

46264

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEKERLEME ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ BİYOLOJİK

ARITILABİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Günay YILDIZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 OCAK 1995

Tezin Savunulduğu Tarih : 03 ŞUBAT 1995

Tez danışmanı : Prof. Dr. Derin ORHON

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Nazik ARTAN

Doç. Dr. İlhan TALINLI

[Signature] 17.2.95
[Signature] 17.2.95
[Signature] 17.2.1995

ŞUBAT 1995

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında, öncelikle bu konuda çalışmamı sağlayan ve hazırlanma aşamalarında teorik konulardaki değerli önerileri ile verdiği destek ve göstermiş olduğu hoşgörüden dolayı sayın hocam Prof. Derin ORHON' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bu tezin hazırlanmasında başından sonuna kadar gerek teorik konularda gerekse deneysel çalışmalarında bana gösterdiği her türlü desteğinden ve sonsuz hoşgörüsünden dolayı araştırma görevlisi sayın Emine ÇOKGÖR' e ve sorularımı büyük bir sabırla cevaplayan araştırma görevlisi sayın Seval SÖZEN' e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım süresince laboratuvarda bana göstermiş olduğu sonderece yoğun ilgi ve yardımlarından ötürü sayın Nursen ELDEM' e, gösterdikleri hoşgörüden dolayı diğer laboratuvar çalışanlarına ve bu çalışmam esnasındaki manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Gerek bugüne kadarki yaşamımda, gerekse bu çalışmanın oluşturulmasında bana gösterdikleri maddi ve en önemlisi manevi desteklerinden ötürü sevgili anneme ve babama, manevi desteğinden dolayı sevgili ablam Tünay YILDIZ' a ve geç saatlere kadar benimle çalışma fedakarlığı göstererek tezimin yazılmasını sağlayan biricik kardeşim Gürsel YILDIZ' a sonsuz teşekkürler ediyorum.

Günay Yıldız

Şubat, 1995

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
NOTASYON LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
 BÖLÜM I GİRİŞ	 1
1.1 ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ	1
1.2 ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI	2
 BÖLÜM II ARAŞTIRMA KONUSU TESİSLERİN ÖZELLİKLERİ	 3
2.1 ŞEKERLEME ENDÜSTRİSİNİN GENEL KARAKTERİSTİKLERİ	3
2.2 ÜRETİM ÖZELLİKLERİ	4
2.2.1 TESİS I	4
2.2.2 TESİS II	8
2.2.2.1 Akide Şekeri Üretimi	8
2.2.2.2 Lokum Üretimi	9
2.2.2.3 Ezme Üretimi	11
2.2.2.4 Draje Üretimi	11
2.2.2.5 Şerbet Şekeri Üretimi	14
2.2.2.6 Nöbet Şekeri Üretimi	14
2.2.2.7 Yaş Meyve Şekerlemesi Üretimi	16
2.2.2.8 Çikolata Üretimi	16
2.2.3 TESİS III	18
2.2.3.1 Yumuşak Şekerleme	18
2.2.3.2 Sert Şekerleme	19
2.2.3.2.1 Dolgulu Sert Şekerleme	19
2.2.3.2.2 Dolgusuz Sert Şekerleme	20
2.3 ATIKSU ÖZELLİKLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	22

2.3.1	TESİS I, TESİS II ve TESİS III' e Ait Atıksu Karakterizasyon Sonuçları	22
BÖLÜM III	BİYOLOJİK ARITILABİLİRLİĞE YÖNELİK KARAKTERİZASYON	25
3.1	BİYOLOJİK ARITMANIN KİNETİĞİ	25
3.2	İÇSEL SOLUNUM MODELİ	28
3.3	BİYOLOJİK SİSTEMLERDE ORGANİK MADDE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	31
3.4	ATIKSUDAKİ KOİ KARAKTERİZASYONU	33
3.5	AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİNDE ÇÖZÜNMÜŞ KALICI KOİ OLUŞUMU	35
3.6	ÇÖZÜNMÜŞ KALICI KOİ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	36
3.6.1	Kademeli Yöntem	37
3.6.2	Karşılaştırmalı Yöntem	38
3.7	ÇÖZÜNMÜŞ KALICI KOİ ÖLÇÜMÜ KONUSUNDA DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR	39
3.8	RESPIROMETRİK YÖNTEMLERLE ORGANİK MADDE BİLEŞİMİNİN VE KİNETİK SABİTLERİN BELİRLENMESİ	41
3.8.1	S_s Belirleme Yöntemleri	42
3.8.2	$\hat{\mu}_H$ Belirleme Yöntemleri	45
3.8.3	Ölüm Katsayısı (b_H) Belirleme Yöntemleri	52
BÖLÜM IV	DENEYSEL ÇALIŞMA YAKLAŞIMI	56
4.1	HETEROTROF MİKROORGANİZMALAR İLE YÜRÜTÜLEN DENEYSEL ÇALIŞMALAR	56
4.1.1	Deney Düzeni	56
4.1.2	Analiz Yöntemleri	58
4.1.3	S_s Belirleme Deney Düzeni	58
4.1.4	$\hat{\mu}_H$ Belirleme Deney Düzeni	60
4.1.5	b_H Belirleme Deney Düzeni	61
4.1.6	S_i Belirleme Deney Düzeni	62
BÖLÜM V	DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	65
5.1	DENEYSEL SONUÇLAR	65
5.2	SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	69
BÖLÜM VI	SONUÇ VE ÖNERİLER	72
	KAYNAKLAR	74
	EKLER	76
	ÖZGEÇMİŞ	94

NOTASYON LİSTESİ

b_H	: Heterotrofik Biyokütle Ölme Katsayısı	(gün ⁻¹)
f_{av}	: Aktivite Katsayısı	
f_E	: Endojen Biyokütlenin İnert Ürüne Dönüşen Oranı	
f_{ES}	: Endojen Biyokütlenin Çözünmüş İnert Ürün Oranı	
f_{EX}	: Endojen Biyokütlenin Partiküler İnert Ürün Oranı	
K_S	: Yarı Doygunluk Hız Sabiti	(mg / lt)
OTH	: Oksijen Tüketim Hızı	(mg O ₂ /lt.saad)
q_H	: Birim Giderme Oranı	(mg KOİ/mg VSS.gün)
S	: Organik Madde Konsantrasyonu	(mg / lt)
S_o	: Oksijen Konsantrasyonu	(mg / lt)
S_s	: Kolay Ayrışan Çözünmüş Organik Madde Konsantrasyonu	(mg / lt)
S_i	: Çözünmüş İnert Organik Madde Konsantrasyonu	(mg / lt)
S_p	: Çözünmüş Mikrobiyal Ürün Konsantrasyonu	(mg / lt)
X	: Biyokütle Konsantrasyonu	(mg / lt)
X_H	: Heterotrofik Biyokütle Konsantrasyonu	(mg / lt)
X_s	: Yavaş Ayrışan Partiküler Madde Konsantrasyonu	(mg / lt)
X_i	: İnert Partiküler Organik Madde Konsantrasyonu	(mg / lt)
X_p	: Partiküler Mikrobiyal Ürün Konsantrasyonu	(mg / lt)
Y	: Mikroorganizma Dönüşüm Oranı Katsayısı	
μ	: Spesifik Çoğalma Hızı	(gün ⁻¹)
$\hat{\mu}$	: Maksimum Spesifik Çoğalma Hızı	(gün ⁻¹)

α_D : Çoğalmaya Bağlı Ürün Oluşum Oranı

θ_x : Çamur Yaşı (gün)

C_T : Atıksudaki Toplam KOİ Konsantrasyontrasyonu (mg / lt)

S_T : Atıksudaki Toplam Çözünmüş KOİ Konsantrasyonu (mg / lt)



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Şekerli - Şekersiz Sakız Üretim Akım Şeması	7
Şekil 2.2	Akide Şekeri Üretimi Proses Akım Şeması	10
Şekil 2.3	Lokum Üretimi Proses Akım Şeması	10
Şekil 2.4	Ezme Üretimi Proses Akım Şeması	12
Şekil 2.5	Sert ve Yumuşak Draje Üretimi Proses Akım Şeması	13
Şekil 2.6	Şerbet Şekeri Üretimi Proses Akım Şeması	15
Şekil 2.7	Nöbet Şekeri Üretimi Proses Akım Şeması	15
Şekil 2.8	Yaş Meyve Şekerlemesi Üretimi Proses Akım Şeması	17
Şekil 2.9	Çikolata Şekillendirme Proses Akım Şeması	17
Şekil 2.10	Yumuşak Şekerleme Üretimi Proses Akım Şeması	21
Şekil 2.11	Dolgulu Sert Şekerleme Üretimi Proses Akım Şeması	21
Şekil 2.12	Dolgusuz Sert Şekerleme Üretimi Proses Akım Şeması	22
Şekil 3.1	Spesifik Çoğalma Hızı ile Organik Madde Konsantrasyonu Arasındaki İlişki	26
Şekil 3.2	İçsel Solunum Modeline Ait Proses Şeması	29
Şekil 3.3	Atıksudaki Toplam KOİ' nin Fraksiyonları	33
Şekil 3.4	Evsel Atıksuyun KOİ Bileşenleri (Henze ve diğerleri, 1987)	34
Şekil 3.5	Arıtma Tesisi Çıkışındaki Organik Madde Fraksiyonları	35
Şekil 3.6	Kesikli Reaktörde Çözünmüş KOİ Eğrisi	37
Şekil 3.7	Girişteki Kalıcı Çözünmüş KOİ' nin Belirlenmesi İçin Karşılaştırmalı Yöntem	38

Şekil 3.8	OTH Profili ile S_{SO} Belirlenmesi	44
Şekil 3.9	S_{SO} ' ın Tanımlanması İçin Elde Edilen OTH Profili	45
Şekil 3.10	Yüksek F / M Oranında Elde Edilen OTH Profili	50
Şekil 3.11	OTH Ölçümleri ile $\hat{\mu}_H - b_H$ ' ın Belirlenmesi	51
Şekil 3.12	İçsel Solunum Hızını Belirlemek İçin OTH - Zaman Arasındaki Deneysel Bağlantı (Marais & Ekama, 1976)	54
Şekil 4.1	TESİS I (Set 1)' e Ait S_s Değişim Grafiği	59
Şekil 4.2	TESİS I (Set 1)' e Ait $\hat{\mu}_H$ Belirleme Grafiği	60
Şekil 4.3	TESİS I' e Ait b_H Belirleme Grafiği	62
Şekil 4.4	TESİS I' e Ait İnert KOİ Belirleme Grafiği	64

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Yıllık Üretim Miktarları	8
Tablo 2.2	TESİS I' e Ait Karakterizasyon Sonuçları	23
Tablo 2.3	TESİS II' ye Ait Karakterizasyon Sonuçları	23
Tablo 2.4	TESİS III' e Ait Karakterizasyon Sonuçları	23
Tablo 2.5	Şekerleme Atıksuyunun Karakterizasyonu	24
Tablo 3.1	İçsel Solunum İçeren Karbon Giderimine Ait Proses Kinetikleri ve Stokiyometrisi	30
Tablo 4.1	Solution A ve Solution B ' nin Bileşenleri	57
Tablo 4.2	İnert KOİ Belirlemede Kullanılan Atıksuyun Karakterizasyonu	62
Tablo 4.3	TESİS I' e Ait İnert Çözünmüş KOİ Analiz Sonuçları	63
Tablo 5.1	DeneySEL Sonuçlar	66
Tablo 5.2	Herbir Tesise Ait İnert Madde Fraksiyonları	70

ÖZET

Bu çalışmada, şekerleme endüstrisinden kaynaklanan atıksuların biyolojik arıtılabilirlikleri incelenmiş ve bu amaçla ana üretimleri sırasıyla; yumuşak ve dolgulu-dolgunsuz sert şeker üretimi, şekerli-şekersiz ciklet üretimi ve lokum üretimi olan 3 ayrı endüstriden kaynaklanan atıksuların karakterizasyonu yapılmış ve bu atıksuların arıtılabilirliklerini etkileyen kinetik sabitlerin bir kısmını bulmak üzere bir dizi deneysel çalışma yürütülmüştür.

Birinci bölümde; çalışmanın anlamı, önemi, amacı ve kapsamı kısaca özetlenmiştir.

İkinci bölümde; şekerleme endüstrisinin genel karakteristik özellikleri kısaca sunulmuş, bu dalda faaliyet gösteren söz konusu tesislerin genel tanıtımı yapılmış ve her bir tesise ait üretim özellikleri, atıksuların kaynakları ve atıksu miktarları proses akım şemaları ile birlikte açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde; biyolojik arıtmanın esasları üzerinde durulup, çözünmüş kalıcı KOİ miktarının ve biyokinetik sabitlerin tayin ve hesaplama yöntemleri ele alınarak deneysel çalışmalarda kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde; söz konusu tesislerin atıksuları üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda kinetik sabitler ve kalıcı KOİ ' nin belirlenmesi amacıyla izlenen yaklaşım tanıtılmıştır.

Beşinci bölümde; her bir endüstri için elde edilen deneysel sonuçlar, değerlendirmeleri ile birlikte verilmiştir.

Altıncı bölümde; her bir tesise ait atıksular üzerinde yürütülen deneyler sonucunda elde edilen spesifik maksimum çoğalma hızı, içsel solunum hızı katsayısı, kolay ayrışabilen organik madde ve çözünmüş inert madde konsantrasyon değerleri kısaca özetlenerek evsel ve sentetik atıksulara ait değerlerle karşılaştırılmıştır.

RESPIROMETRIC EVALUATION OF THE BIODEGRADABILITY CONFECTIONARY WASTEWATER

SUMMARY

Confectionary Plants constituents are an important branch of food industry from the standpoint of wastewater management. Wastewater is generated as part of the cleaning procedure within the process and consequently, a relatively small wastewater volume with high organic content is produced. Furthermore, the wastewater is quite unbalanced with respect to several significant constituents, with very low nutrient contents as compared to organic compounds. As such, it provides a good example of strong waste easily amenable to biological degradation, as the organic load is mainly composed of production residues in the process reactors. From a scientific view point, confectionary wastewaters are likely to reflect all the striking properties that have been recently identified and studied in connection to COD fractionation and especially, to readily biodegradable COD. In other words, it is a very suitable source for the evaluation of the behaviour of readily biodegradable substrate in aerobic biological treatment. In this context, this paper reviews and evaluates the biological treatability of confectionary wastewaters not only from a traditional engineering approach but to provide an additional inside and clarification to the concept of readily biodegradable COD as defined and tested in all the recent kinetic models.

Within the scope of the study, wastewaters from three different confectionary plants have been evaluated both with respect to similarities and differences in the production schemes and the volume and the characteristics of the process wastewaters generated. The wastewater volume per unit product, although low in general, varies from one product to the other, within the same plant. This parameter is observed to stay within the range of 0.17 - 3.2 m³ / ton of product for different types of candies in plant number 2. It goes up to 11 - 12 m³ / ton of product in plant number 1 mainly producing different types of chewing gums and in plant number 3, involved in the production of gummy candies and different types of drops, it goes even to higher values exceeding 20 m³ / ton of product. Wastewater characteristics associated with the three plants investigated are given in Table 1. As observed from the values of the table, the wastewater character changes

from one plant to the other, but maintains, the same general trend in the sense that all wastewaters have high total COD values ranging from 2800 to 6200 mg/lit with very high soluble fractions and depict a good biological treatability from the comparison of the relatively high BOD₅ / total COD ratios of 0,64 - 0,79. All the three wastewaters have, as expected very low S_s contents and low nitrogen and phosphorus concentrations. For example, the COD / N / P ratio in plant 1 wastewater calculated as 45 / 0,85 / 1, is very much different from the values commonly accepted for a healthy biological degradation.

Table 1 The Wastewater Characteristics Associated With 3 Plants

PARAMETERS	PLANT I	PLANT II	PLANT III
COD _{total} (mg/l)	2844	6221	3628
COD _{filt} (mg/l)	2495	5386	3016
BOD ₅ (mg/l)	1835	4909	2703
TKN (mg/l)	54	33	22
T-P (mg/l)	64	8,6	2,5
AKM (mg/l)	260	440	140
pH	5,1	4	4,8

The second part of the study has been devoted to the evaluation of biological treatability of the wastewaters, not in a conventional way as it is often tested in different size batch or continuous test reactors, but with a treatability oriented characterization approach using the recent possibilities associated with respirometric analysis techniques and similar experimental procedures enabling calculation of main of the kinetic constants such as the maximum heterotrophic growth rate, $\hat{\mu}_H$, endogenous decay rate, b_H and the determination of the basic COD fractions such as readily biodegradable COD, S_s, and inert soluble COD fraction, S_i.

