynir altı atıksularının inert çözünmüş KOI, S_I içermediğini göstermektedir. Bu nedenle, % 50 atıksu + % 50 glikoz karışımına aklime edilen biyokitle ile aşılana atıksu ve glikoz numunelerinin aynı Y_{SP} katsayısına sahip olmaları bu yöntem için yapılan kabullerin doğruluğunu kanıtlar. Bu katsayı 0.027 ve artık çözünmüş mikrobiyol ürün konsantrasyonu, S_P seyreltilmemiş numunede 1640 mg/l olarak hesaplanır.

Benzer bir test, bu kez anaerobik arıtma çıkışı atıksuya X_I ve S_I 'nin doğrudan saptanmasını sağlayan 3. yöntem kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 3-7 ve değerlendirmeli sonuçlar Tablo 3-9'da verilmiştir.

Girişteki çözünmüş KOI 1020 mg/l olup deneyin sonunda 391 mg/l'si biyolojik olarak ayırışmadan kalır. Bunun 256 mg/l'si S_I , 135 mg/l'si S_P 'dir.

Anaerobik arıtmaya girmeden önce karşılaştırmalı metodla bulunan artık ürün KOI, $S_P = 1640$ mg/l iken, anaerobik arıtma çıkışında yapılan deneylerde $S_I = 256$ mg/l ve $S_P = 135$ mg/l bulunmuştur.

Sitrik asit atıksuları 29300 mg/l çözünmüş KOI ile hemen hemen çözünmüş yapıda olduğundan, aynı prosedür buna da uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 3-8 ve değerlendirmeli sonuçlar Tablo 3-9'da verilmiştir.

Tablo 3-7. Peynir Altı Anaerobik Arıtma Çıkışı Atıksularının Artık KOI Deneyleri Sonuçları (Germirli ve diğerleri, 1992)

Zaman	Reaktör 1 Atıksu ile beslenmiş (KOI, mg/l)		Reaktör 2 Süzülmüş Atıksu ile Beslenmiş (KOI, mg/l)	
	C_T	S_T	C_T	S_T
Deneyin Başında	2761	1020	1024	1013
Deneyin Sonunda	1397	391	596	297
Süre	352	352	305	305

Tablo 3-8. Sitrik Asit Anaerobik Arıtma Çıkışı Atıksuların Artık KOI Deneyleri Sonuçları (Germirli ve diğerleri, 1992).

Zaman	Reaktör 1 Atıksu (KOI, mg/l)		Reaktör 2 Süzülmüş Atıksu (KOI mg/l)	
	C_T	S_T	C_T	S_T
Deneyin Başında	2945	2025	2225	2215
Deneyin Sonunda	1725	1208	1315	1102
Süre	672	672	672	672

Tablo 3-9. Artık KOI Deneylerinin Değerlendirilmesi (Germirli ve diğerleri, 1992)

Parametre	Anaerobik Arıtma Çıkışı Peynir Altı Atıksuyu	Anaerobik Arıtma Çıkışı Sitrik Asit Atıksuyu
$C_{T1} - S_{T1} = X_{P1} + X_I$	1006	517
$C_{T2} - S_{T2} = X_{P2}$	299	213
$\Delta C_{T1} = C_{T0} - C_{T1}$	1364	1220
$\Delta C_{T2} = S_{T0} - C_{T2}$	417	900
$X_{P1} = X_{P2} (\Delta C_{T1} / \Delta C_{T2})$	978	289
$X_I = (C_{T1} - S_{T1}) - X_{P1}$	28	228
$S_{T1} - S_{T2} = S_{P1} - S_{P2}$	94	106
$S_{P2} = (S_{T1} - S_{T2}) / [1 - \Delta C_{T2} / \Delta C_{T1}]$	135	404
$S_I = S_{T1} - S_{P2}$	256	804

Her iki atıksu ile yapılan deneyler göstermiştir ki; birinci kademe anaerobik arıtma + aerobik arıtma ile elde edilen artık KOI seviyesi, tek kademeli aerobik arıtma ile elde edilenden daha düşüktür. Bu anaerobik arıtma süresince artık metabolik ürünlerin üretiminin çok daha düşük olmasıyla ya da birinci faz için biyolojik olarak ayrıştırılamayan kısmın sonraki fazda beslenen farklı mikrobiyal topluluk için biyolojik olarak ayrıştırılabilir hale gelmesiyle açıklanabilir.

BÖLÜM 4. MATERYAL, METOD VE DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

4.1. FERMENTASYON ENDÜSTRİSİNİN TANITILMASI

Ekmek mayası aerobik şartlarda fermentasyon ile çoğaltılmak suretiyle elde edilmektedir. Ülkemizde ekmek mayası üretiminde kullanılan ana hammadde takriben % 50 nisbetinde şeker ihtiva eden ve şeker endüstrisinin bir yan ürünü veya atık maddesi durumundaki şeker pancarı melasıdır. Maya üretimi başlıca melas hazırlama, fermentasyon, maya ayırma ve maya sütü biriktirme, süzme ve kurutma proseslerini kapsamaktadır. Melas hazırlama tanklarında konsantrasyon, pH ve sıcaklığı ayarlanıp sterilize edilir. Aşı fermentörlerinde üretilen uygun maya kültürleri ile aşılana fermentörler melas ve sürekli mikro ve makro nutrienlerle beslenerek aerobik maya fermentasyonu gerçekleşir. Fermentasyon sırasında ısı açığa çıktığından fermentörlerin soğutulması gerekir. Bu şekilde üretilen % 4-5 kuru madde muhtevalı maya çözeltisi maya separatörlerinde yıkanıp süzildikten sonra % 18-22 kuru madde muhtevalı maya sütü elde edilir. Maya sütünün döner vakum filtrelerde süzülmesi sonucunda kuru madde muhtevası % 30-33'e yükseltilir. Böylece taze yaş maya üretilmiş olur. Yaş mayanın kuru madde muhtevası % 92-96'ya yükseltilecek kuru maya ve instant maya gibi çeşitlerde elde edilir.

Maya üretiminin çeşitli safhalarında ve ayrıca temizlik için sülfürik asit, fosforik asit veya monoamonyum fosfat, kalsiyum klorür, amonyum hidroksit, sodyum hidroksit ve sodyum hipoklorit gibi yardımcı kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Dolayısı ile bu maddelerin bir kısmı zorunlu olarak melasın mayaya dönüşemeyen kısmı ve proses suları ile birlikte atıksu halinde sistemden çıkmaktadır. Maya imalatı sırasında oluşan proses atıksuları başlıca maya separatörleri ve döner vakum filtrelerden kaynaklanmaktadır. Bunun dışında yer ve ekipman yıkama suları ile evsel atıksular gibi daha az kirli atıksularda söz konusudur. Soğutma suları proses atıksularından ayrı olarak yağmur suları ile birlikte doğrudan alıcı ortama desaj edilmektedir. Separatör sularında pH = 5-7.4 aralığında değişmekte olup organik kirlilik değeri oldukça yüksektir ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) 12000-26000 mg/l aralığında değerler almaktadır.