The assesment of readily biodegradable substrate relies on the observation that the OUR may be experimentally managed to stay approximately constant during the consumption of S_s and drops to a second lower level when S_s is depleted. Therefore, S_s may be calculated from the equivalent oxygen consumption which is equal to the area between the OUR curve defined by the two plateaus, in accordance with the following expression (Ekama & Marais, 1986);

$$S_{s1} = \frac{\Delta O_2}{(1 - Y_H)} \frac{(V_{ml} + V_{ww})}{V_{ww}}$$

Where;

ΔO_2 : Mass of oxygen consumed by SS (area under OUR curve)

V_{ww} : Volume of wastewater in the mixture (L^3)

V_{ml} : Volume of mixed liquor in the mixture (L^3)

A sample observation for Plant I is given in Figure 1.

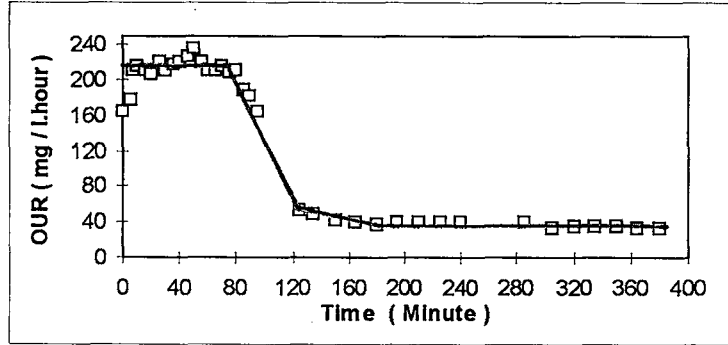


Figure 1 Change In The Values of S_s Belongs to Plant I (Set 1)

The assesment of maximum heterotrophic growth rate, $\hat{\mu}_H$, relies on the observation of the initial OUR at the F / M ratios recomended for the test. In this framework, the method developed Kappeler & Gujer (1992) involving a batch test with centrifuged wastewater and a very small amount of biomass corresponding to an initial COD / VSS ratio of 4 was used. For the observed OUR profile, the following linear expression may be derived, with a slope of $(\hat{\mu}_H - b_H)$;

$$\ln \frac{OTH}{OTH_0} = (\hat{\mu}_H - b_H).t$$

The OUR profile such a batch test belongs to Plant I is given in Figure 2.

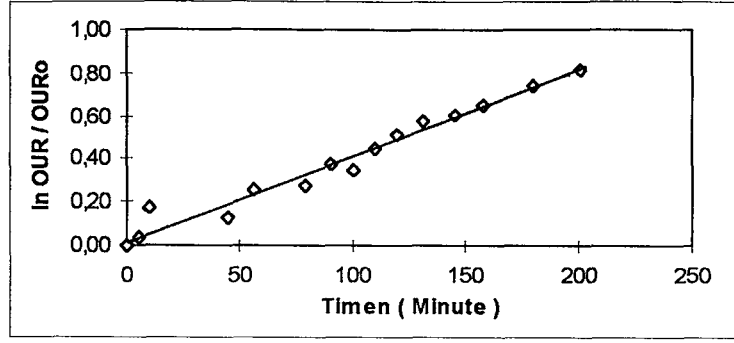


Figure 2 Batch-Test to Estimate $\hat{\mu}_H$ of Plant I (Set 1)

The experimental procedure of the determination of endogenous decay coefficient involves removing an activated sludge sample from a completely mixed system operated on a continuous basis and aerobically digesting it in a batch reactor where OUR rates are observed over a period of several days (Ekama & Marais, 1976). From the observed OUR profiles, the slope of the obtained curve will equal to the b_H coefficient can be calculated on the basis of the following expression;

$$\ln \frac{dS_0}{dt} = \ln[1.42(1 - f_E) \cdot b_H \cdot X_{H0}] - b_H \cdot t$$

A sample observation of this kinetic constant belongs to Plant I is given in Figure 3.

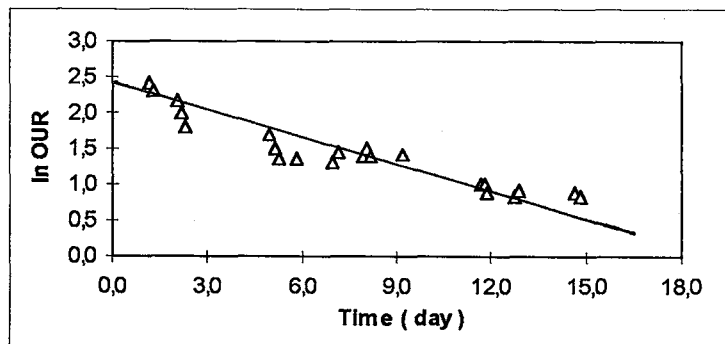


Figure 3 Change In The Values of b_H Belongs to Plant 1

For the assesment of initial inert soluble COD, the procedure proposed by Germirli *et all* (1990), involving the experimental observation of the residual COD in two parallel batch reactors one operated with glucose and the other with the wastewater tested, was used.

The results of the experiment related with the inert organic fraction of Plant I wastewater is given in Figure 4 as an example.

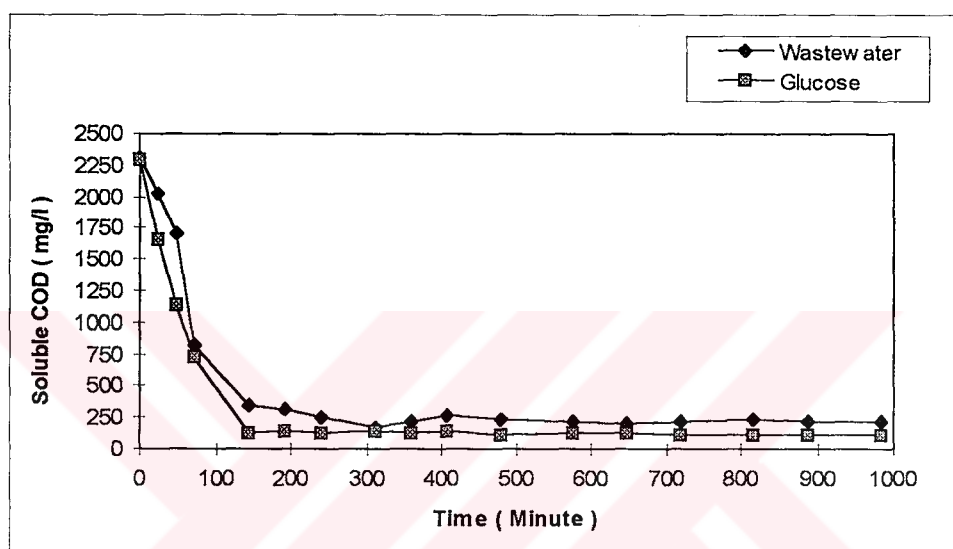


Figure 4 Change in the Values of S_i Belongs to Plant I

The experimental results obtained from respirometric measurements as well as from batch testes for the assesment of soluble inert COD fraction are summarized in Table 2.

Evaluation of the results related to the readily biodegradable COD, S_s , shows that in all the plants investigated, this component constitutes the major fraction of the wastewater COD. In the first plant, S_s is observed to vary in the range of 555 to 1365 mg /l, corresponding to S_s / C_T ratios between 0,38 - 0,70. The S_s value in the third plant, although higher, also represent a comparable fraction of the total COD. The second plant, however, producing different types of candies and delight, generates a wastewater of different character with a COD almost totally composed of readily biodegradable COD. Parallel test conducted two of the wastewater samples clearly indicate that the test for the assesment of S_s is quite reliable and producible. These results classify confectionary wastewaters quite differently from domestic sewage, basical characterized with an S_s level of around 30 - 50 mg / l, amounting to only 10 % of the total COD.

Table 2 Experimental Results

	F/M $\frac{\text{mg COD}}{\text{mg VSS}}$	C _T $\frac{\text{mg COD}}{\text{l}}$	S _T $\frac{\text{mg COD}}{\text{l}}$	S _S $\frac{\text{mg COD}}{\text{l}}$	S _S / C _T	S _S / S _T	$\hat{\mu}_H$ (/day)	b _H (/day)	f _{av}	OTH ₀ / f _{av} · X _H $\frac{\text{mg O}_2}{\text{mg VSS} \cdot \text{h}}$	S _i $\frac{\text{mg COD}}{\text{l}}$
PLANT I											
Set 1	1,14	2540	2235	1030	0,40	0,46	5,8	-	0,66	0,179	
Set 2.1	0,59	1950	1700	1365	0,70	0,80	5,1	-	0,66	0,158	
Set 2.2	0,65	1800	1495	1245	0,70	0,83	5,8	0,10	0,66	0,181	105
Set 3	0,72	1470	1230	555	0,38	0,45	3,6	-	0,42	0,111	
PLANT II											
Set 1.1	0,58	7765	6600	7366	0,95	1,105	4,1	-	0,95	0,127	
Set 1.2	0,75	7735	6385	6735	0,87	1,05	4,5	-	0,95	0,138	45
Set 2	0,58	8085	6775	7000	0,86	1,03	4,5	0,13	0,95	0,138	
PLANT III											
	0,91	3000	2500	1900	0,63	0,76	6,0	0,24	0,60	0,184	45

The maximum heterotrophic growth rate, $\hat{\mu}_H$, associated with confectionary wastewaters as observed to stay in the range of 3,8 - 6 day⁻¹. The slightly lower values for the second plant may be attributed to the effect of lower temperature during the experiment. These values compare well with the average $\hat{\mu}_H$ of 4,5 day⁻¹ for domestic sewage and with the range of 4,7 - 10 day⁻¹ for a synthetic waste of presumably the same character with confectionary wastes, obtained from similar experiments.

The soluble inert COD fraction stay very low for all the three wastes studied, a level of no practical significant for the design of biological treatment process.

The endogenous decay coefficient, b_H , is experimentally calculated as 0,10 day⁻¹ and 0,13 day⁻¹ for wastewaters from the first two plants and as 0,24 day⁻¹ for the third plant. This observation is the only one compatible with that commonly associated with domestic sewage.

Respirometric analysis conducted on confectionary wastes also yield useful information on the activitiy of heterotrophic biomass. Earlier studies indicate that the oxygen uptake rate under maximum growth conditions may be calculated to stay in the range of 130 - 150 mg O₂ / g active biomass.hour. Experimental results in the study yield OUR values of 111 - 184 mg O₂ / g active biomass.hour, in very good agreement with existing theoretical and experimental data, also providing additional support on the reliability of $\hat{\mu}_H$ results.

BÖLÜM 1 GİRİŞ

1.1 ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ

Günümüzde çevre kirliliği, insanlığın çevreyi bencilce ve sorumsuzca kullanması sonucu ortaya çıkan en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir. Bu kirlilikte, ilk önceleri dünyayı insanlar için daha kolay ve rahat yaşanabilir hale getirmek üzere faaliyet gösteren, fakat bunu yaparken çevre faktörünü dikkate almayarak ekolojik dengeyi altüst eden endüstrilerin atıklarının payı büyüktür. Özellikle bu endüstrilerin, düzensiz ve denetimsiz bir şekilde faaliyet göstermeleri sonucu öncelikle su kaynaklarımız bu kirlilikten en büyük yarayı almıştır.

Fakat insanoğlu, biraz gecikmeli de olsa, açtığı bu yaraları tedavi etmek üzere endüstriyel atıksu arıtımının önemini kavrayarak çeşitli bilimsel çalışmalar yapıp bunları uygulamaya geçirmeyi başarmıştır.

Uygulamada, endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin doğru olarak boyutlandırılmasında birinci aşama olarak atıksuların arıtma tesisine girişteki karakteristiklerinin doğru bir şekilde tanımlanması büyük önem taşır. Kompleks organik madde içeren atıksuların organik madde içeriğinin ölçülmesi, bu maddeleri ayrı ayrı ölçme imkanı olmadığından, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve toplam organik karbon (TOK) gibi kollektif parametrelere dayanır. Atıksu karakteristiklerinin tanımlanmasında en yaygın şekilde kullanılan kollektif parametre KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı)'dir. Ancak, bu parametrenin en önemli dezavantajı, girişteki kalıcı çözünmüş organik madde ile biyolojik olarak kolay ayrıışan organik madde arasındaki farkı belirleyememesidir. Bu nedenle, arıtma tesislerinin boyutlandırılmasının ikinci aşaması olarak, arıtma reaksiyonuna etki eden

faktörlerin ve sistem bileşenlerinin belirlenmesi gelmektedir. Bu amaçla, aktif çamur sistemleri ile çalışan bir endüstriyel atıksu arıtma tesisinin arıtılabilirliğinin belirlenmesi için, atıksudaki organik maddenin biyolojik ayrışabilirliğine etki eden kinetik parametrelerin ve atıksudaki çözünmüş kalıcı organik maddenin saptanması gereklidir. Böylece, sözkonusu endüstri dalı için yürürlükte olan deşarj standartlarının sağlanıp sağlanamayacağı konusuna açıklık getirilmiş olacaktır.

1.2 ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Bu çalışmanın amacı; şekerleme endüstrisi kategorisinde yer alan 3 ayrı tesisin atıksularının, basit olarak laboratuvar ölçekli kesikli sistemlerde biyolojik arıtma yönünden karakterizasyonunun (organik madde fraksiyonlarının belirlenmesi) yapılması, biyolojik arıtılabilirliği yansıtan temel kinetik sabitlerin belirlenmesidir.

Bu çalışmaya konu olan şekerleme endüstrisi genel anlamda tanıtılmış ve ardından bu endüstri dalında faaliyet gösteren 3 ayrı tesisin, üretim akım şemaları ile birlikte atıksularının karakterizasyon sonuçları verilmiştir.

Her bir tesisin arıtma girişinden alınan atıksu numuneleri üzerinde karakterizasyon ölçümleri yapıldıktan sonra, çözünmüş kalıcı KOİ (S_I) ve biyolojik ayrışabilirlik kinetiklerinin belirlenmesi amacıyla bir dizi deney yürütülmüştür.

BÖLÜM 2. ARAŞTIRMA KONUSU TESİSLERİN ÖZELLİKLERİ

2.1 ŞEKERLEME ENDÜSTRİSİNİN GENEL KARAKTERİSTİKLERİ

Şekerleme endüstrisi; lokum, yumuşak - dolgulu - dolgusuz şeker, çikolata, gofret , ciklet, draje, ezme...vb. şekerleme ürünlerini üreten kuruluşları kapsar.

Şekerleme endüstrisinde kullanılan su miktarının yüksek ancak oluşan atıksu miktarının düşük olmasına rağmen yüksek kirletici konsantrasyona sahip olması, bu endüstrinin çevreye verdiği organik - inorganik kirliliğin yüksek olmasına neden olduğundan ve şimdiye kadar hakkında pek fazla çalışma yapılmamış olmasından dolayı, öncelikli olarak incelenmesi ve hakkında daha detaylı bilgilerin oluşturulması gereken endüstrilerden biridir.

Bu endüstri dalında faaliyet gösteren tesislerden kaynaklanan atıksular genellikle asidik karakterde olup, yüksek organik madde içerikli ve nütrient maddeler açısından fakir bir yapıya sahiptir. Başlıca kirletici parametreleri BOİ ve KOİ'dir. Her ne kadar kolay ayrıştığı varsayılan glükoz veya onun türevi olan maddeleri içerseler de, arıtıldıkları arıtma tesislerinin sorunsuz ve kolay işletilmeleri açısından, laboratuvarında model ölçekte incelenmesinde yarar vardır.

Bu endüstride kullanılan ana hammadeler; şeker, glükoz, su ve çeşitli türde tad ve koku veren katkı maddeleri olup, bunun yanında çeşitli yaş ve kuru meyveler, ana hammadelerden hazırlanmış şurupla kaplanmak üzere kullanılabilir.

2.2 ÜRETİM ÖZELLİKLERİ

Şekerleme endüstrisi dalında İstanbulda faaliyet gösteren ve ana üretimleri birbirinden farklı olan 3 tesisin atıksuyu üzerinde çalışmalar yapılmış ve bu tesislere ait üretim akım şemaları, atıksularının özellikleri ve değerlendirilmesi alt bölümler halinde sunulmuştur.

2.2.1 TESİS I

İSTANBUL-İkitelli semtinde faaliyet göstermekte olan Dandy sakız ve şekerleme A.Ş.; şekerli ve şekersiz sakız ürünleri imal etmektedir.

Tesiste 8⁰⁰ -16⁰⁰, 16⁰⁰ - 24⁰⁰ ve 24⁰⁰ - 08⁰⁰ saatleri arasında üç vardiya halinde çalışılmaktadır. Her vardiyada çalışan işçi sayısı 150 kişi olup, toplam çalışan işçi sayısı 450 kişidir. Memur kadrosu ile birlikte bu sayı 500'ü bulmaktadır.

Fabrika haftada 6 gün olmak üzere senede toplam 290 gün faaliyette bulunmaktadır.

Fabrikada şekerli ve şekersiz sakız olmak üzere başlıca iki ürün üretilmekte olup yıllık olarak toplam 12000 ton'luk bir üretim gerçekleştirilmektedir. Bunun ortalama olarak 1500 tonunu şekersiz sakız, 8500 tonunu da şekerli sakız oluşturmaktadır.

Her iki üretimde de kullanılan maya, çeşitli reçine ve hammaddelerin (% 0.5 Amonyumhidrojen fosfat, %1.5 tuz, %5 parafin, %35 sulu lateks ve %58 reçine ve tabii hammedeler) biraraya getirilerek maya mikserlerinde karıştırılması sonucunda elde edilmektedir. 3'ü 5 ton'luk ve 4'ü de 500 kg'lık olmak üzere fabrikada toplam 7 adet maya mikseri bulunmaktadır. Maya bu mikserlerde hazırlandıktan sonra, bir kısmı şekersiz sakız bir kısmı da şekerli sakız üretiminde kullanılmak üzere depolara kaldırılır.

Şekersiz sakız üretim prosesinde, depodan alınan hazır maya sırasıyla aşağıdaki işlemlere tabi tutulur ;

Maya, mikserlerde 4-6 Atü buhar basıncı verilmek suretiyle 2-6 saat süreyle karıştırılır. Karıştırma işleminin belirli safhalarında, maya içinde mayanın açlığına yol açacak tuz vb. maddelerin uzaklaştırılması için, maya su ile 4-5 kez yıkanır ve bunun sonucunda bu prosesten 56 m³ / gün'lük bir atıksu oluşur. Bu işlemin sona ermesiyle, şekersiz sakız üretiminde kullanılacak maya, kalıplara dökülerek depolarda muhafaza edilir. Üretim yapılacağı zaman depolardan alınan bu mayalar, 200 lt / 300 kg ürün kapasitesinde ikinci bir mikserde, belirli bir sıcaklık ve basınçta tekrar karıştırılarak, kullanıma hazır hale getirilir. Daha sonra, sıcak halde bulunan hamur, 1.5 ton kapasitesindeki soğutma havuzunda temaslı soğutmaya tabi tutulur. Burada soğutma işlemi, hamurun soğuk su içinde elle yoğrulması şeklinde yapılır. Yine bu işlem sonucu prosesten 6 m³ / gün'lük atıksu oluşmaktadır.

Soğutulan hamur, 100 kg/saat kapasiteli 3 adet pulling (Hamur germe) makinasına alınır. Burada hamur gerilmek suretiyle uzatılır. Daha sonra, 100-300 kg kapasitesindeki ekstruder makinasına verilerek ip halinde çekilip uzatılır. İp haline getirilen hamur, soğutma tüneli adı verilen 80 m uzunluğundaki bant üzerinde, soğuk hava verilip +40C'ye kadar soğutulur. Soğutulmuş ve kullanıma hazır hale gelen sakız, kesme makinalarında belirli boyutlarda kesildikten sonra ambalajlanarak tüketime sunulur.

Şekerli sakız üretim prosesinde, depodan alınan hazır maya şekersiz sakız üretimindeki gibi bir yıkama işlemine tabi tutulmamaktadır. Burada maya şekerli hamur mikserine alınarak, üzerine belirli oranlarda şeker, glükoz ve esans ilave edilip belirli bir buhar basıncı ve sıcaklık altında bir süre karıştırılır. Bu karıştırma işlemi sonucunda elde edilen hamurun bir kısmı ekstruder makinasında ip halinde çekilirken, diğer bir kısmı da ip halinde uzatıldıktan sonra küçük küçük kesilerek top veya draje şeklinde şekillendirilir. Top ve draje şeklinde şekillendirilen hamur, 60 kg/saat kapasiteli

30 adet döner kaplama kazanlarında, üzerine daha önce hazırlanan şurup ve renklendirici maddelerin ilave edilmesi suretiyle kaplama işlemine tabi tutulur. Daha sonra, yine 60 kg/saat kapasiteli 10 adet kazanda da top ve draje şeklindeki şekerli sakızlar parlatılır ve daha sonra ambalajlanarak tüketime sunulur.

Ekstruderde ip halinde çekilen hamur ise, şekersiz sakız üretimindeki gibi soğutma tüneline +4 °C' ye soğutulduktan sonra ambalajlanarak tüketime sunulur.

Sözkonusu iki üretim prosesinden biri olan şekersiz sakız prosesinde, üretim sırasında atıksu oluşurken şekerli sakız üretiminde bu durum sözkonusu değildir. Ancak, her iki üretim prosesinde hafta sonları ekipmanların yıkanması sonucu bir atıksu oluşumu sözkonusu olmaktadır.

Fabrikadaki su kullanımı ise aşağıda belirtildiği miktarlardadır ;

- Üretim proseslerinde : 62 m³/gün
- Kazan yıkamada : 4 m³/gün
- Soğutma bölümünde : 3 m³/gün
- Evsel kullanım : 20 m³/gün
- Mutfakta : 5 m³/gün
- Bahçe sulamada : 4 m³/gün

Fabrikada atıksu oluşumu ve miktarları ise aşağıda belirtildiği gibidir ;

- Üretim sırasında oluşan atıksu : 62 m³/gün
- Yer yıkama sonucu oluşan atıksu : 2 m³/gün
- Ekipmanların yıkanması : 4 m³/gün
- Kazan dairesi blöf suları : 1 m³/gün

Bu verilere göre, fabrikadan günde ortalama olarak yaklaşık 69 m³ atıksu oluşmaktadır. Bu tesise ait üretim akım şeması Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

- %0.5 Amonyumhidrojenfosfat

- %1.5 Tuz

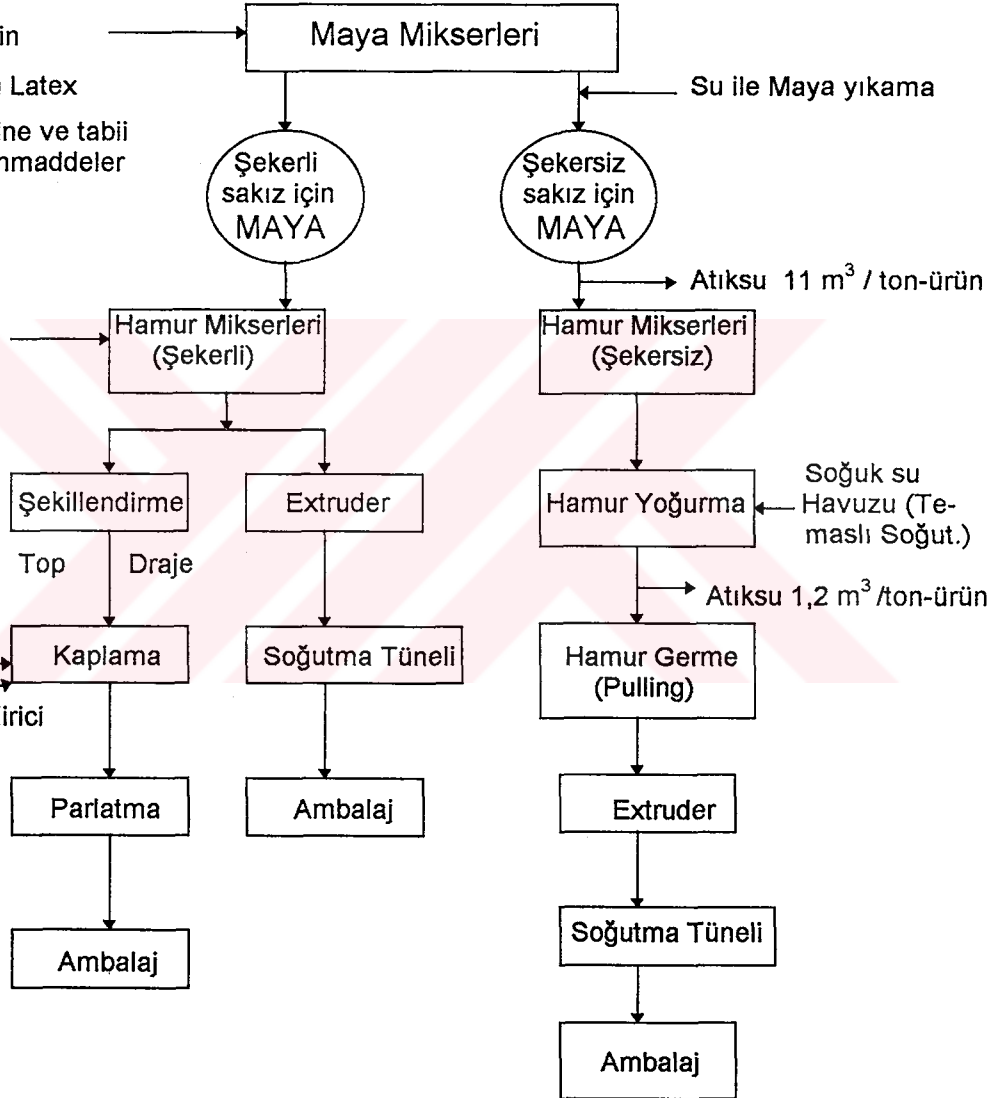
- %5 Parafin

- %35 Sulu Latex

- %58 Reçine ve tabii Hammaddeler

- Şeker
- Glükoz
- Esans

- Şurup
- Renklendirici Maddeler



Şekil 2.1 Şekerli - Şekersiz Sakız Üretim Akım Şeması

2.2.2 TESİS II

Pendik-KURTKÖY semtinde faaliyet göstermekte olan Hacıbekir lokumları San. A.Ş.; Akide şekeri, Lokum (sade ve meyveli), Ezme, Draje, Şerbet şekeri, Nöbet şekeri, Çikolata ve Yaş meyve şekerlemesi ürünlerini imal etmektedir.

Tesiste 08⁰⁰ - 18⁰⁰ saatleri arasında tek vardiya halinde çalışılmaktadır. Vardiyada çalışan işçi sayısı 17 kişi olup, toplam çalışan personel sayısı 40 kişidir.

Fabrika haftada 6 gün olmak üzere senede toplam 290 gün faaliyette bulunmaktadır.

Fabrikada imal edilen ürünlerin ortalama yıllık üretim miktarları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Yıllık Üretim Miktarları

ÜRÜN TİPİ	MİKTAR
Akide şekeri	80 ton
Lokum	350 ton
Ezme	174 ton
Draje	75 ton
Şerbet şekeri	15 ton
Nöbet şekeri	12 ton
Yaş meyve şekerlemesi	9 ton
Çikolata	22 ton

2.2.2.1 Akide Şekeri Üretimi

Belirli oranlarda şeker, su ve potasyum bitartarat, pişirme kazanlarında (15-20 kg ürün kapasiteli, 2 adet) 160-180 °C'ye kadar belirli bir basınç ve

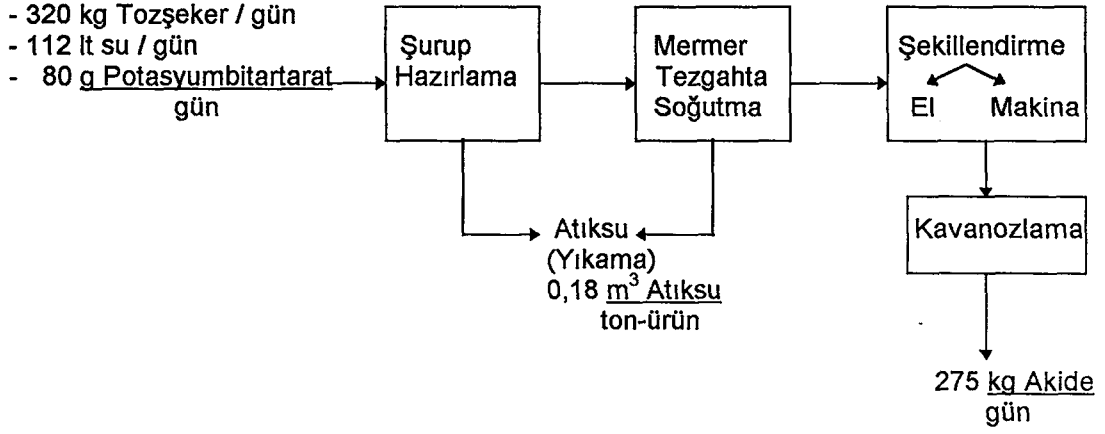
sıcaklık altında 45 dk süreyle pişirilir. Elde edilen şurup, işleme derecesi olan 90 °C' ye kadar soğutulmak üzere mermer tezgah üzerine dökülür. Boyalı akide yapılacağı zaman, pişirme işleminin bitiminden hemen önce 300 mg/kg-ürün boya olacak şekilde şuruba ilave edilip daha sonra 10 dakika süren bir soğutma işlemi yapılır. Daha sonra, cinsine göre üzerine aroma veya meyve (fındık, kakao, susam...vs) ilavesi yapılarak hem elle hem de makina ile şekillendirme işlemi yapılır.

Bu üretim prosesinde, üretim sırasında herhangi bir atıksu oluşumu söz konusu olmamakta, ancak ekipmanların yıkanması sonucu 50 lt/gün atıksu (0.18 m^3 atıksu / ton-ürün) oluşmaktadır. Bu üretime ait akım şeması Şekil 2.2' de gösterilmiştir.

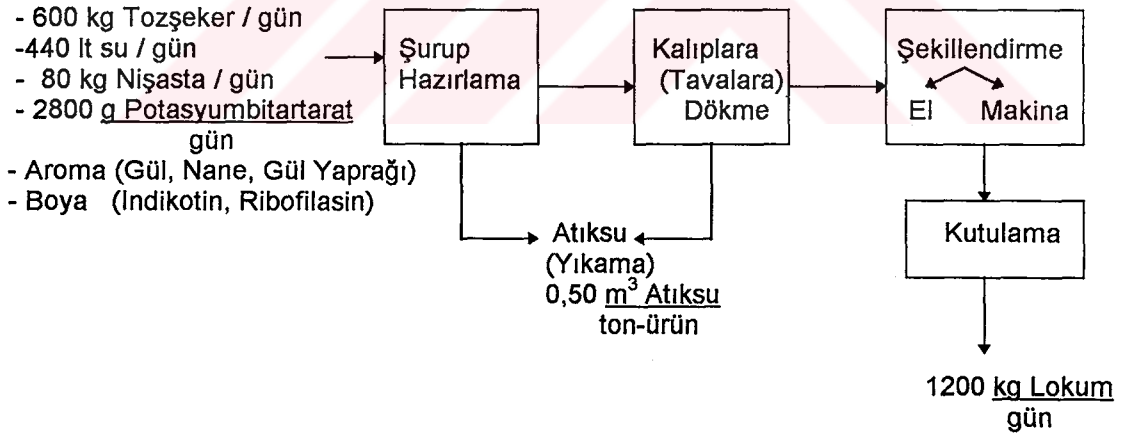
2.2.2.2 Lokum Üretimi

Fabrikada, sade ve meyveli olmak üzere iki tip lokum üretilmektedir. Belirli oranlarda şeker, su, nişasta ve potasyum bitartarat, 115-120 °C'ye kadar pişirme kazanlarında (2 adet) yaklaşık 2.5 saat süreyle pişirilir. Pişirme işlemi bittikten sonra, herbiri 7 kg kapasiteli dikdörtgen şeklindeki kalıplara (28 adet) hazırlanan bu şurup dökülür. Ortamın sıcaklığına bağlı olarak 1-2 gün dinlendirilip kalıpta soğutulur. Sonra hem makina hem de elle şekillendirme işlemi yapılarak kutularda ambalajlanır.

Bu üretim prosesinden ekipmanların yıkanması ve farklı cins lokum üretimlerine geçişlerde ekipmanın yıkanması sonucu yaklaşık 600 lt/gün atıksu (0.50 m^3 atıksu / ton - ürün) oluşmaktadır. Bu üretimle ilgili akım şeması Şekil 2.4' de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Akide Şekeri Üretimi Proses Akım Şeması



Şekil 2.3 Lokum Üretimi Proses Akım Şeması

2.2.2.3. Ezme Üretimi

Badem, ilkönce toz vb. maddelerden temizlenmek üzere ayıklanıyor. Dışındaki kabuğu soymak üzere 100 °C' de haşlama kazanında (1 adet, 50 kg badem) haşlanır. Daha sonra, soyma makinasında (2 adet) kabuğu tamamen soyulduktan sonra elde edilen beyaz badem kurutularak stoklanır.