4.1.1. Atıksu Karakterizasyonu

Genelde maya üretim tesislerinde ortaya çıkan proses atıksuları başlıca maya separatörleri ile döner vakum filtreden kaynaklanmaktadır. Bu tür organik kirliliği

yüksek atıksulara ilaveten fermentör yıkama suları ve evsel atıksular da sözkonusudur. Uzun süreli ölçümler sonucunda melas temizleme ve maya separatörleri ile döner vakum filtre sularından oluşan ve havasız arıtmaya alınan atıksuların miktar ve özellikleri ile bu endüstriye ait literatür değerleri Tablo 4-1.'de sunulmaktadır.

Tablo 4-1. Proses Atıksularının Miktar ve Özellikleri (Öztürk ve diğerleri, 1992)

Parametre	Değeri	Literatür
Debi (m ³ /gün)	900-1500 (1150)*	
pH	5-5.5	4.5-6.5
Sıcaklık (°C)	20-28	
KOI (mg/l)	11000-30000(18000)	14000-20000
BOI ₅ (mg/l)	7000-21000(12500)	10000-16000
AKM (mg/l)	50	50-2400
SO ₄ ⁼ (mg/l)	2700-5400	800-5000
Toplam Org. N (mg/l)	250	100-200
Toplam P (mg/l)	27	20-50
Özgül Atıksu Debisi (m ³ /t hammadde)	10	9-12

* Parantez içindeki değerler ortalamaları göstermektedir.

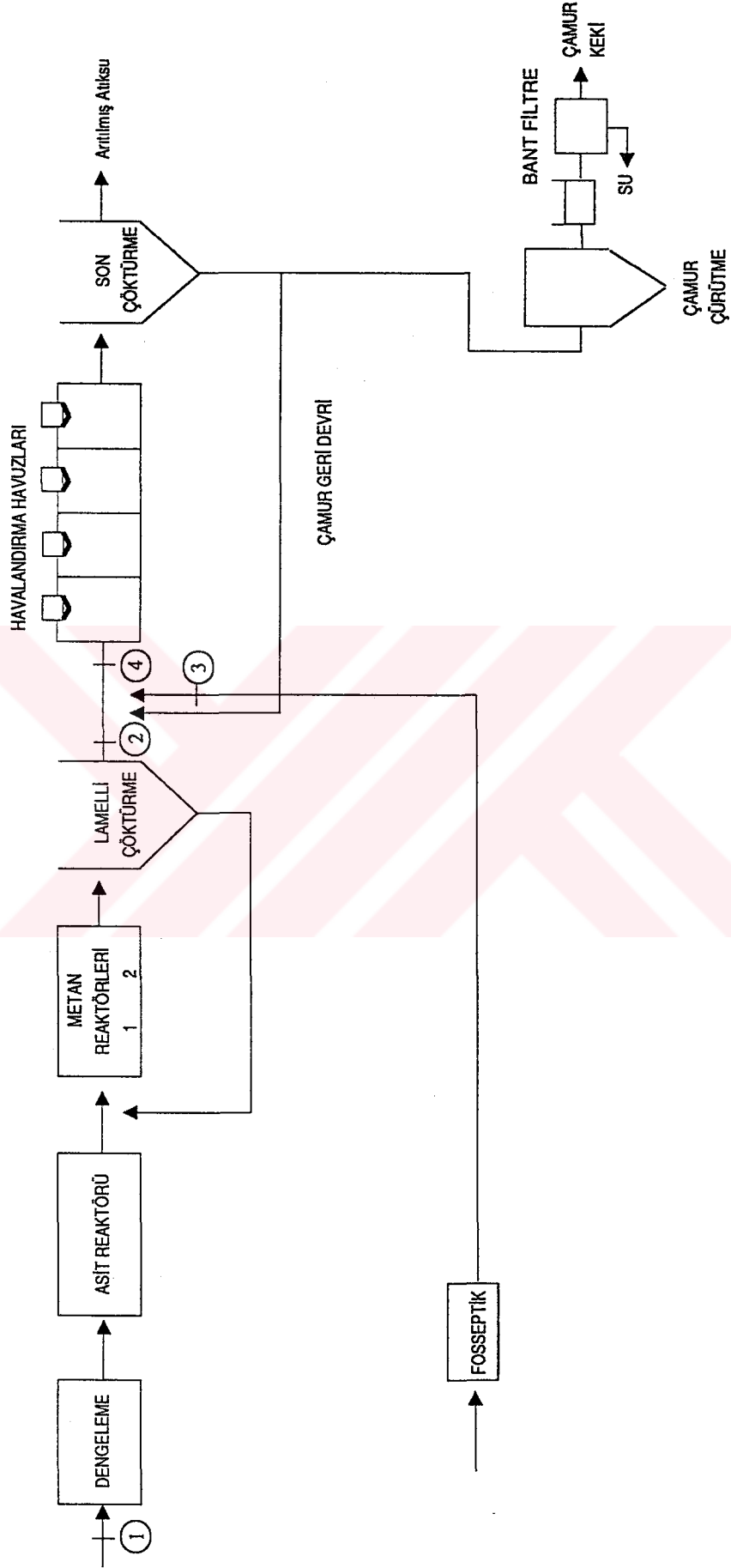
Evsel atıksu hattı vasıtasıyla doğrudan aerobik arıtma tesisine verilen atıksuların ortalama debisi 1200 m³/gün olup, tipik KOI ve BOI₅ değerleri sırasıyla 1700 ve 1200 mg/l'dir.

Konsantrasyonların tipik evsel atıksulara göre nispeten yüksek oluşu fermentör yıkama suları vasıtası ile gelen kirlilikten kaynaklanmaktadır. Seyreltik atıksular anaerobik arıtma tesisi çıkışı ile karıştıklarında ortalama KOI değeri yaklaşık 3100 mg/l olmaktadır.

4.2. ATIKSU ARITMA TESİSİ

Sözkonusu endüstriyel atıksular iki kademeli biyolojik arıtma tesisine verilmektedir. Atıksu arıtma tesisinde anaerobik 1. kademeyi müteakip aerobik 2. kademe biyolojik arıtma uygulanmaktadır. Şekil 4-1.'de atıksu arıtma tesisi akım şeması görülmektedir.

Proses atıksuları 1. kademe anaerobik arıtma çıkışında daha az konsantre evsel atıksular ile birleştirilerek aerobik arıtmaya verilmektedir.