Belirli oranlarda şeker ve su 140 °C' de pişirilerek şeker şurubu hazırlanır. Pişirme işlemi bir yandan devam ederken diğer yandan bademiçi ve pudra şekeri, kırma ve silindir makinalarından geçirilerek hamur haline getirilir. Hazırlanan şurup, hamur haline getirilen bu karışıma ilave edilerek yaklaşık 30 dk karıştırılır ve 1 saat soğumaya bırakılır. Soğutulduktan sonra, yoğurma makinasında pudra şekeri ilave edilir. Daha sonra, elle ve makina ile şekillendirme işlemi yapıp ambalajlanarak tüketime sunulur.

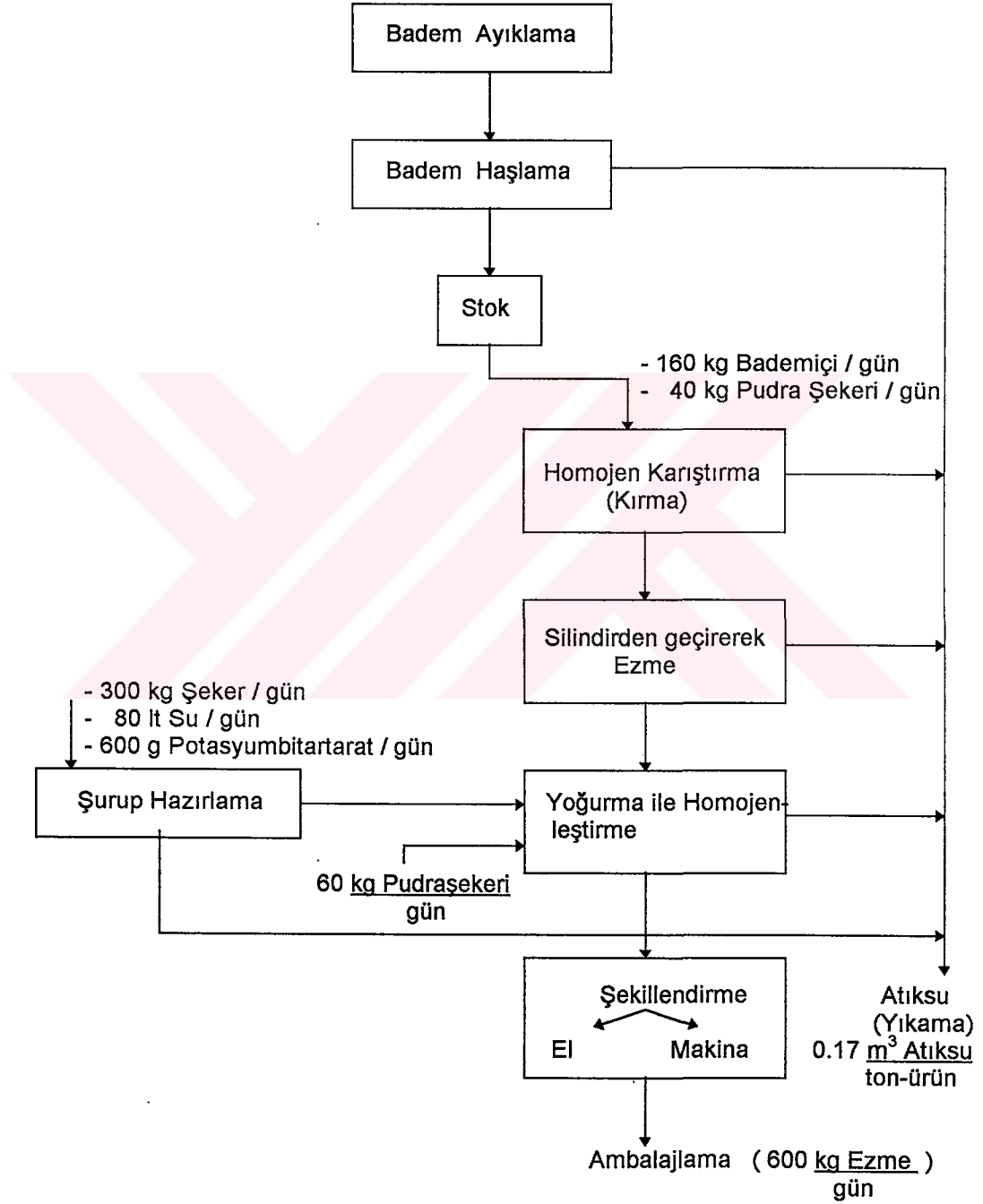
Yumuşak draje üretiminde ise badem yerine değişik meyveler kullanılır. Bu meyveler değişik boyutlarda ve şekillerde kesilerek döner tavalarda bu kez ısıtılmadan soğuk kaplama işlemine tabi tutulur.

Bu üretim prosesinde ekipmanların temizlenmesi işlemi, silindir makinası ve yoğurma makinasının günlük olarak silinmesi şeklinde yapılmaktadır. Bu prosesten günde yaklaşık 100 lt/gün atıksu (0.17 m³ atıksu / ton - ürün) oluşmaktadır. Bu üretime ait proses akım şeması Şekil 2.4' de gösterilmiştir.

2.2.2.4 Draje Üretimi

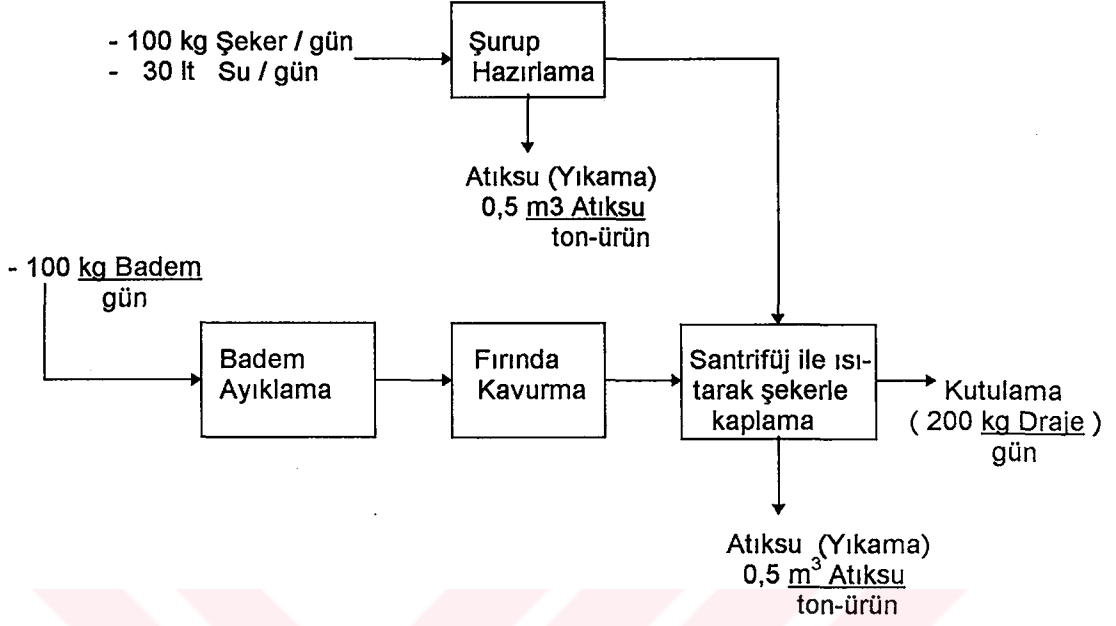
Belirli oranlarda şeker ve su, 120 °C' ye kadar kaynatılarak şurup hazırlanır. Bu arada bademler belirli bir sıcaklıkta fırında kavrulur. Kavrulan bademler, döner tavalara (25 kg/tava-adet, 4 adet) alınır. Hazırlanan şurup, alttan ısıtılan döner tavalardaki bademe 8 saat süreyle nüfuz ettirilir. Bu işlem bittikten sonra tavalardan alınarak paketlenir.

Bu üretim prosesinde ekipmanların temizlenmesi işlemi, tavaların günlük olarak silinmesi şeklinde yapılmaktadır. Bu prosesten günde yaklaşık 200 lt/gün atıksu (1 m³ atıksu / ton - ürün) oluşmaktadır. Bu üretime ait proses akım şeması Şekil 2.5' de gösterilmiştir.

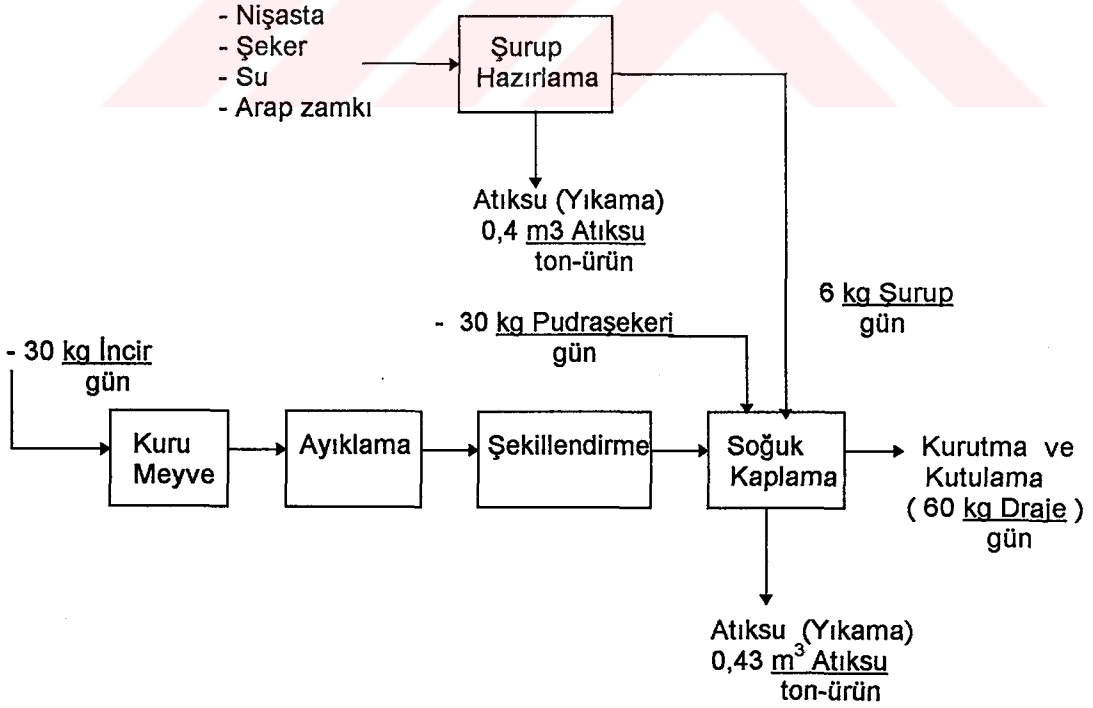


Şekil 2.4 Ezme Üretimi Proses Akım Şeması

SERT DRAJE :



YUMUŞAK DRAJE :



Şekil 2.5 Sert ve Yumuşak Draje Üretimi Proses Akım Şemaları

2.2.2.5 Şerbet Şekeri Üretimi

Belirli oranlarda şeker ve su, 140 °C'ye kadar 1 saat süreyle 100 lt hacmindeki şurup hazırlama kazanında kaynatılarak şurup hazırlanır. Pişirme bitiminden az önce şekeri renklendirecek boya maddesi belirli bir miktar ilave edilir. Pişirme işlemi bittikten sonra da yaklaşık 2 lt gülsuyu ilavesi yapılır. Daha sonra şekillendirmek amacıyla 1 m çapındaki bakır tepsilere (25 lt/adet, 4 adet) dökülür ve tepsilerde soğutmaya bırakılır. Daha sonra da tepsilerde belirli şekillerde kesilerek ambalajlanır.

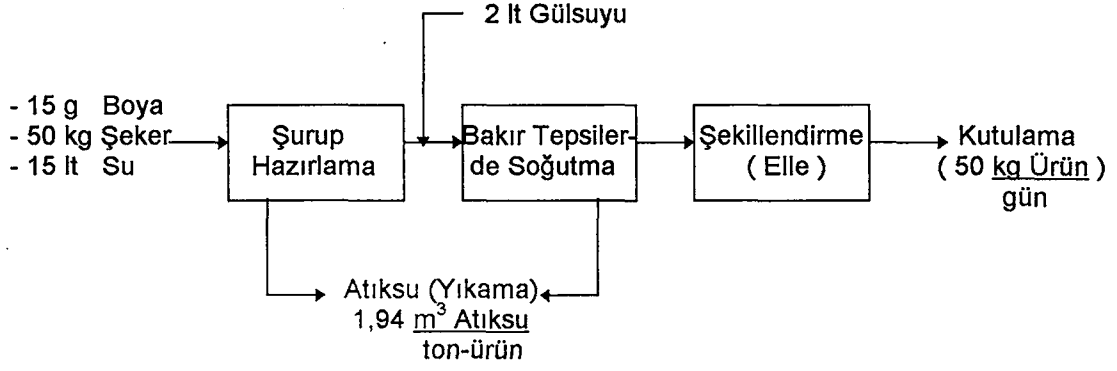
Bu üretim prosesinde ekipmanların temizlenmesi işlemi, şurup kazanı ve tepsilerin yıkanması şeklinde yapılmakta ve bu işlem sonucunda oluşan atıksu miktarı yaklaşık 100 lt / gün (1.94 m³ atıksu / ton - ürün) olmaktadır. Bu üretime ait proses akım şeması Şekil 2.6' da gösterilmiştir.

2.2.2.6 Nöbet Şekeri Üretimi

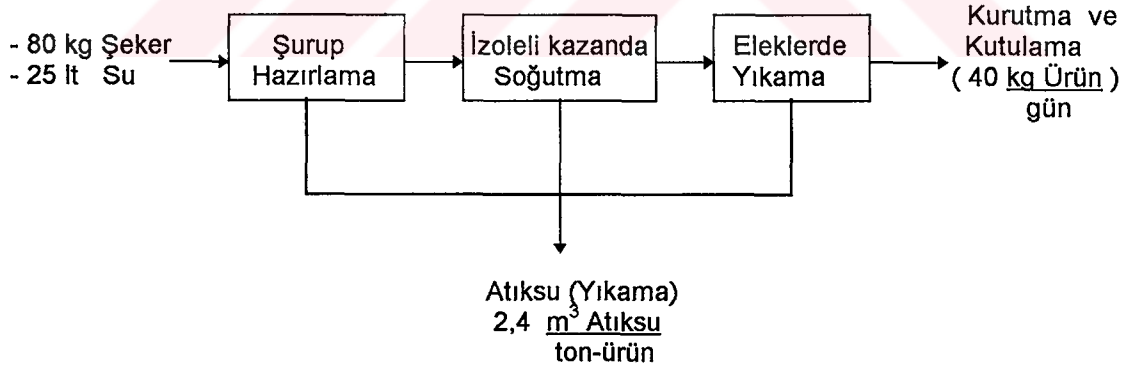
Belirli oranlarda şeker ve su, 125 °C' ye kadar 1 saat süreyle 100 lt hacmindeki şurup hazırlama kazanında kaynatılarak şurup hazırlanır.

Diğer yandan, içiçe ağaç talaşı ile izolasyonlu kazana, hazırlanan bu şurup konur ve hemen soğumaması için ağzı kapatılır ve etrafı dış ortamdan izole edilecek şekilde örtülür. Yaklaşık 8 gün bu kazan içinde bekletilir. Bu sürede, şurup içindeki şeker kazan içinde yer alan ip etrafında zamanla yoğunlaşarak sertleşir. Bu süre sonunda elde edilen ürün yüzeyinde kalmış olabilecek şeker şurubundan temizlenmek üzere elekler üzerinde yıkanır. Daha sonra kurutularak ambalajlanır.

Bu üretim prosesinde, mevcut 1 adet izolasyonlu kazanın ve eleklerin yıkanması sonucu yaklaşık 100 lt / gün atıksu (2.4 m³atıksu / ton-ürün) oluşmaktadır. Bu üretime ait proses akım şeması Şekil 2.7' de gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Şerbet Şekeri Üretimi Proses Akım Şeması



Şekil 2.7 Nöbet Şekeri Üretimi Proses Akım Şeması

2.2.2.7 Yaş Meyve Şekerlemesi Üretimi

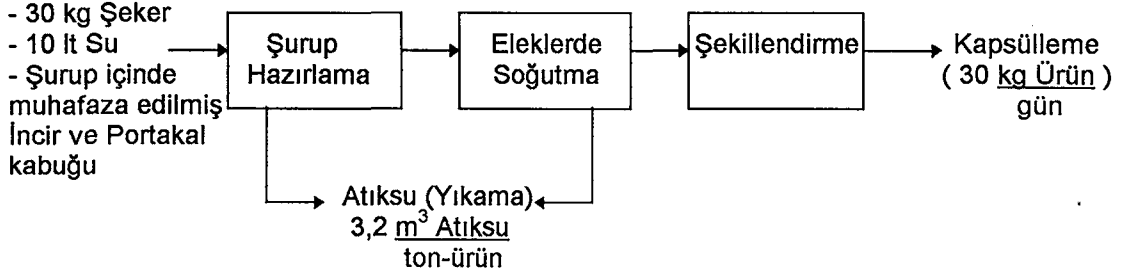
Belirli oranlarda şeker ve su karıştırılarak 120 °C'ye kadar kaynatılıyor. Aynı bir yerde şeker şurubu içinde muhafaza edilen incir ve portakal kabuğu, hazırlanan bu şeker şurubu içinde yaklaşık 15 dk pişiriliyor. Daha sonra elekten süzülerek soğutuluyor. Elle şekillendirme işlemi yapıldıktan sonra özel kapsüller içinde tüketime sunuluyor.

Bu üretim prosesinde, elek ve kazanın yıkanması sonucu günde yaklaşık 100lt/gün atıksu (3.2 m³ atıksu / ton - ürün) oluşmaktadır. Bu üretime ait proses akım şeması Şekil 2.8' de gösterilmiştir.

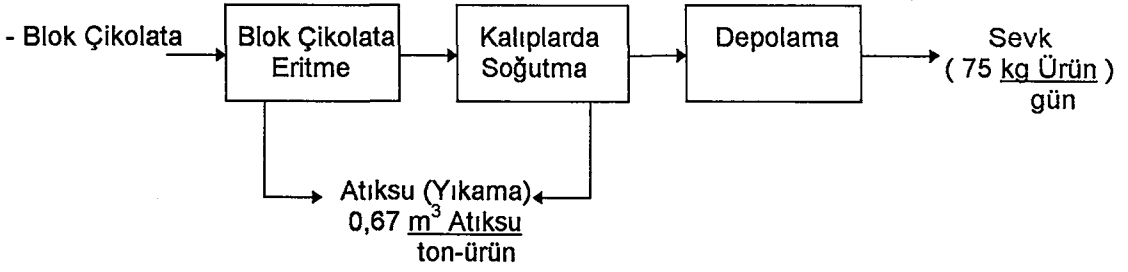
2.2.2.8 Çikolata Üretimi

Dış piyasadan 1.5 kg'luk bloklar halinde getirilen çikolatalar, alttan ısıtmalı tezgahlar üzerinde eritilir. Daha sonra yaklaşık 30 °C işleme sıcaklığına soğutulur. Halen sıvı halde bulunan çikolata, kalıplara dökülerek dolaplarda muhafaza edilerek tüketime sunulur.

Bu üretim prosesinde, kalıpların silinerek ve tezgahın yıkanarak temizlenmesi sonucu yaklaşık 50 lt / gün atıksu (0.67 m³ atıksu / ton - ürün) oluşmaktadır. Bu prosese ait üretim akım şeması Şekil 2.9' de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Yaş Meyve Şekerlemesi Üretimi Proses Akım Şeması



Şekil 2.9 Çikolata Şekillendirme Proses Akım Şeması

2.2.3 TESİS III

Şişli-BOMONTİ semtinde faaliyet göstermekte olan Şişli Kent Gıda A.Ş.; Yumuşak şekerleme, dolgulu ve dolgusuz sert şekerleme ürünlerini imal etmektedir.

Tesiste, 07⁰⁰ - 19⁰⁰ ve 19⁰⁰ - 07⁰⁰ saatleri arasında iki vardiya halinde çalışılmaktadır. Her vardiyada çalışan işçi sayısı 197 kişi olup, toplam çalışan vasıfsız işçi sayısı 394 kişidir. Memur kadrosu ile birlikte bu sayı 450'yi bulmaktadır. Haftada 6 gün olmak üzere fabrikada senede toplam 290 gün faaliyette bulunmaktadır.

Fabrikada; üretim, yemekhane ve evsel kullanımlar olmak üzere ortalama olarak 100 ton/gün su kullanımı gerçekleşmektedir.

Fabrikada; yumuşak ve dolgulu-dolgusuz sert şekerleme olmak üzere başlıca 3 tip ürün üretilmekte olup günlük olarak toplam 25 ton'luk bir üretim gerçekleştirilmektedir. Bunun ortalama olarak 10 tonunu yumuşak şekerleme, 15 tonunu da dolgulu-dolgusuz sert şekerleme ürünleri oluşturmaktadır.

Bu ürünlerin proses akım şemaları ve bu proseslere ait açıklayıcı bilgiler aşağıda verilmiştir ;

2.2.3.1 Yumuşak Şekerleme

Şurup hazırlama tankında (300lt,1 adet), belirli oranlarda toz şeker, su, glükoz ve çeşitli katkı maddeleri belirli bir buhar basıncı altında ısıtılıp karıştırılarak ürün yapımında kullanılacak şurup hazırlanır. Daha sonra hazır hale gelen şurup, serpantin borular vasıtasıyla vakumlanarak pişirme kazanına (300 lt,1 adet) verilir. Şurup pişirme kazanında belirli bir dereceye kadar pişirilir ve sonra vakumlanır. Burada pişmiş hale gelen hamur,

basınçlı hava verilerek çırpma kazanına aktarılır. Çırpma kazanında, hamura çeşitli bazik katkı maddeleri katılıp basınçlı hava verilmek suretiyle hamur çırpılır. Buradan çıkan çırpılmış hamur, yine basınçlı hava altında soğutma tanburuna kadar yürütülür. Soğutma tanburunda soğutulan hamur, otomatik pistonlar vasıtasıyla çekme makinasına aktarılır. Burada düz halde çekilen hamur, soğutma bandında soğutularak, kesme makinasında kesilir. Daha sonra ince rulolar haline getirilmek üzere ekstrudere verilir. Ekstruderden çıkan ürün, soğutma tüneli içine şaşırtmalı olarak yerleştirilen bantlar üzerinden geçirilerek soğutulur. Daha sonra, kesme makinalarında belirli şekillerde kesilen ürün ambalajlanarak tüketime sunulur.

Bu üretim prosesinde üretim sırasında bir atıksu oluşumu söz konusu değildir. Ekipmanların temizlenmesi, şurup kazanı ve pişirme kazanının hergün yıkanması ve diğer ekipmanların da haftada bir silinmesi şeklinde yapılmaktadır. Bu temizleme işlemleri sonucunda, yaklaşık 630 lt / gün atıksu (18.5 m³ atıksu / ton - ürün) oluşmaktadır. Bu prosese ait üretim akım şeması Şekil 2.10' da gösterilmiştir.

2.2.3.2 Sert Şekerleme

2.2.3.2.1 Dolgulu Sert Şekerleme

Şurup hazırlama tankında (300lt,1 adet), belirli oranlarda toz şeker, su, glükoz ve çeşitli katkı maddeleri belirli bir buhar basıncı altında ısıtılıp karıştırılarak ürün yapımında kullanılacak şurup hazırlanır. Daha sonra hazır hale gelen şurup, serpantin borular vasıtasıyla vakumlanarak pişirme kazanına (300 lt,1 adet) verilir. Şurup pişirme kazanında belirli bir dereceye kadar pişirilir ve sonra vakumlanır. Buradan karıştırma makinasına (1 adet) aktarılarak homojen bir şekilde karıştırılan hamur, yoğurma makinasında (1 adet) yoğrulmak suretiyle içindeki şurup hamura iyice nüfuz ettirilir. Yoğrulan hamur rulo makinasında kalın rulo haline getirildikten sonra, mayi ve toz dolgu malzemesi ilave edilerek makara makinasına geçirilir. Burada daha ince

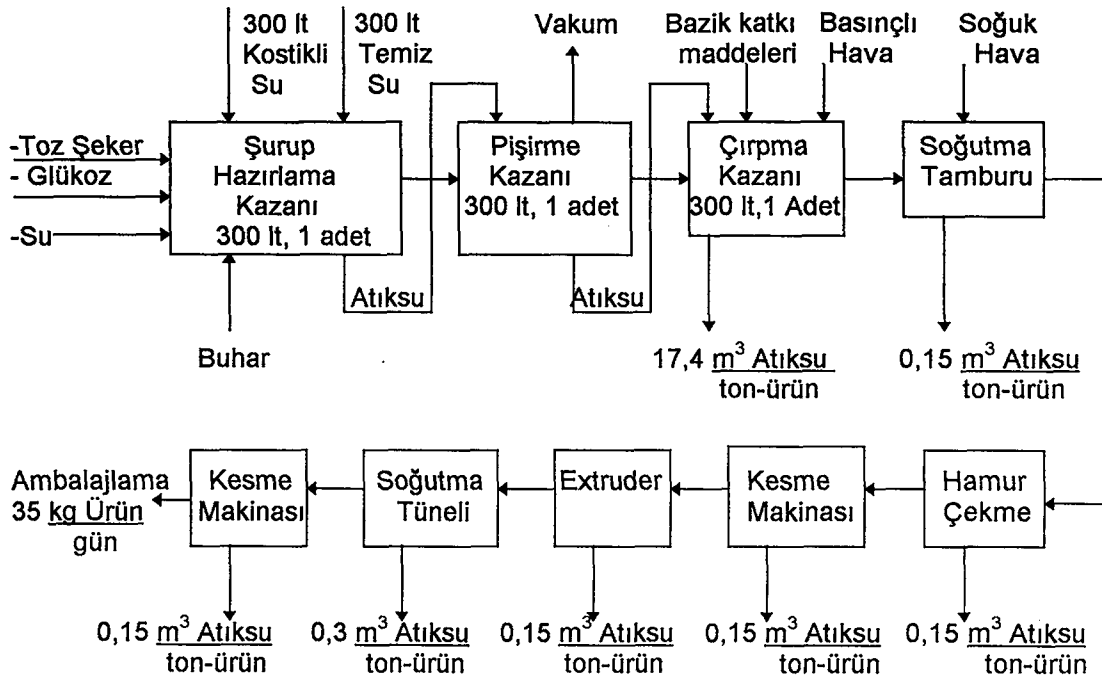
rulo haline getirilen ürün, şekillendirme makinasında şekillendirildikten sonra soğutma tüneline soğutulur. Daha sonra paketlenerek tüketime sunulur.

Bu üretim prosesinde üretim sırasında bir atıksu oluşumu sözkonusu değildir. Ekipmanların temizlenmesi, şurup kazanı ve pişirme kazanının hergün yıkanması ve diğer ekipmanların da haftada bir silinmesi şeklinde yapılmaktadır. Bu temizleme işlemleri sonucunda yaklaşık 630 lt / gün atıksu (24.5 m³ atıksu / ton - ürün) oluşmaktadır. Bu prosese ait akım şeması Şekil 2.11' de gösterilmiştir.

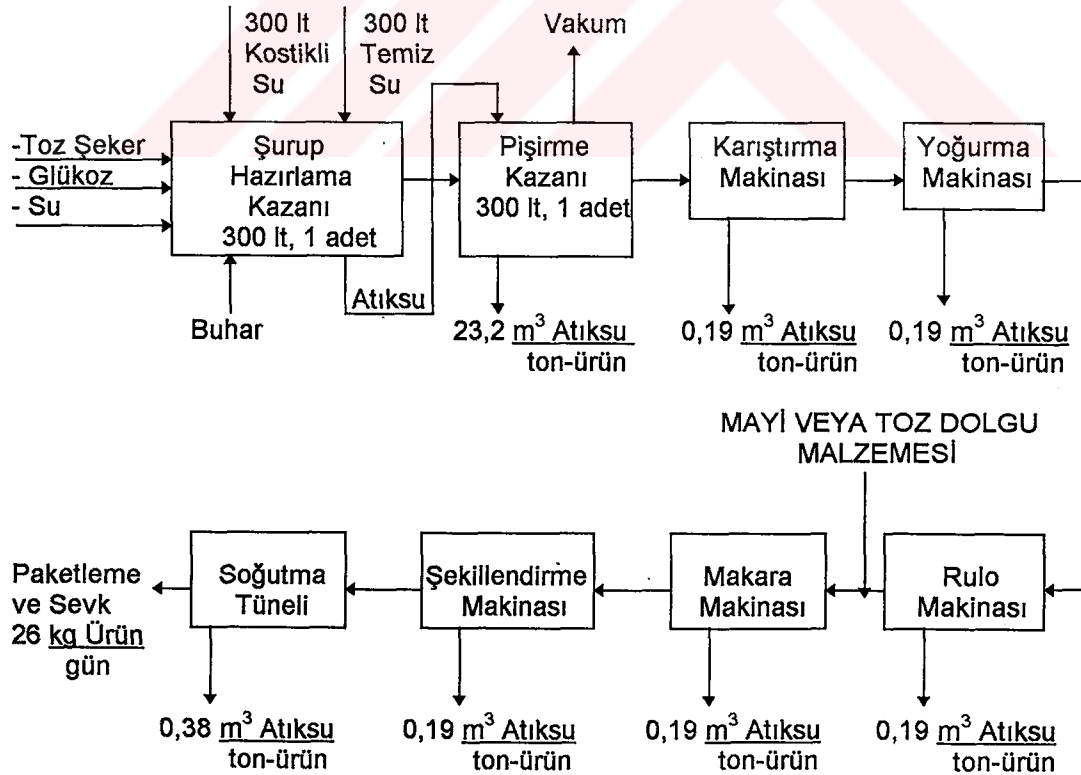
2.2.3.2.2 Dolgusuz Sert Şekerleme

Şurup hazırlama tankında (300lt,1 adet), belirli oranlarda toz şeker, su, glükoz ve çeşitli katkı maddeleri belirli bir buhar basıncı altında ısıtılıp karıştırılarak ürün yapımında kullanılacak şurup hazırlanır. Daha sonra hazır hale gelen şurup, serpantin borular vasıtasıyla vakumlanarak pişirme kazanına (300 lt,1 adet) verilir. Şurup pişirme kazanında belirli bir dereceye kadar pişirilir ve sonra vakumlanır. Pişirme kazanından alınan hamura çeşitli türlerde aroma dozajlaması yapıldıktan sonra, hamurun pistonlar vasıtasıyla kalıplara döküldüğü depozitör makinasına verilir. Kalıplara dökülen hamur burada vakumlandıktan sonra soğutma tüneline aktarılır. Burada belirli bir dereceye kadar soğutulan ürün ambalajlama makinasına verilerek ambalajlanır ve sonra tüketime sunulur.

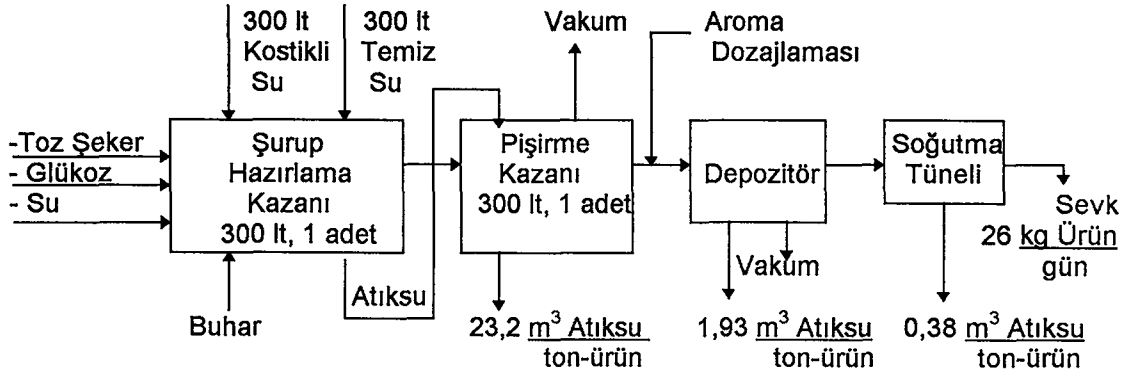
Bu üretim prosesinde üretim sırasında bir atıksu oluşumu sözkonusu değildir. Ekipmanların temizlenmesi, şurup kazanı ve pişirme kazanının hergün yıkanması ve diğer ekipmanların da haftada bir silinmesi şeklinde yapılmaktadır. Bu temizleme işlemleri sonucunda yaklaşık 660 lt / gün atıksu (25.4 m³ atıksu / ton - ürün) oluşmaktadır. Bu üretim prosesine ait akım şeması Şekil 2.12' de gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Yumuşak Şekerleme Üretimi Proses Akım Şeması



Şekil 2.11 Dolgulu Sert Şekerleme Üretimi Proses Akım Şeması



Şekil 2.12 Dolgusuz Sert Şekerleme Üretimi Proses Akım Şeması

2.3 ATIKSU ÖZELLİKLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

2.3.1 TESİS I, TESİS II ve TESİS III 'e Ait Atıksu Karakterizasyon Sonuçları

Farklı tarihlerde, TESİS I, TESİS II ve TESİS III' ün arıtma tesisi girişlerinden alınan atıksu numuneleri kirletici parametreler açısından analiz edilmiş ve sonuç olarak bu tesislere ait atıksuların genelde asidik karakterli, nütrient maddeler açısından fakir ve yüksek organik madde içeriğine sahip olduğu saptanmıştır. Bu analizler sonucunda her bir tesis için elde edilen kirletici parametre değerlerinin standart sapmaları hesaplanarak ortalama ve aralık değerleri tablolar halinde aşağıda sunulmuştur.