Şekil 4-1. Atıksu Arıtma Tesisi Akım Şeması

Bu çalışmaya konu olan atıksular Şekil 4-1.'de gösterilen noktalardan;

- 1- Proses atıksuları (Buffer),
- 2- Anaerobik Arıtma Çıkışı,
- 3- Evsel Atıksu ve Fermentör Yıkama Suları Karışımı (Keson Kuyu),
- 4- Aerobik Arıtma Girişi'nden (2 ile 3'ün karışımı) alınmıştır.

Bu atıksuların, reaktörler kurulmadan önce, yapılan analizler sonucu elde edilen kirlilik yükleri Tablo 4.2.'de verilmiştir.

4.3. MATERYAL VE METOD

Fermentasyon endüstrisine ait Şekil 4-1.'de gösterilen noktalardan alınan atıksularla çözünmüş kalıcı KOI'nin saptanması amacıyla 3 seri deneysel çalışma yapılmıştır.

Bu amaçla, 5 lt hacimli silindirik cam kaplar kullanılmış ve tam karışım ve hava ihtiyacı tabana yerleştirilen akvaryum taşları ile sağlanmıştır. Reaktörler, 1000 KOI için 10 ml A çözeltisi (160 gr/l KH_2PO_4 , 320 gr/l K_2HPO_4 , 120 gr/l NH_4Cl) ve aş mikroorganizma ilavesinden sonra atıksu ile 2 lt'ye tamamlanarak deneye hazırlanmıştır. pH deneylerin başlangıcında 1N NaOH ile 7-7.1'e ayarlanmış ve deney süresince 7-7.8 aralığında tutulmaya çalışılmıştır. Sıcaklık kontrol edilmemesine rağmen oda sıcaklıklarında kalmıştır. Analizler için az miktarda (gün aşırı 15-25 mg/l) numune alınmış ve her analizden önce buharlaşmadan dolayı meydana gelen su kaybı distile su ile tamamlanmıştır.

Reaktörlere ilave edilen aş mikroorganizmalar, halen çalışmakta olan arıtma tesisinin aerobik kademesi havalandırma havuzundan alınıp yöntem gereğince % 50 atıksu ve % 50 glikoz çözeltisine aklime edilmiştir.

Çözünmüş kalıcı KOI tespiti amacıyla karşılaştırmalı ve X_1 'nin doğrudan tayini yöntemleri kullanılmıştır. Bu nedenle bir kısım atıksular vakum filtrasyon yöntemi ile Whatman GF/C filtre kağıdından süzölmüş ve filtreden geçen substrat, çözünmüş substrat olarak kabul edilmiştir.

Reaktörler oluşturulmadan önce, ilave edilen mikroorganizmaların biyolojik aktivitesi ölçölmüştür. Ölçömlerde WTW microprocessor oximeter 2000 tipindeki oksijenmetre ve WTW microprocessor P2000 tipindeki yazıcı kullanılmıştır.

Yapılan tüm deneylerde Standart Metodlar (APHA, 1989) daki prosedüre sadık kalmıştır.

Tablo 4-2. Bu çalışmada Kullanılan Atıksuların Karakterizasyonu

Parametre	Buffer	Anaerobik Çıktışı	Keson Kuyu	Aerobik Arıtma Girişi ¹	Aerobik Arıtma Girişi ²
KO ₁ Top	20000	8000	3850	3000	2830
KO ₁ göz	15000	6950	2600	2350	2035
AKM	1200	650	550	620	740
TKN	1480	1570	160	850	-
NH ₃ -N	210	1200	60	-	-
Toplam P	3.2	14	24	26	-
SO ₄ ⁼	1290	25	98	-	-
pH	6	8.1	5.7	8.5	7.9

* Birimler pH hariç mg/l dir.
1-2 Atıksular değişik zamanlarda aerobik arıtma girişinden alınmıştır.

4.4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Çözünmüş kalıcı KOI'nin saptanması amacıyla deneyler, farklı karakterdeki atıksularla 3 seri halinde yapılmıştır.

4.4.1. Birinci Seri Deneyler

İlk seride Tablo 4-2'de atıksu karakterizasyonu verilen buffer, anaerobik arıtma çıkışı, anaerobik arıtma çıkışında NH_3 uçurulmuş ve % 50 anaerobik arıtma çıkışı + % 50 keson kuyu atıksuları kullanılarak dört ayrı reaktör oluşturulmuştur.

Gerçekteki durumu temsil etmesi amacıyla atıksular süzülmemiş, $X_0=5$ mg/l olacak şekilde uçucu askıda katı maddesi 750 mg/l olan atıksu ve glikoza aklime edilmiş stok aşı reaktöründen 15 ml ve nütrient ilavesi ile reaktörler hazırlanmıştır.

Aşının aktivitesi beslemeden sonra 50~100 mgO_2/l saat, beslemeden önce ~15 mgO_2/l saat olarak ölçülmüştür. Reaktörlere beslemeden önce alınmış aşı (organizmalar açken) konulmuştur. Stok aşı reaktöründe $\theta_c=4$ gün, F/M oranı 1'dir.

Bütün reaktörlerde toplam KOI ~3000 mg/l olacak şekilde atıksular seyreltilip 546 ve 570 saat süreyle KOI_{Top} , $\text{KOI}_{\text{çöz}}$ ve AKM ölçümleri yapılmıştır. Analiz Sonuçları Tablo 4-3, Tablo 4-4, Tablo 4-5 ve Tablo 4-6'da verilmiş; $\text{KOI}_{\text{çöz}}$ 'lerin zamana karşı değişimi Şekil 4-2.'de gösterilmiştir.

Tablo 4-3. Buffer Atıksuları ile Hazırlanıp 546 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $\text{KOI}_{\text{çöz}}$ ve AKM Analiz Sonuçları

Zaman saat	KOI_{Top} mg/l	$\text{KOI}_{\text{çöz}}$ mg/l	AKM mg/l
0	3010	2270	1069
42	1940	1165	1650
138	1095	-	1030
162	1010	985	1100
210	980	750	970
306	940	730	1000
354	775	560	840
402	645	570	835
498	630	550	820
546	575	470	660

Tablo 4-4. Anaerobik Arıtma Çıkışı Atıksularıyla Hazırlanıp 570 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları

Zaman saat	KOI_{Top} mg/l	$KOI_{çöz}$ mg/l	AKM mg/l
0	3270	2380	915
42	2320	1520	1755
138	1990	1120	1640
186	1925	1090	1510
234	1900	1290	1095
330	1670	1145	1150
378	-	1070	1240
474	1450	1060	1300
522	-	1025	1340
570	1400	1005	1210

Tablo 4-5. NH_3 Uçurulmuş Anaerobik Arıtma Çıkışı Atıksuları ile Hazırlanıp 546 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları

Zaman saat	KOI_{Top} mg/l	$KOI_{çöz}$ mg/l	AKM mg/l
0	3280	2435	940
42	2010	1200	1780
138	1880	-	1595
162	1955	1220	1660
210	1945	1190	1830
306	1890	1100	1470
354	1690	1134	1380
402	1505	1025	1220
498	1415	980	1250
546	1330	910	980

Tablo 4-6. % 50 Anaerobik Arıtma Çıkışı + % 50 Keson Kuyu Karışımı ile Hazırlanıp 570 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları

Zaman saat	KOI_{Top} mg/l	$KOI_{çöz}$ mg/l	AKM mg/l
0	3225	2675	904
42	2000	900	1928
138	1875	810	1580
186	1490	775	1330
234	1410	820	1310
330	1185	780	1180
378	1130	730	1040
474	1010	740	990
522	-	735	1000
570	1010	675	990

4.4.2. İkinci Seri Deneyler

İkinci seri deneylerde Tablo 4-2'de atıksu karakterizasyonu verilen Aerobik Arıtma Girişi¹ atıksuları kullanılmıştır.