Tablo 2.2 TESİS I' e Ait Karakterizasyon Sonuçları

PARAMETRELER	ORTALAMA	STANDART SAPMA	ARALIK
KOI _{top} (mg/lit)	2844	838,975	1469 - 3690
KOI _{süz} (mg/lit)	2495	784,61	1231 - 3366
BOI ₅ (mg/lit)	1835	779,720	759 - 2768
TKN (mg/lit)	54	28,111	16 - 95
T-P (mg/lit)	64	50,113	10 - 144
AKM (mg/lit)	260	101,908	91 - 350
pH	5,1	0,718	4,5 - 6,3

Tablo 2.3 TESİS II' e Ait Karakterizasyon Sonuçları

PARAMETRELER	ORTALAMA	STANDART SAPMA	ARALIK
KOI _{top} (mg/lit)	6221	1985	3368 - 8044
KOI _{süz} (mg/lit)	5386	1784	2879 - 7073
BOI ₅ (mg/lit)	4909	1650	2610 - 6426
TKN (mg/lit)	33	12,314	15 - 47
T-P (mg/lit)	8,6	5,381	1,5 - 15
AKM (mg/lit)	440	88,375	300 - 535
pH	4	0,162	3,7 - 4,2

Tablo 2.4 TESİS III' e Ait Karakterizasyon Sonuçları

PARAMETRELER	ORTALAMA	STANDART SAPMA	ARALIK
KOI _{top} (mg/lit)	3628	211,576	3373 - 3878
KOI _{süz} (mg/lit)	3016	165,652	2732 - 3140
BOI ₅ (mg/lit)	2703	95,135	2555 - 2816
TKN (mg/lit)	22	16,549	10 - 50,4
T-P (mg/lit)	2,5	0,791	1,5 - 3,5
AKM (mg/lit)	140	31,61	112 - 190
pH	4,8	0,217	4,5 - 5,0

Şekerleme Endüstrisi ile ilgili yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde, geniş anlamda şekerleme üretimi yapan bir tesisin atıksu karakterizasyonu ve Gıda-Şekerleme alt kategorisi altında yapılan genel karakterizasyonu Tablo 2.5' de sunulmuştur. (Cocci *et all*, 1990; US EPA, 1977)

Tablo 2.5 Şekerleme Atıksuyunun Karakterizasyonu

PARAMETRELER	COCCI <i>et all</i> , 1990		US EPA, 1977
	ORTALAMA	ARALIK	ARALIK
KOI (mg/lt)	10650	6400 - 21000	-
BOI (mg/lt)	6550	300 - 19800	400 - 1300
TKN (mg/lt)	19	1,8 - 49	-
T-P (mg/lt)	17	3,2 - 30	-
AKM (mg/lt)	1050	522 - 2050	100 - 400
pH	4,1	3,3 - 6,4	-

TESİS I, TESİS II ve TESİS III için elde edilen karakterizasyon değerleri Tablo 2.5' teki literatür değerleri ile karşılaştırıldığında, sözkonusu atıksuların yüksek organik madde içermeleri, nütrient maddeler açısından fakir bir yapıya ve düşük pH değerlerine sahip olmaları bakımından benzerlik gösterdikleri anlaşılmaktadır.

BÖLÜM 3 BİYOLOJİK ARITILABİLİRLİĞE YÖNELİK KARAKTERİZASYON

3.1 BİYOLOJİK ARITMANIN KİNETİĞİ

Aktif çamur proseslerinde arıtma işlemi; atıksu içindeki organik maddenin bu atıksu yapısına uygun bir biyokütle topluluğunun çoğalma mekanizmaları kullanılarak zararsız bir forma getirilip uzaklaştırılmasıdır. Burada kullanılan biyokütle (Aktif çamur), birçok bakteri türü ve bu bakterilerle beslenen protozoa, rotifer gibi daha yüksek kademede ki canlılardan oluşan karmaşık bir ekosistemdir.

Arıtma işlemini gerçekleştiren bu mikroorganizma topluluğunun çoğalması ve buna bağlı olarak oluşan organik madde giderim mekanizmaları oldukça karmaşık proseslerdir. Bu proseslerin ifade edilmesinde en çok kullanılan modellerden biri Monod modelidir (Monod, 1949). Bu modele göre, mikroorganizmaların çoğalma hızı;

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (3.1)$$

denklemini ile ifade edilmiştir. Burada;

μ : Spesifik çoğalma hızı

X : Biyokütle konsantrasyonu

Spesifik çoğalma hızı da (μ);

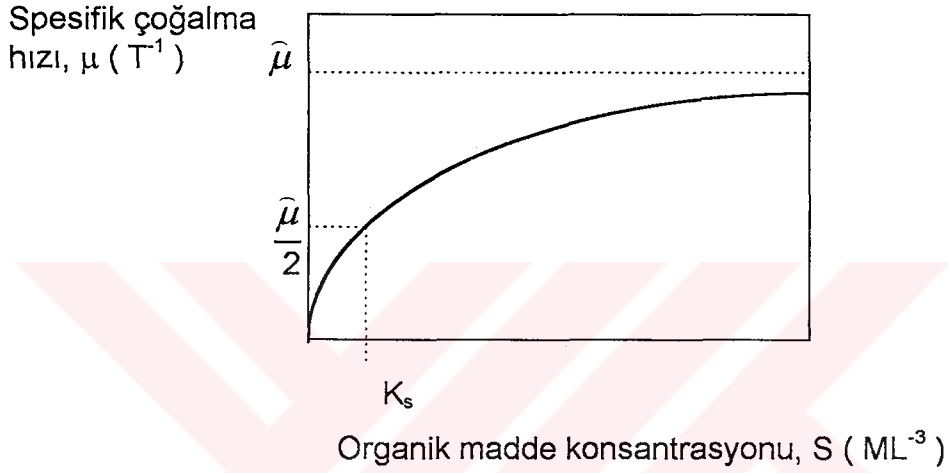
$$\mu = \hat{\mu} \frac{S}{K_s + S} \quad (3.2)$$

denklemini ile ifade edilir. Burada;

$\hat{\mu}$: Maksimum spesifik çoğalma hızı

S : Hız kısıtlayıcı organik madde konsantrasyonu

K_s : Yarı doygunluk hız sabiti



Şekil 3.1 Spesifik Çoğalma Hızı ile Organik Madde Konsantrasyonu Arasındaki İlişki

Şekil 3.1' de Monod denkleminin grafiği görülmektedir. Pratikte genellikle bu grafiğin K_s 'den küçük olan bölgelerinde çalışmak isteriz. Çünkü, eğrinin üst bölgelerine çıkıldıkça gereğinden fazla mikroorganizma olacak ve bu durumda arıtma işlemi güçleşecektir. Denklem 3.1 ve 3.2 birleştirildiğinde;

$$\frac{dX}{dt} = \hat{\mu} \frac{S}{K_s + S} X \quad (3.3)$$

ifadesi elde edilir.

Diğer yandan, söz konusu biyokütle topluluğunun tek ve basit bir organik madde üzerinde çoğaldığı düşünülürse, bu organik maddenin giderim hızı;

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y} \frac{dX}{dt} \quad (3.4)$$

denklemini ile ifade edilir. Buradaki Y orantı sabiti, giderilen birim organik madde başına üretilen biyokütle (mg UAKM / mg KOİ) olarak tanımlanan dönüşüm oranını göstermektedir.

Organik madde giderim hızı Monod denklemi ile ifade edildiğinde;

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\hat{\mu}}{Y} \frac{S}{K_s + S} X \quad (3.5)$$

şeklinde bir ifade elde edilir. Bu denkleme göre organik madde giderim hızı; organik madde ve mikroorganizma konsantrasyonunun bir fonksiyonudur.

Aktif çamur sistemlerinde biyokütle (Aktif çamur), ortamdaki organik maddeyi kullanarak elde ettiği enerjinin bir kısmını biyosentez için kullanırken bir kısmını da bazı hücre bileşenlerinin yenilenmesi, hareket ve aktif taşıma gibi amaçlarla kullanır ve bunun sonunda daima gerçek dönüşüm oranının belirttiği miktardan daha az biyokütle gözlenir. Genellikle biyokütle azalmasına yol açan olayların tümü « Biyokütle kaybı » olarak adlandırılır. Bilim adamları bu biyokütle kaybını matematiksel olarak ifade etmek üzere üç model geliştirmişlerdir;

- Klasik Model
- Ölüm - Yenilenme Modeli
- İçsel Solunum Modeli (Task Grup Yaklaşımı)

Bunlardan İçsel Solunum Modeli, biyokütle kaybını ifade etmekte en çok kullanılan modellerden biri olup bu çalışmada da sözkonusu modelin kullanımı tercih edilmiştir. Bu modele ilişkin açıklayıcı bilgiler 3.2 numaralı alt bölümde sunulacaktır.

3.2 İÇSEL SOLUNUM MODELİ

Bu model, konvansiyonel modellerde karışım içindeki UAKM konsatrasyonunun bir bozunma katsayısı ile azalması olarak ifade edilir.

Canlılık gözönüne alındığında, aktif biyokütlenin çürümesi inert biyokütle yada partiküler inert organik ürünlerin (X_P) oluşumu ile ilişkilendirilir. İçsel solunum sırasında, aktif biyokütlenin f_{EX} kadarı herhangi başka bir reaksiyona maruz kalmadan aktif çamur içinde birikirken f_{ES} kadarı da S_P olarak çıkış akımına karışır. Aynı zamanda, giriş akımındaki S_S' in α_D kadarı başlangıçta S_P' ye dönüşerek başka bir reaksiyona uğramadan çıkış akımına karışır.

Birçok çalışmanın sonucu göstermiştir ki; Endogenous decay (içsel çürüme)' den dolayı aktif heterotrofik biyokütlenin azalması birinci dereceden bir hız ifadesi ile tanımlanabilir;

$$\frac{dX_H}{dt} = -b_H \cdot X_H \quad (3.6)$$

Burada;

b_H : Aktif biyokütlenin içsel solunum katsayısı (1/gün)

Benzer olarak, partiküler ve çözünmüş inert organik maddenin üretim hızı, aktif biyokütlenin azalması ile ilgili olduğundan, 3.6 denklemine yerleştirilmek suretiyle birinci dereceden denklemlerle ifade edilebilirler :

$$\frac{dX_P}{dt} = f_{EX} \cdot b_H \cdot X_H \quad (3.7)$$

$$\frac{dS_P}{dt} = f_{ES} \cdot b_H \cdot X_H \quad (3.8)$$

Burada;

3.3 BİYOLOJİK SİSTEMLERDE ORGANİK MADDE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Biyolojik arıtma sistemlerinde, mikroorganizmaların çoğalma ve organik maddeyi kullanma hızları, sistemdeki hız kısıtlayıcı besi maddesi konsantrasyonu ile orantılıdır. Burada hız kısıtlayıcı olan madde, aynı zamanda sistemde giderilmesi istenen maddedir. Bu nedenle, bu maddenin nasıl ölçüleceği önem taşımaktadır (Grady ve Lim, 1980).

Arıtma sistemlerinde sistemin verimi, giderilmesi istenen maddenin konsantrasyonunun ölçülmesi ile belirlenebilir. Ancak, organik madde içeriği açısından kompleks bir yapıya sahip atıksuyun, çözünmüş organik maddelerin biyolojik olarak arıtılması için tasarlanmış bir sistemde arıtma veriminin özel analizlerle ölçülmesi hemen hemen imkansızdır.

Biyolojik arıtma sistemlerinde, birincil substrat olarak adlandırılan karbonlu organik maddelerin metabolize edilmesi sırasında, biyolojik olarak ayrışabilen ara ürünler oluştuğu veya ölen mikroorganizmaların hidrolizi ile ayrışabilir organik maddeler üretildiği gözönüne alınırsa, spesifik organik madde ölçüm yöntemlerinin kullanılması arıtma amacına uymaktadır (Artan, 1987).

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

TOK testi; atıksu içindeki organik maddelerin karbondioksit ve suya okside edilip karbondioksitin standart bir kostik çözelti içinde tutulduktan sonra titrimetrik olarak ölçülmesi esasına dayanır. Bu yöntem, BOİ ve KOİ yöntemlerine göre daha uygun olmasına karşın iki önemli dezavantaja sahiptir. Birincisi, biyolojik olarak ayrışabilen ve ayrışamayan organik maddeler arasında ayırım yapamaz. İkincisi ise, organik maddenin oksidasyon kademesinden bağımsız olması ve organik bileşiklerin oksidasyon kademesi hakkında hiçbir bilgi verememesidir.

BOİ testi; atıksu içindeki biyolojik olarak ayrışabilen organik maddelerin aerobik heterojen mikrobiyal topluluk tarafından stabilize edilmeleri için gerekli olan oksijen miktarının ölçülmesi esasına dayanır (Gaudy, 1972). Bu yöntemde, karbonlu organik maddenin biokimyasal yükseltgenmesi 5 günde tamamlandığından BOİ₅ değeri, atıksudaki organik madde düzeyini tamamen yansıtmaz. Ayrıca, deneyde aşı olarak kullanılan mikroorganizmalar, atıksudaki organik maddeye aklime edilmediğinde veya atıksu biyolojik gelişmeyi engelleyici inhibitörler içerdiğinde hatalı BOİ sonuçları elde edilecektir. İnert organik maddeler de farklı bir tarzda BOİ deneyinin önemli hata kaynaklarından birini oluştururlar. Ayrıca, yöntemin oldukça zahmetli olması, en az 5 gün sürmesi, deney koşullarından çok fazla etkilenmesi gibi dezavantajları, BOİ₅ parametresinin, biyolojik arıtma sistemlerinin tasarım ve işletmesinde kullanışlılığını azaltmaktadır.

KOİ testi; bir asit çözeltisi içindeki Dikromat (veya Permanganat) oksidasyonundan etkilenen bir atıksu örneğinin organik kısmının oksijen eşdeğeri cinsinden ölçülmesi esasına dayanır. Böylece, KOİ deneyi ile kuvvetli asidik şartlar ve kaynama sıcaklığında en az iki saat süreyle Dikromat ile yükseltgenebilir organik ve inorganik maddelerin atıksudaki konsantrasyonu bulunmuş olur.

KOİ deneyinin yetersizliği, mikroorganizmalar için uygun organik madde oluşturmayan yükseltgenebilir maddelerin ve bu arada biyolojik olarak inert organik maddelerin Cr⁺⁶ yı indirgemeleri nedeniyle ölçüm sonuçlarına yansımalarından ileri gelir. Diğer bir dezavantajı da, biyolojik olarak ayrışabilen bazı aromatik hidrokarbonların vb. organik maddelerin Cr⁺⁶ ile yükseltgenememeleridir.