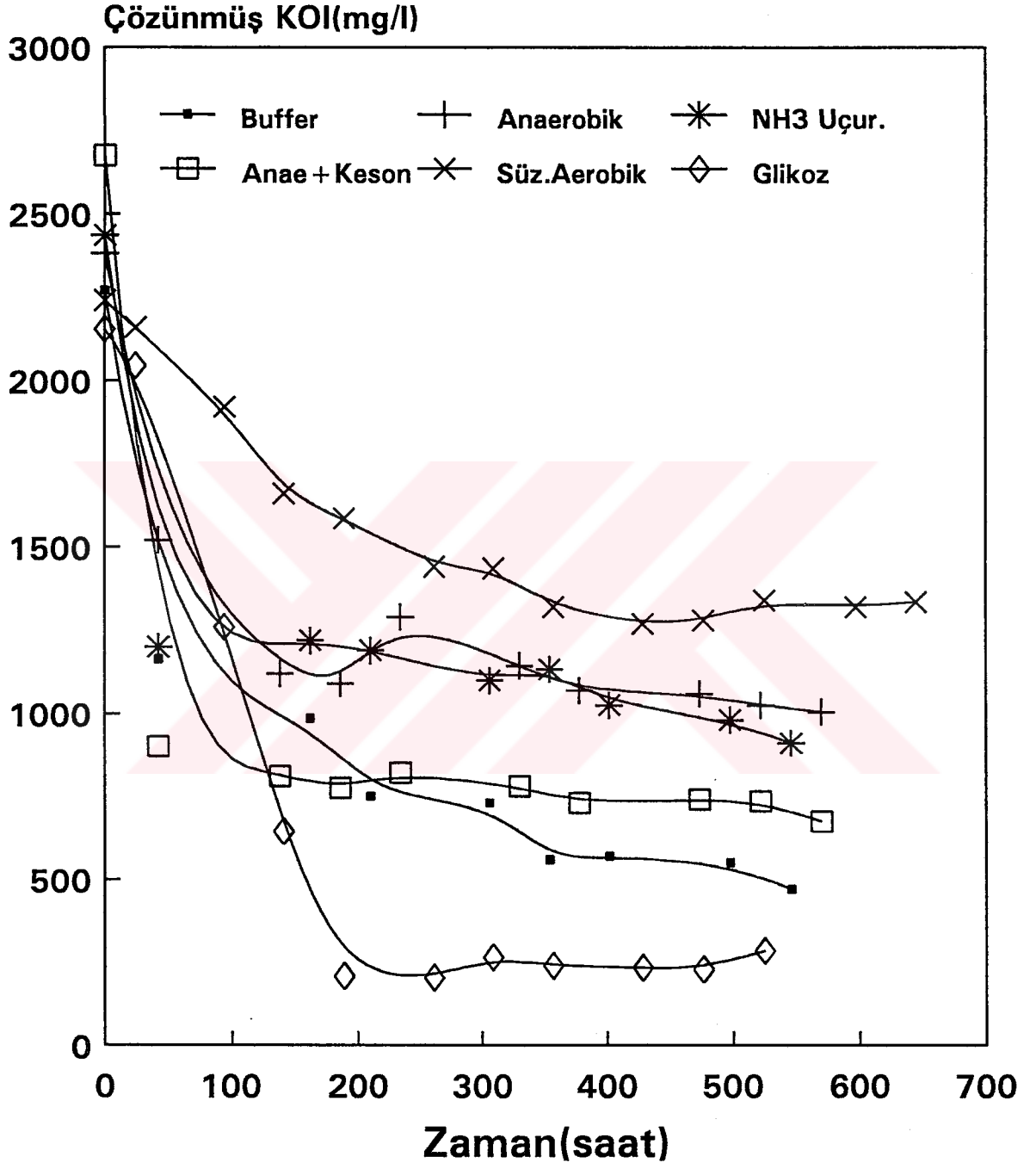
Bu seride karşılaştırmalı yöntem gereğince süzölmüş atıksu ile çalışılmıştır. Birinci reaktör süzölmüş atıksu, diğeri de KOI'si birinci reaktörün KOI'sine eşit glikoz çözeltisine nütrient ve birinci serideki ile aynı özelliklere sahip aşı ($X_0=5$ mg/l olacak şekilde 750 mg/l UAKM'li stok aşı reaktöründen 15 ml) eklenmek suretiyle hazırlanmıştır.

Süzölmüş atıksu ile doldurulan 1. reaktör 645 saat süreyle; 2. reaktör ise glikoz atıksuya göre kolay ayrıştığından, 525 saat süreyle izlenmiştir.

KOI_{Top}, KOI_{çöz} ve AKM analiz sonuçları Tablo 4-7. ve Tablo 4-8'de, KOI_{çöz}'lerin zamana karşı değişimlerini gösteren grafikler Şekil 4-2'de verilmiştir.

Tablo 4-7. Süzölmüş Aerobik Arıtma Girişi¹ Atıksuları ile Hazırlanıp 645 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top}, KOI_{çöz} ve AKM Analiz Sonuçları

Zaman saat	KOI _{Top} mg/l	KOI _{çöz} mg/l	AKM mg/l
0	2650	2240	660
24	-	2160	970
94	2295	1920	1130
141	2250	1660	1015
189	2030	1585	870
261	-	1440	785
309	1590	1435	-
357	-	1320	570
429	1575	1270	-
477	1550	1280	760
525	1675	1340	760
597	1697	1320	585
645	1690	1335	630



Şekil 4-2. 1. ve 2. Serilerde Kalıcı KOI

Tablo 4-8. Glikoz Çözeltisi ile Hazırlanıp 525 saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları

Zaman saat	KOI_{Top} mg/l	$KOI_{çöz}$ mg/l	AKM mg/l
0	2685	2155	420
24	2310	2045	500
94	1640	1260	680
141	1140	645	760
189	925	210	680
261	530	205	450
309	460	265	-
357	445	240	540
429	440	235	-
477	355	230	310
525	435	285	690

4.4.3. Üçüncü Seri Deneyler

Üçüncü seri deneylerde Tablo 4-2'de atıksu karakterizasyonu verilen Aerobik Arıtma Girişi² atıksuları kullanılmıştır.

X_I 'nin doğrudan saptanması yöntemi gereğince 3 paralel reaktör kullanılmıştır. Birinci reaktör toplam KOI ile, ikincisi süzülerek ve üçüncüsü de KOI 'si ikincisinin KOI 'sine eşit glikoz çözeltisine nütrient ve diğer serilerdeki ile aynı özelliklere sahip aşından $X_0=50$ mg/l olacak şekilde 150 ml eklemek suretiyle hazırlanmıştır.

Reaktörler 552 saat süreyle izlenmiştir.

KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM analiz sonuçları Tablo 4-9, Tablo 4-10 ve Tablo 4-11'de, $KOI_{çöz}$ 'lerin zamana karşı değişimlerini gösteren grafik Şekil 4-3'de verilmiştir.

Tablo 4-9. Aerobik Arıtma Girişi² Atıksuları ile Hazırlanıp 552 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları

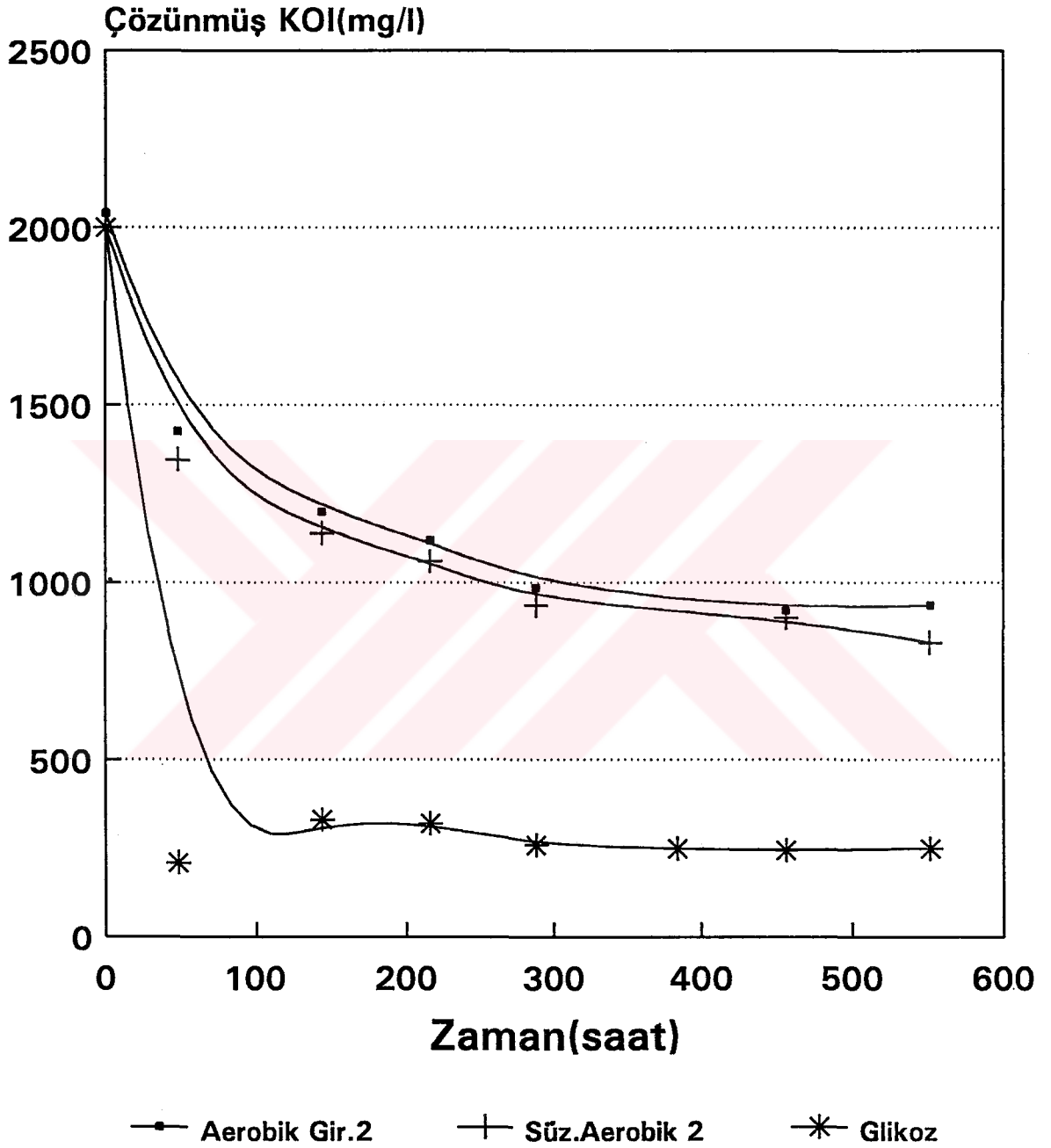
Zaman saat	KOI_{Top} mg/l	$KOI_{çöz}$ mg/l	AKM mg/l
0	2895	2040	1770
48	2280	1425	-
144	1750	1200	1640
216	-	1120	1480
288	1585	985	1280
456	1450	920	1390
552	1500	935	1140

Tablo 4-10. Süzölmüş Aerobik Arıtma Girişi² Atıksuları ile Hazırlanıp 552 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları

Zaman saat	KOI_{Top} mg/l	$KOI_{çöz}$ mg/l	AKM mg/l
0	2340	2000	730
48	1740	1345	-
144	1530	1140	770
216	1415	1060	1050
288	1330	935	840
456	1260	900	1280
552	1200	830	995

Tablo 4-11. Glikoz Çözeltisi ile Hazırlanıp 552 Saat Süreyle İzlenen Reaktördeki KOI_{Top} , $KOI_{çöz}$ ve AKM Analiz Sonuçları

Zaman saat	KOI_{Top} mg/l	$KOI_{çöz}$ mg/l	AKM mg/l
0	2300	2000	500
48	1320	210	-
144	710	330	520
216	610	320	855
288	450	260	510
384	400	250	-
456	380	245	470
552	397	250	405



Şekil 4-3. 3. Seride Kalıcı KOI

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Fermentasyon endüstrisinden kaynaklanan ham ve anaerobik ön arıtma görmüş proses atıksularında kalıcı çözünmüş (S_I) ve partiküler KOI (X_I) bileşenlerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda aynı üretim prosesine sahip iki tesisten alınan proses atıksuları kullanılmıştır. Birinci seri deneylerde anaerobik arıtma çıkışı olarak adlandırılan atıksular, yüksek yüklü ve seri bağlı 3 adet havasız çamur yataklı reaktörden oluşan bir atıksu arıtma tesisinden alınmıştır. Söz konusu anaerobik arıtma çıkışında toplam KOI = 7975 mg/l olduğu için biyolojik olarak kolay parçalanabilen atık nisbeti daha yüksektir. İkinci ve üçüncü serilerde kullanılan anaerobik arıtma çıkışları ise ilk serideki tesise göre daha düşük hacimsel yük ve çok daha yüksek çamur yaşı ile işletilen ve seri bağlı 3 adet havasız çamur yataklı reaktörden ibaret bir arıtma tesisinden alınmıştır. Aynı tip yüksek organik kirlilikli fermentör seperasyon atıksuları arıtan bu ikinci tesisten çıkan atıksuyun toplam KOI değeri 4240 mg/l'dir. Dolayısıyla anaerobik arıtma girişindeki KOI seviyeleri birbirine yakın olan bu iki tesisten ikincisinin çıkışında inert KOI seviyesi birincisine göre daha yüksek seviyede kalmıştır.