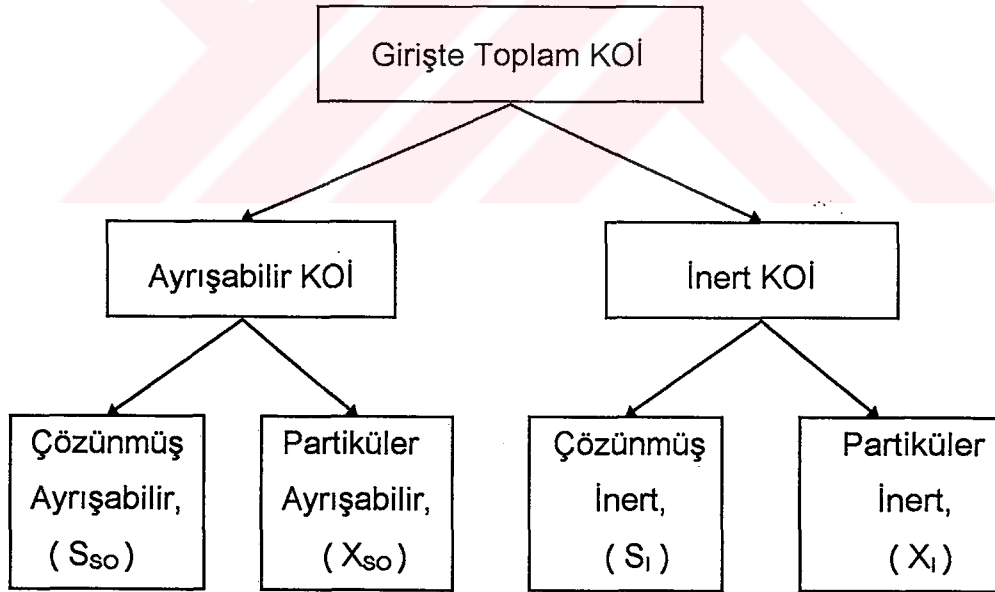
Ancak bunlara rağmen, kollektif bir parametre olan ve atıksuyun yapısı hakkında bize genel olarak bilgi veren KOİ testi, diğerlerine karşın tercih edilir. Çünkü; bu parametre aynı zamanda organik madde, biyokütle ve tüketilen oksijen arasında bir elektron ve enerji dengesi sağlar (Gaudy

ve Gaudy, 1971). Ayrıca, daha az zahmetli olması ve deneyin iki saat gibi kısa bir sürede tamamlanabilmesi en önemli avantajlarıdır.

3.4 ATIKSUDAKİ KOİ KARAKTERİZASYONU

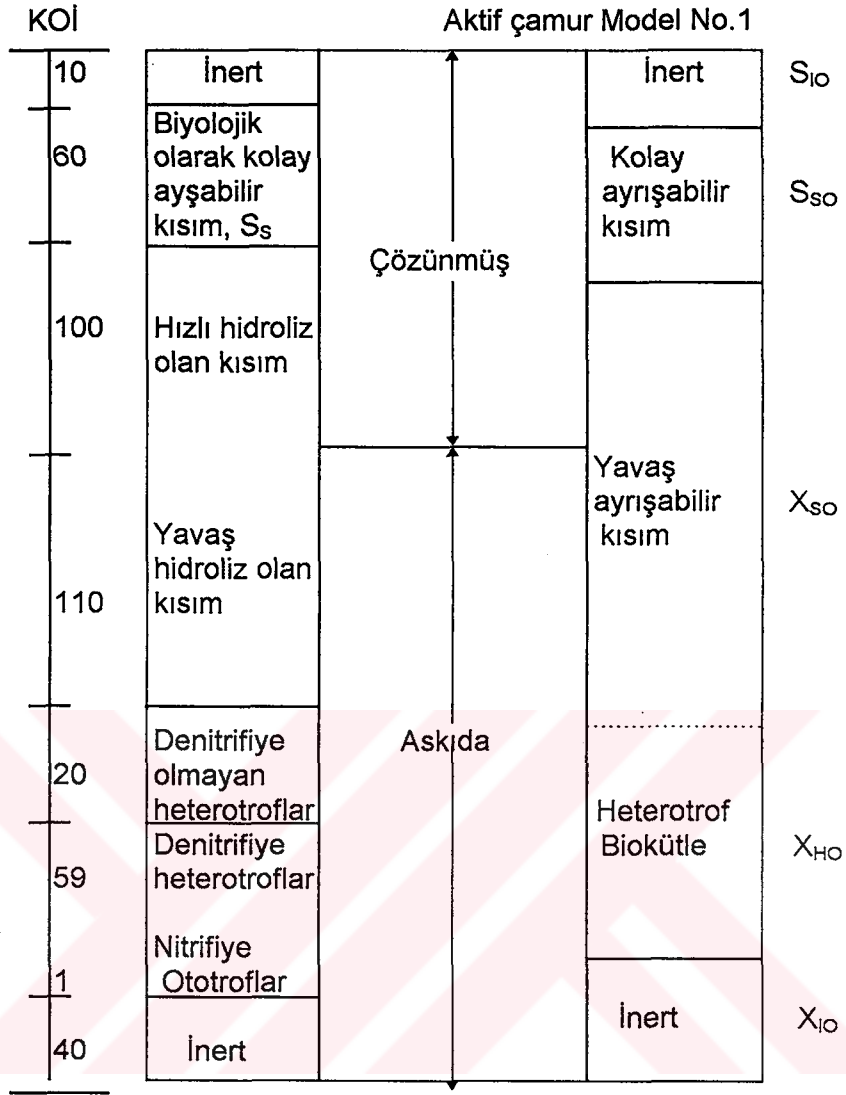
Biyolojik olarak inert ve ayrışabilir organik maddeler arasında ayrım yapamamasına rağmen, en çok kullanılan organik madde ölçme yöntemi olduğu için atıksudaki KOİ fraksiyonlarını tanımlamak gerekir.

Ekama ve diğerleri (1986)' ne göre atıksuyun toplam KOİ' sinin iki bileşeni vardır: Biyolojik olarak ayrışabilen KOİ ve biyolojik olarak ayrışamayan (İnert) KOİ. Aynı şekilde, ayrışabilen ve ayrışamayanlar da kendi aralarında, çözülmüş ve partiküler olarak 2' ye ayrılırlar (Şekil 3.2).



Şekil 3.3 Atıksudaki Toplam KOİ' nin Fraksiyonları

Toplam KOİ' si 400 mg / lt olan tipik bir evsel atıksuya ait bu bileşenler Şekil 3.4' te detaylı olarak gösterilmiştir.

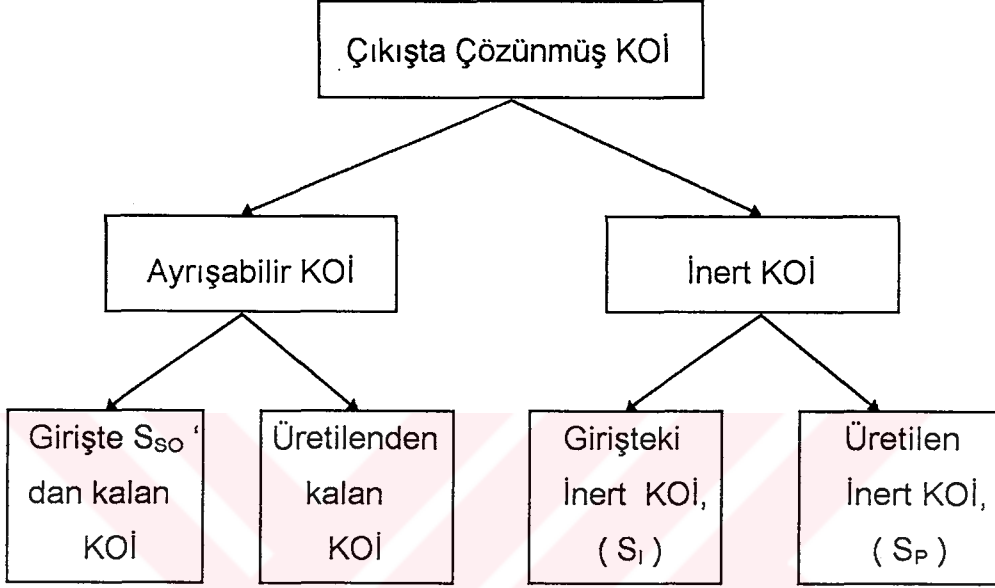


Toplam 400 mg KOİ / m³

Şekil 3.4 Evsel Atıksuyun KOİ Bileşenleri (Henze, 1992)

Heterotrofik bakteriler tarafından doğrudan alınan ve yeni biyokütlelerin çoğalması için kullanılan organik maddenin kolay ayrışabilir kısmı, göreceli olarak basit moleküllerden oluşur. Daha kompleks moleküllerden oluşan yavaş ayrışan kısım ise kullanılmadan önce hidroliz yolu ile kolay ayrışabilir organik maddeye dönüştürülür (Henze ve diğerleri, 1987).

Şekil 3.5' ten görüleceği gibi, çıkış akımındaki çözünmüş KOİ' de biyolojik olarak ayrışabilir ve inert olmak üzere iki kısma ayrılabilir (Orhon ve diğerleri, 1989).



Şekil 3.5 Arıtma Tesisi Çıkışındaki Organik Madde Fraksiyonları

Bu şemaya göre, çözünmüş inert organik madde, atıksudaki çözünmüş organik madde (S_i) ile çözünmüş inert mikrobiyal ürünlerin (S_R)' in toplamından ibarettir. Buradan S_S , S_R ve S_i arasında aşağıdaki ilişki kurulabilir;

$$\text{Çıkış akımındaki toplam çözünmüş KOİ} = S_S + S_R + S_i$$

3.5 AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİNDE ÇÖZÜNMÜŞ KALICI KOİ OLUŞUMU

Çok iyi 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 belirli bir süreden sonra çözeltide organik madde artışı gözlemlenmektedir. Yapılan araştırmalar bu maddelerin biyokütle tarafından üretildiğini düşündürmektedir.

Biyokütle tarafından üretilen bu kalıcı organik bileşikler, laboratuvarında basit ölçekte işletilen aktif çamur sistemlerinde, saf, basit ve tamamıyla ayrışabilir organik bileşiklerden oluşan sentetik organik maddeler kullanılarak gözlemlenebilir ve ölçülebilirler (Chudoba, 1985).

3.6 ÇÖZÜNMÜŞ KALICI KOİ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

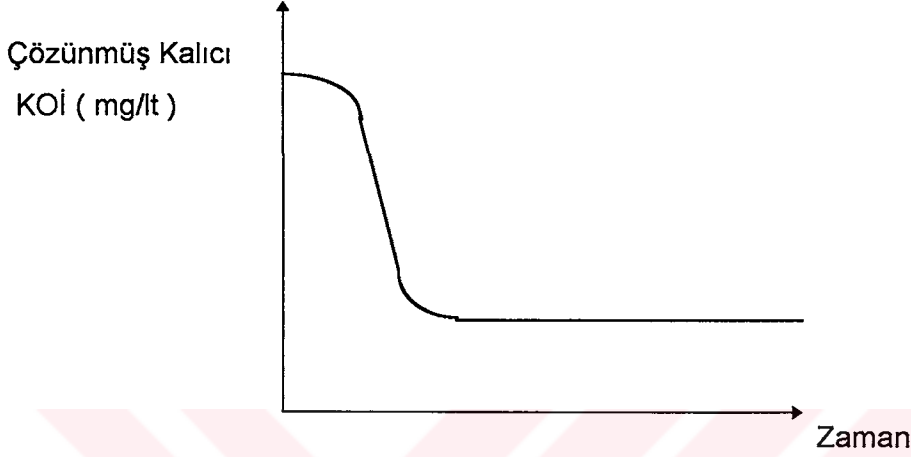
Özellikle kuvvetli atıksularda giriş akımındaki çözünmüş KOİ' nin bileşenleri, sistemin arıtılabilirliğine önemli ölçüde etki etmekte veya farklı endüstri kategorileri için geliştirilmiş deşarj limitlerine ulaşılmasını engelleyebilmektedir. Ayrıca, girişteki çözünmüş KOİ' nin inert kısmı da sistemde hiçbir değişikliğe uğramadan çıkış akımına karıştığından dolayı; özellikle endüstriyel deşarjlarda ve kuvvetli atıksularda oldukça büyük bir öneme sahiptir (Germirli ve diğerleri, 1990).

Aktif çamur sistemlerine girişteki çözünmüş KOİ' nin kalıcı (inert) kısmının belirlenmesi için araştırmacılar çeşitli yöntemler önermektedirler (Ekama ve diğerleri, 1986), (Henze ve diğerleri, 1987), (Germirli, 1990).

Germirli (1990), kesikli bir sistemde, kolay ayrışabilen organik madde, S_s , tamamen tükendiği zaman ($S_s = 0$), KOİ profilinin bir minimuma ulaştığını ve bu noktada kalan organik maddenin ise S_R ve S_I ' nin toplamından ibaret olduğunu belirtmiştir (Şekil 3.6).

Bu çalışmada; giriş akımındaki S_{I0} ' nin belirlenmesi için iki farklı yöntem önerilmiştir. Her iki yöntem için de ilave organik madde olarak, inert KOİ' si (S_{I0})' nin bulunmadığı ve tamamen kolay ayrışabilir organik maddeden

meydana geldiği kabul edilen glüköz kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan biyokütlenin aklımasyonu ise, laboratuvarında belirli bir θ_c ' de işletilen doldur-boşalt (Fill - Draw) reaktörlerde % 50 Atıksu ve % 50 Glüköz çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



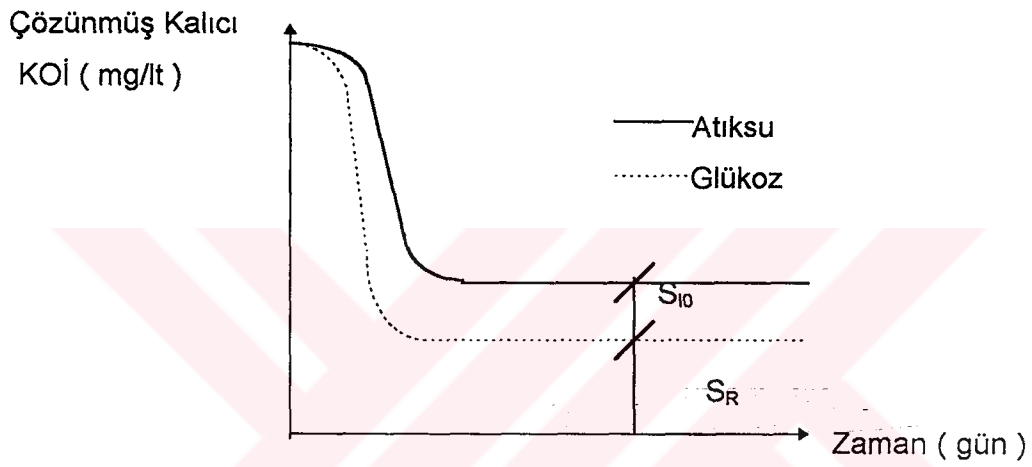
Şekil 3.6 Kesikli Reaktörde Çözünmüş KOİ Eğrisi

3.6.1 Kademeli Yöntem

Bu yönleme göre, kesikli reaktörlerde aynı konsantrasyonda seyreltik çözünmüş atıksu üzerine kademeli olarak artan konsantrasyonlarda glüköz ilavesi ile elde edilen sistemlerin, düşük konsantrasyonda aşu mikroorganizma ilave edilerek işletilmesi ve reaktördeki çözünmüş KOİ değerlerinin zamana karşı izlenmesi adımlarından oluşmaktadır. Bu yöntemle, herbir reaktördeki S_{10} konsantrasyonu sabit tutulmakta, ancak S_{50} konsantrasyonları farklı olduğundan farklı S_R değerlerine ulaşılmaktadır. Bütün reaktörlerdeki çözünmüş KOİ değerlerinin ulaştıkları ilk minimum değer veya nihai değerler esas alınarak çözünmüş KOİ ' ye karşı, çözünmüş giriş KOİ değerleri çizilmiş ve bu doğrunun KOİ eksenini kestiği değer, atıksuyun çözünmüş inert KOİ değeri olarak hesaplanmıştır.

3.6.2 Karşılaştırmalı Yöntem

Bu yöntemde, çözünmüş endüstriyel atıksu ve aynı konsantrasyonda glüköz çözeltisi, iki ayrı reaktörde aşı mikroorganizma ve gerekiyorsa nütrient ilavesi ile kesikli olarak çalıştırılmış ve zamana karşı çözünmüş KOİ değerleri izlenmiştir. Atıksu ve glüköz değerleri için bir minimuma ulaşıldığında, aradaki farkın S_{I0} olduğu belirtilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Girişteki Kalıcı Çözünmüş KOİ' nin Belirlenmesi İçin Karşılaştırmalı Yöntem

İncelenen atıksuyun çözünmüş KOİ profilinin minimum seviyesi, $S_{I0} + S_{R,t}$ değerine eşit olduğundan ve glüközün S_{I0} değeri bulunmadığından, ulaştığı minimum seviyenin aynı zamanda $S_{R,t}$ 'yi ifade etmesi beklenecektir.

$$(S_{I0})_{Atıksu} = (S_{I0} + S_{R,t})_{Atıksu} - (S_{R,t})_{Glüköz} \quad (3.10)$$

eşitliği elde edilir. Burada,

$$(S_{R,t})_{Atıksu} = (S_{R,t})_{Glüköz}$$

kabulü yapılmaktadır. Her iki sistem de aynı başlangıç çözünmüş KOİ değerlerine sahip olduğundan ve aşı mikroorganizmanın hem atıksuya hem de Glükoz' a aklime edilmiş olması nedeniyle, böyle bir kabulün rahatlıkla geçerli olduğu belirtilmiştir (Germirli ve diğerleri, 1991).