Anaerobik arıtma tesisi çıkışları dışında her üç seride kullanılan atıksular birbirleriyle hemen hemen aynı karakterdedir.

5.1. KALICI ÇÖZÜNMÜŞ KOI (S_I) VE KALICI PARTİKÜLER KOI (X_I) BİLEŞENLERİNİN HESAPLANMASI

Kalıcı çözünmüş KOI (S_I)'nin belirlenmesinde glikozlu sentetik atıksu ile karşılaştırmayı esas alan "Karşılaştırmalı Yöntem" kullanılmıştır (Şekil 4-2). Kalıcı partiküler KOI (X_I) değerleri ise "Doğrudan Tayin Yöntemi" ile belirlenmiştir (Şekil 4-3).

5.1.1. S_I 'nin Belirlenmesi

Birinci ve ikinci seri deneylerde, 2 litre faydalı hacimli kesikli aktif çamur reaktörlerine aynı miktar ve özellikteki aş çamuru (mikroorganizma) konarak KOI-zaman değişimleri belirlenmiştir. Bu deneylerde eşzamanlı olarak fermentasyon atıksuları ile eşdeğer KOI'li glikozlu sentetik atıksu için de aynı ilişki elde edilmiştir.

Glikozlu sentetik çözelti için elde edilen KOI-zaman eğrisinin plato değeri, Şekil

4-2'de deneyin son dönemindeki kararlı değerlerin ortalamaları alınmakta, $KOI_{\text{çöz}}=240$ mg/l olarak bulunmuştur. Bu değer proses atıksularının S_I değerlerinin belirlenmesinde karşılaştırma büyüklüğü olarak kullanılmıştır. Buna göre 1. ve 2. seri deneysel çalışmalar sonunda aşağıdaki S_I değerleri elde edilmiştir:

1. Seri Deneyler İçin:

- Fermentasyon Seperasyon Atıksuları (Buffer Çıkışı):

$$\begin{aligned} KOI_{\text{çöz}} &= 540 \text{ mg/l} \\ S_I &= 540-240 = 300 \text{ mg/l} \\ S_I/S_o &= 300/2270 = 0.132 \end{aligned}$$

Daha önce de tanımlandığı üzere burada, S_o başlangıçtaki çözünmüş KOI 'yi, $KOI_{\text{çöz}}$ ise deneyler sonunda KOI -zaman eğrisinin plato değerini temsilen belirlenen KOI değerini göstermektedir.

- Anaerobik Arıtma Çıkışı*:

$$\begin{aligned} KOI_{\text{çöz}} &= 1040 \text{ mg/l} \\ S_I &= 1040-240 = 800 \text{ mg/l} \\ S_I/S_o &= 800/2380 = 0.336 \end{aligned}$$

- NH_3 Uçurulmuş Anaerobik Arıtma Çıkışı*:

$$\begin{aligned} KOI_{\text{çöz}} &= 970 \text{ mg/l} \\ S_I &= 970-240 = 730 \text{ mg/l} \\ S_I/S_o &= 730/2435 = 0.300 \end{aligned}$$

- Anaerobik Arıtma Çıkışı* ile Seyreltik ve Evsel Atıksuların % 50-%50 Karışımı:

$$\begin{aligned} KOI_{\text{çöz}} &= 720 \text{ mg/l} \\ S_I &= 720-2140 = 480 \text{ mg/l} \\ S_I/S_o &= 480/2675 = 0.179 \end{aligned}$$

2. Seri Deneyler İçin:

- Süzölmüş Aerobik Girişi**

(Anaerobik Çıkışı ile Seyreltik ve Evsel Atıksuların %50-%50 Karışımı - Filtre Edilmiş Numune)

$$\begin{aligned} \text{Başlangıçta, } X_{a\text{şl}} &= 5 \text{ mg/l} \\ KOI_{\text{çöz}} &= 1310 \text{ mg/l} \\ S_I &= 1310-240 = 1070 \text{ mg/l} \\ S_I/S_o &= 1070/2240 = 0.477 \end{aligned}$$

* Yüksek yüklü anaerobik arıtma tesisi çıkışı

** Düşük yüklü anaerobik arıtma tesisi çıkışı

3. Seri Deneyler İçin:

Glikozlu sentetik atıksu için belirlenen plato değeri, $KOI_{\text{çöz}} = 250$ mg/l olarak bulunmuştur.

Başlangıçta, $X_{\text{aşı}} = 50$ mg/l'lik mikroorganizma konsantrasyonunda, farklı bir tarihte aynı endüstriden alınan atıksular 2. serideki gibi birleştirilerek (% 50 Anaerobik çıkışı - % 50 Seyreltik ve Evsel Atıksular) 3 seri deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonunda,

$$S_I = 900 - 250 = 650 \text{ mg/l}$$

$$S_I/S_0 = 650/2000 = 0.325$$

olarak hesaplanmıştır.

5.1.2. X_I 'in Belirlenmesi

Üçüncü seri deneylerde Doğrudan Tayin Yöntemi ile, Anaerobik Çıkışı - Seyreltik sular karışımı için partiküler inert KOI (X_I) belirlenmiştir. Bununla ilgili hesaplar aşağıda verilmiştir.

$$S_{P2} = S_{R2} - S_I = 920 - 650 = 270 \text{ mg/l}$$

$$S_{P1} = S_{R1} - S_I = 900 - 650 = 250 \text{ mg/L}$$

$$C_{SO} = \frac{S_{P2}}{S_{P1}} \cdot S_{SO} = \frac{270}{250} \times 1350 = 1458 \text{ mg/l}$$

$$X_I = C_{TO} - C_{SO} - S_I = 2895 - 1458 - 650 \cong 790 \text{ mg/l}$$

Sözkonusu üç seri deneyler sonunda elde edilen S_I değerleri, daha önce Öztürk ve diğerleri (1993) tarafından aynı endüstriyel atıksular için belirlenen değerlerle birlikte Tablo 5-1'de topluca verilmiştir. Deneysel çalışmalar sonunda elde edilen veriler aşağıdaki gibi değerlendirilebilir:

- Sentetik Atıksu (Glikoz Çözeltisi) ile Yürütülen Çalışmalar:

Başlangıç KOI'si bu çalışmada ele alınan fermentasyon endüstrisi atıksularınıninkine çok yakın olacak şekilde hazırlanan glikozlu sentetik atıksu ile, glikozlu-endüstriyel atıksu karışımına alıştırılmış mikroorganizmalar (aşı) kullanılarak yürütülen 2. seri kesikli aktif çamur reaktöründe arıtma süreci içerisinde ulaşılabilen en düşük KOI seviyeleri $KOI_{\text{çöz}} \cong 210$ mg/l'de kalmıştır (Tablo 4-8 ve 4-11). Sözkonusu minimum KOI değeri daha sonra tedricen artarak, biyolojik olarak zor parçalanmış mikrobiyal ürünlerden gelen KOI katkısı ile 240-250 mg/l seviyelerine yükselmiştir. Bu durumda, glikozlu sentetik atıksu halinde arıtma süreci sonundaki kararlı KOI içerisinde % 12 civarında bir mikrobiyal KOI katkısı bulunmaktadır.

Tablo 5-1. Deneysel Çalışma Sonuçları

Deney Serisi	Atıksu Türü	Başlangıçtaki Çözünmüş KOI S_O , mg/l	Kalıcı KOI S_I , mg/l	S_I/S_O
1	Buffer (Süzülmemiş)	2270	300	0.132
	Anaerobik Çıkışı (Süzülmemiş)	2380	800	0.336
	NH ₃ Uçurulmuş Anaerobik Çıkışı (Süzülmemiş)	2435	730	0.3
	% 50 Anaerobik + % 50 Keson (Süzülmemiş)	2675	480	0.179
2	Aerobik Giriş ¹ (Süzülmüş)	2240	1070	0.477
3	Aerobik Giriş ² (Süzülmüş)	2000	650	0.325
4*	Buffer (Çöktürülüp Üst fazı alınmış)	2810	155	0.055
	Anaerobik Arıtma Çıkışı (Çöktürülüp Üst fazı alınmış)	3090	620	0.2
	Anaerobik Çıkışı (Süzülmüş)	3090	510	0.168

* Öztürk,İ., Çiftçi,T. ve Tolay,M. (1993). Fermentasyon Endüstrisi Atıksularının Aerobik Arıtılabilirliği (Yayınlanmamış Araştırma Sonuçları).

• Fermentasyon Seperasyon Atıksuları (Buffer Çıkışı) ile Yürütülen Çalışmalar:

Fermentasyon endüstrilerinin en konsantre atığı olan seperasyon atıksuları ile gerçekleştirilen aerobik arıtılabilirlik sonunda başlangıçtaki KOI'nin ortalama % 10'luk bir kısmının inert olduğu tesbit edilmiştir. Dolayısıyla anaerobik ön arıtma uygulanmış seperasyon atıksularında (anaerobik çıkışı) bundan daha yüksek oranda bir inert KOI olması beklenmelidir.

• Anaerobik Ön Arıtma Çıkışı ile Yürütülen Çalışmalar:

Anaerobik ön arıtma uygulanmış seperasyon atıksularının müteakip aerobik arıtımı sonunda çözünmüş kalıcı KOI oranlarının (S_I/S_O), 0.20-0.30 aralığında değiştiği gözlenmiştir. İnert KOI oranındaki bu artış, kolay parçalanabilen organik maddelerin büyük ölçüde anaerobik arıtma kademesinde parçalanması ve ayrıca ortama belli oranda zor parçalanabilen anaerobik metabolik ürünler ilavesi ile açıklanabilir. Ortamdaki NH₃'ün aerobik arıtma öncesi uçurulmasının, aerobik arıtmayı önemli ölçüde etkilemediği gözlenmiştir.

- Aerobik Girişini Temsil Eden Atıksularla Yürütülen Çalışmalar:

İncelenen fermentasyon endüstrisinin, mevcut atıksu arıtma tesisi aerobik 2. kademesi girişini temsilen anaerobik çıkışı ile seyreltik yıkama suları ve evsel atıksuların (keson çıkışı) % 50 - % 50 oranında karışımı ile hazırlanan kompozit atıksu numuneleri kullanılarak yürütülen aerobik arıtılabilirlik çalışmaları sonunda S_f/S_O oranlarının 0.18 ~ 0.48 aralığında değiştiği gözlenmiştir. S_f/S_O oranlarının bu derece fark etmesinin çok muhtemelen atıksu numunelerinin alındığı tesislerdeki Anaerobik Ön Arıtma Tesislerinin o andaki işletme şartları ile ilgili olabileceği düşünülmüştür. Zira düşük $S_f/S_O = 0.18$ olan çalışmada atıksu temin edilen tesiste, anaerobik arıtma tesisi $S_f/S_O = 0.33-0.48$ (ort 0.40) olan tesise göre çok daha yüksek hacimsel organik yükleme ve daha düşük çamur yaşları ile işletilmektedir. Böyle bir işletmenin sonucu olarak, yüksek yüklü tesisten çıkan atıksularda uçucu asit ve kolay parçalanabilen KOI oranı daha yüksek olduğundan müteakip aerobik arıtmada daha düşük S_f/S_O oranı elde edilmiştir. Buna mukabil 2. ve 3. seri deneylerde, 1. seri deneylerde atıksu alınan anaerobik tesise göre, proses aynı olmakla birlikte, daha düşük hacimsel organik yükleme ve çok daha yüksek çamur yaşı ($\theta_c > 100$ gün) ile işletilen benzer diğer tesisten alınan atıksu numuneleri kullanıldığı için S_f/S_O oranları daha yüksek çıkmıştır. Bu çalışmada elde edilen ortalama 0.40 seviyesindeki S_f/S_O oranı, Germirli ve diğerleri (1992) tarafından anaerobik ön arıtma uygulanmış, sitrik asit fermentasyonu atıksuları için hazırlanan oranla (0.397) hemen hemen aynıdır. Dolayısıyla anaerobik arıtma uygulanıp uygulanmadığı ve bu kademedeki işletme şartları, ön arıtma görmüş atıksuların müteakip aerobik arıtımını önemli ölçüde etkilememektedir.

- Mikroorganizma (Aşı) Miktarının Etkisi

2. ve 3. seri deneylerde, reaktörlerdeki başlangıç aşı konsantrasyonları sırası ile 5 ve 50 mg/l tutulmuştur. Sentetik atıksu ile yürütülen arıtılabilirlik sonuçları dikkate alındığında KOI-zaman eğrilerinin plato değerlerinin her iki seride de hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Dolayısı ile başlangıç aşı konsantrasyonunun nihai durumu önemli oranda etkilemediği sadece KOI-zaman profillerinde kısmi değişikliğe yol açabileceği söylenebilir.

- Arıtma Prosesi Tipi ve İşletme Şartlarının Etkisi

İnert KOI seviyesi; uygulanan ön arıtma sisteminin verimi, ön arıtma görmemiş seyreltik suların toplam debideki payları ve gerçek aerobik arıtma prosesinin tipine bağlı olarak değişebilmektedir. Bunlar arasında mevcut aerobik tesiste aerobik selektör olup olmayışı, seri bazlı reaktörler kombinezonu proses veriminin artmasına

ve kesikli tesislerde belirlenen S_1 değerlerinin altına inilmesine yol açabilir. Bu yüzden kesikli aerobik arıtılabilirlik deneylerinin olabildiğince, farklı atık kombinasyonlarını ve işletme şartlarını temsile yetecek sayıda bir deneyler serisi tarzında yürütülmesi istatistik açıdan anlamlı sonuçlar çıkartılabilmesi bakımından önem taşımaktadır.



BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fermentasyon endüstrisi atıksularında kalıcı KOI seviyelerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen bu çalışmada başlıca aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Ön arıtma uygulanmamış fermentasyon seperasyon atıksularında inert KOI oranı ortalama olarak $S_I/S_O=0.10$ civarındadır.
- Seri bağlı havasız çamur yataklı reaktörlerden oluşan Anaerobik Ön Arıtma Sisteminde arıtılan fermentasyon seperasyon atıksularının (anaerobik çıkışı) müteakip aerobik arıtımında S_I/S_O oranları 0.20-0.30 aralığında değişmektedir. Aerobik arıtma öncesi NH_3 uçurulması bu inert KOI seviyesini önemli ölçüde etkilememektedir.
- Anaerobik çıkışı ile seyreltik yıkama suları ve evsel atıksularının karışımında yürütülen çalışmalarda S_I/S_O oranı 0.18-0.48 aralığında değişmektedir. Değerler arasındaki bu farkın genelde anaerobik arıtma sisteminin o andaki işletme şartlarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Bu endüstri için Su Kirliliği Kontrol yönetmeliği'nde öngörülen 300 mg/l'lik toplam KOI limitine mevcut teknolojilerle ulaşılması fevkalade zor görülmektedir.
- Başlangıçtaki aşı konsantrasyonu, S_I seviyesini önemli ölçüde etkilememektedir.
- Ön arıtma derecesi ve aerobik arıtma tesisinin prosesi ile reaktör özellikleri (selektör, seri bağlı reaktörler) fiili durumda, bazen laboratuvar şartlarında elde edilen S_I seviyelerinden daha düşük değerleri mümkün kılabilir.
- Mevcut durumun daha iyi değerlendirilebilmesi için, kesikli aerobik arıtılabilirlik deneylerinin olabildiğince, farklı atık kombinasyonlarını ve işletme şartlarını temsile yetecek sayıda bir deneyler serisi tarzında yürütülmesi önerilmiştir.

KAYNAKLAR

- APHA, AWWA, WPCF, (1989), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th Edition.
- ARTAN, N., (1987), Aktif Çamurda Çözünmüş Kalıcı Ürün Oluşumu Modeli, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- CHUDоба, J., (1985), Quatitative Estimation in COD Units of Refractory Organic Compounds Produced by Activated Sludge Microorganisms., Wat. Res., Vol.19, 1, 37-43.
- EKAMA, G.A., DOLD, P.L., MARAIS, G.V.R., (1986), Procedures for Determining Influent COD Fractions and the Maximum Spesific Growth Rate of Heterotrophs in Activated Sludge Systems, Wat. Sci. Tech., Vol.18, 91-114.
- GAUDY, A.F. Jr., GAUDY, E.T., (1971), Biological Concepts for Design and Operation of Activated Sludge Process, US. Environmental Protection Agency Water Pollution Research Series, Report No.17090, FQJ 09/71, US EPA, Washington, D.C.
- GAUDY, A.F. Jr., BLACHLY, T.R., (1985), A Study of the Biodegradability of Residual COD, J. Wat. Pollut. Control Fed., Vol 57, No.4, 332-338.
- GAUDY, A.F. Jr., (1972), Biochemical Oxygen Demand, Water Pollution Microbiology, Mitchell, R. (Ed.), Vol.1, Willey-Interscience, London.
- GERMİRLİ, F., (1990), The Incremental and Comparison Methods for the Assessment of Initial Soluble Inert COD, Ph D Thesis, İstanbul Technical University.
- GERMİRLİ, F., ORHON, D., ARTAN, N., (1991), Assessment of the Initial Inert Soluble COD in Industrial Wastewaters, Wat. Sci. Tech., Vol.23, 1077-1086.
- GERMİRLİ, F., ORHON, D., ARTAN, N., UBAY, E., GÖRGÜN, E., (1992), Effect of Two-Stage Treatment on the Biological Treatability of Strong Industrial Wastes, Second International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries, 211-220.
- GÖRGÜN, E., (1991), Süt Endüstrisinde Atıksu-Peynir Altı Suyu Karışımlarının Biyolojik Arıtılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

- GRADY, C.P.L. Jr., UM, H.C., (1980), Biological Wastewater Treatment: Theory and Applications, Marcel Decker Inc., New York.
- HENZE, M., GRADY, J.P.L. Jr., GUJER, W., MARAİS, G.V.R., MATSUO, T., (1987), IAWPRC Task Group Report on Mathematical Modelling For Design and Operation of Biological Wastewater Treatment, Final Report.
- METCALF, EDDY, (1984), Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse, McGraw-Hill Publ., New York.
- ORHON, D., ARTAN, N., BÜYÜKMURAT, S., GÖRGÜN, E., (1992), The Effect of Residual COD on the Biological Treatability of Textile Wastewaters, Wat. Sci. Tech., Vol.26, No.3-4, 815-825.
- ORHON, D., GÖRGÜN, E., GERMİRLİ, F., ARTAN, N., (1993), Biological Treatability of Dairy Wastewaters, Wat. Res., Vol.27, No.4, 625-633.
- ÖZTÜRK, İ., ÇİFTÇİ, T., ALKAN, R., AKŞİT, C., (1992), Ekmek Mayası Üretimi Atıksularının Anaerobik Aerobik Arıtımı, İ.T.Ü. 3. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu'92.
- ROZICH, A.F., GAUDY, A.F. Jr., (1992), Design and Operation of Activated Sludge Processes Using Respirometry, Lewis Publishers, Inc.

ÖZGEÇMİŞ

Gölsüm Yılmaz, 1970 yılında Fatsa'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamlayarak 1987 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek öğrenimine başladı. 1991 yılında lisans diplomasını alarak aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.