3.7 ÇÖZÜNMÜŞ KALICI KOİ ÖLÇÜMÜ KONUSUNDA DAHA ÖNCE

YAPILAN ÇALIŞMALAR

Gaudy ve Blachly (1985), kalıcı KOİ' nin biyolojik arıtılabilirliği üzerine iki yıl süren bir dizi deneysel çalışmalar yapmışlardır. Kalıcı KOİ' nin yapısını ve uzun bir süre içindeki değişimini saptamak için, kesikli bir reaktör hergün glükozla beslenmiş, biyokütle ve KOİ' nin zamana göre değişimi incelenmiştir. Bunu uygularken, biyolojik olayları izleyebilmek ve kalıcı KOİ' yi saptamak için analizlerde az miktar numune kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda, kesikli veya sürekli sistemlerde arıtılabilirlik çalışmalarında kalıcı KOİ' nin biyolojik arıtma proseslerinde biyolojik olarak ayrıştırılamayacağı, fakat kalıcı KOİ' nin uzun vadede hücre içinde metabolize edilebildiği ve yine uzun vadede bu atığın % 90' dan fazlasının biyolojik metabolizmaya dönüştüğü sonucu elde edilmiştir.

Germirli ve diğerleri (1991) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, girişteki kalıcı çözünmüş KOİ' yi saptamak amacıyla toplam çözünmüş KOİ konsantrasyonları 1000 ile 9300 mg/lt arasında değişen kağıt, mezbaha, antibiyotik, tekstil ve süt endüstrileri atıksuları incelenmiştir. Bu çalışmalarda kademeli ve karşılaştırmalı yöntemler uygulanmış ve aynı zamanda da bu iki yöntemin karşılaştırmalı değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Atıksuların inert çözünmüş KOİ fraksiyonlarının belirlenmesi için, önerilen bu iki farklı metodla, endüstriyel atıksu karakterizasyonuna inert çözünmüş organik madde kavramı getirilmiştir.

- Kesikli deneylerden elde edilen çözünmüş KOİ profilleri çözünmüş metabolik ürün oluşumu nedeniyle salınımlar göstermiş ve literatürde belirtilen çözünmüş inert KOİ fraksiyonlarının zamandan bağımsız olarak saptanmasının hatalara yol açacağı sonucuna varılmıştır. Çünkü, zamana göre ölçülen çözünmüş KOİ konsantrasyonları önemli ölçüde değişime uğramaktadır.

- İzlenen KOİ profillerinde, en az iki minimum KOİ değerine ulaşılmıştır. İlk minimum değeri, çözünmüş metabolik ürün girişimi nedeniyle değişken yapıya sahiptir. Atıksuların nihai KOİ değerlerinin, ilk minimum 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_1 konsantrasyonunun, nihai değerlerle bulunana göre daha yüksek olmasını da açıklar; ilk minimumdan elde edilen S_1 değerinin içinde kesikli reaksiyon sürdükçe ayrışabilir nitelik kazanacak olan metabolik ürünlerin bulunabileceğini göstermektedir.

- Karşılaştırmalı metod, kademeli metoda göre daha kolay deneysel prosedür içermektedir. Ancak, yüksek KOİ konsantrasyonlarında aklımasyon ve organik madde inhibisyonu problemlerinden dolayı daha hatalı sonuçlar verebilir.

- Aynı atıksu numunesi üzerinde denenen her iki metoddan elde edilen sonuçların birbirine yakın olması, önerilen metodların tutarlılığını göstermiştir.

Orhon ve diğerleri (1992) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise, kalıcı KOİ' nin tekstil atıksularının biyolojik arıtılabilirliğine olan etkileri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda, S_1 ' nin atıksuyun organik içeriğinin önemli bir kısmını oluşturduğu ve düşük organik yüklemelerde bile çıkış suyu KOİ değerinin toplam kalıcı KOİ olarak tanımlanan değerlerin altına düşülemeyeceği anlaşılmıştır.

3.8 RESPIROMETRİK YÖNTEMLERLE ORGANİK MADDE BİLEŞİMİNİN VE KİNETİK SABİTLERİN BELİRLENMESİ

Respirometrik yöntemler, organik maddeden 1 elektron transfer edilmesi halinde bu elektronu alacak elektron alıcısı miktarının deneysel olarak belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Ortamın aerobik olması halinde elektron alıcısı olarak Oksijen' i, anoksik olması halinde ise Nitrat azotu tüketimi ölçülmektedir. Bu yöntemler, biyolojik olarak ayrışabilen organik madde üzerindeki çoğalmanın bir göstergesidir.

Biyolojik olarak ayrışabilen madde, daha önceki kısımlarda açıklandığı üzere;

- Kolay ayrışabilen organik madde, S_s
- Yavaş ayrışabilen organik madde, X_s

olarak tanımlanmakta ve çoğalmanın öncelikle S_s sonra da X_s ' in hidroliz süreci sonucu oluşan S_s üzerinde gerçekleştiği belirtilmektedir (Henze ve diğerleri, 1987). Elektron alıcısı tüketimlerini izleyen respirometrik deneyler, S_s ve X_s üzerindeki çoğalmaları sırasıyla göstermektedir. Organik maddenin bu şekilde iki kısma ayrılması, elektron alıcıları tüketiminde meydana gelen gecikmelerin modellenmesine de olanak sağlamaktadır.

Yavaş ayrışan organik maddenin aniden biyokütle içinde tutularak giderilmesine rağmen, bu organik maddeye karşı gelen elektron alıcısı tüketimi, araya giren hidroliz nedeniyle gecikmektedir. Yavaş ayrışan organik maddenin spesifik hidroliz hızı, genellikle kolay ayrışan organik maddenin kullanım hızından düşük olduğundan, ortamda sadece X_s olduğunda, hidroliz çoğalma sürecinde hız kısıtlayan bir faktör olmaktadır. Yavaş ayrışan organik maddenin giderimi fiziksel bir mekanizma ile (biofloktatın tutunma) gerçekleşirken, çoğalma için kullanımı ancak hidroliz kademesinden geçerek kolay ayrışabilen organik maddeye dönüştükten sonra mümkün olmaktadır.

Bu nedenle de yavaş ayrışan organik madde üzerindeki çoğalma da elektron alıcısı tüketim hızı hidroliz hızına bağlı olarak yavaşlamaktadır. En genel halde elektron alıcısı;

$$\frac{\text{elektron.alıcısı.miktarı}}{\Delta t} = -(1 - Y) \cdot \frac{(S_{T0} - S_T)}{\Delta t} - (1 - f_E) \cdot b \cdot X \quad (3.11)$$

ile ifade edilir. Bu ifadeye göre, elektron alıcısı çoğalma ve içsel solunum mekanizmaları ile tüketilmektedir. Burada;

Y : Dönüşüm oranını (mg KOİ / mg KOİ),

b : İçsel solunum hızını (1 / gün),

f_E : İnert biyokütle fraksiyonunu

S_{T0} , S_T : Giriş ve çıkış akımındaki biyolojik olarak ayrışabilen toplam organik madde konsantrasyonunu (mg KOİ / lt)

X : Aktif biyokütle konsantrasyonunu (mg KOİ / lt)

göstermektedir.

Aerobik koşullarda, ortamda elektron alıcısı olan Oksijen' in değişimi ise;

$$\frac{\Delta S_0}{\Delta t} = -(1 - Y_H) \cdot \frac{(S_{T0} - S_T)}{\Delta t} - (1 - f_E) \cdot b_H \cdot X_H \quad (3.12)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada;

İndis H : Aerobik solunum yapan heterotrof organizmaları,

S_0 : Oksijen konsantrasyonunu (mg / lt)

göstermektedir.

3.8.1 S_s Belirleme Yöntemleri

Yukarıda bahsedilen teori esaslarından hareketle, Ekama ve diğerleri (1986) tarafından aerobik ve / veya anoksik koşullarda, kesikli reaktörlerde zamana

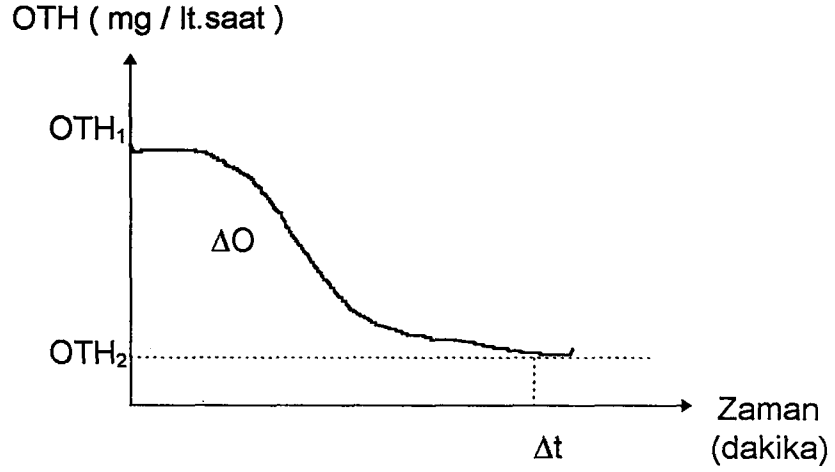
karşı elektron alıcısı tüketim hızı ölçümlerine dayanan bir yöntem tanımlanmıştır.

Bu yöntemle göre, atıksu içindeki mevcut kolay ayrışabilen organik madde konsantrasyonu belirlenebildiği gibi, organizmaların bu koşullardaki çoğalma hızları hakkında da bilgi sahibi olunabilmektedir. Aerobik kesikli deney yöntemi, toplam KOİ konsantrasyonu (S_{T0}) bilinen bir atıksuyun seçilmiş bir hacminin (V_{ww}), yine konsantrasyonu bilinen (X_T , UAKM) bir toplam biyokütle hacmi (V_{ml}) ve gerekiyorsa daha önce hazırlanmış uygun miktarda nütrient çözeltisi ile karıştırılarak Oksijen tüketiminin ölçülmesi olarak tasarlanmıştır. Deney prosedürü uyarınca, başlangıçtan itibaren her 5-10 dakikada bir numune alınmakta ve deneyler yaklaşık 4-5 saat boyunca sürdürülmektedir.

Aerobik koşullarda yürütülen bu respirometrik ölçümler incelendiğinde, kolay ayrışan organik madde üzerindeki çoğalma süreci boyunca ilk fazın yatay olarak sabit bir seviyede kaldığı (OTH_1), kısıtlı hale geçmeye başladığında Oksijen tüketim hızının zamanla azaldığı ve tamamen tükendiğinde ise hidroliz hızının göstergesi olan ikinci bir seviyeye (OTH_2) düştüğü görülmektedir. Bu profilde yer alan OTH_1 , kolay ayrışabilen ve yavaş ayrışabilen organik madde türleri üzerindeki çoğalmadan kaynaklanan Oksijen tüketim hızı ile içsel solunumdan kaynaklanan tüketim hızlarının toplamını yansıtmaktadır. OTH_2 olarak tanımlanan hız ise, kolay ayrışabilen organik maddenin artık tükendiği fazı temsil etmektedir. Dolayısıyla, $OTH_1 - OTH_2$ farkı sadece kolay ayrışan organik madde üzerindeki çoğalmadan ileri gelmektedir (Şekil 3.8). Bu durumda;

$$\int_{OTH_1}^{OTH_2} \frac{dS_0}{dt} = (1 - Y_H) \cdot \frac{\Delta S_s}{\Delta t} \quad (3.13)$$

olmaktadır.



Şekil 3.8 OTH Profili İle S_{s0} Belirlenmesi

Başlangıçta, atıksuda mevcut olan kolay ayrışabilir organik maddenin tamamının Δt süresi içinde kullanıldığı esastndan hareketle;

$$S_{s0} = \frac{\Delta O}{(1 - Y_H)} \quad (3.14)$$

ifadesi yazılabilmektedir. Bu ifade, S_{s0} konsantrasyonunun iki seviye arasında kalan alan yardımıyla (ΔO) hesaplandığını göstermektedir. Gerekli hacim düzeltmesi yapılarak atıksuda mevcut olan kolay ayrışabilir organik madde konsantrasyonu aşağıda belirtildiği gibi hesaplanabilir;

$$S_{s0} = \frac{1}{(1 - Y_H)} \Delta O \frac{(V_{ww} + V_{ml})}{V_{ww}} \quad (3.15)$$

Bu deney uzun süre devam ettirildiğinde ise, içsel solunum fazını karakterize eden üçüncü bir seviyeye düşmektedir.

OTH ölçümü ile S_{s0} belirleme çalışmalarından bir diğeri de, Kappeler ve Gujer (1992)' a aittir. Kesikli olarak yürütölen deney düzeninde atıksu / bi-yokötle oranı 2 / 1 seçilmiş ve yaklaşık 3-4 saat boyunca OTH' daki azalma

gözlenmiştir. Atıksuda mevcut olan kolay ayrışabilir organik madde, daha önce belirtilen temel esaslar alınarak;

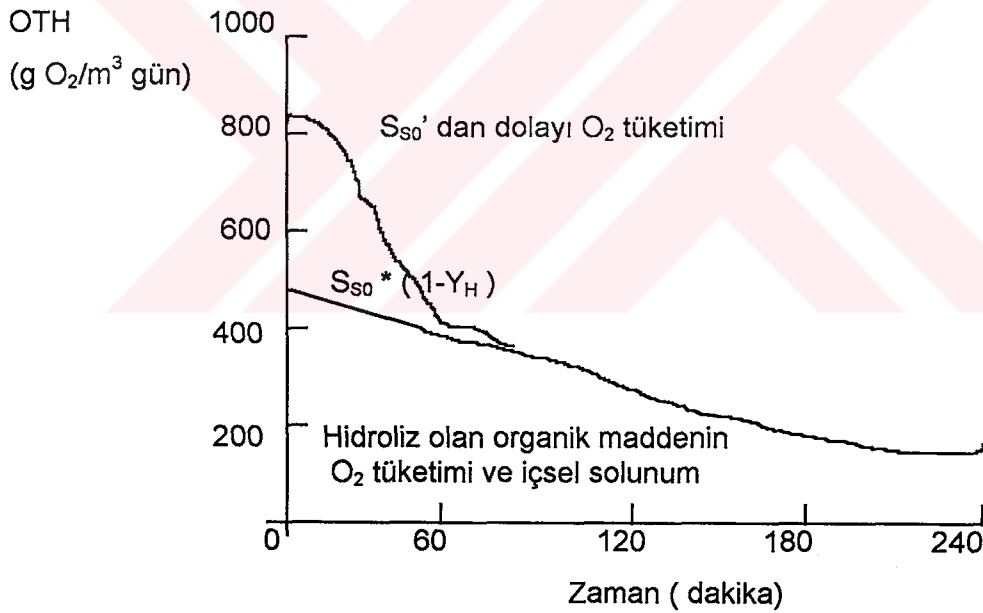
$$S_{s0} = \frac{1}{(1 - Y_H)} \left[\int r_{O_2, T} - \int r_{O_2, REF} \right] \quad (3.16)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Burada;

$r_{O_2, T}$: Toplam Oksijen tüketim hızını,

$r_{O_2, REF}$: Hidroliz ve içsel solunuma bağlı olan Oksijen tüketim hızını, referans düzlemini

göstermektedir. Şekil 3.9' den de görüleceği gibi, yöntemin duyarlılığı S_{s0}' ın tükendiği noktanın belirlenmesine bağlıdır.



Şekil 3.9 S_{s0}' ın Tanımlanması İçin Elde Edilen OTH Profili

3.8.2 $\hat{\mu}_{th}$ Belirleme Yöntemleri

Birçok aktif çamur sisteminde karbon dikkate alınırsa, heterotrof organizmaların aerobik ortamdaki kinetik sabitlerinin belirlenmesi önem kazanmaktadır.

Kinetik sabitler içinde birincil öncelikle belirlenmesi gereken parametre, maksimum çoğalma hızıdır. Bu kinetik sabitin doğru bir şekilde belirlenmesi, aktif çamur sistemlerinin tasarımı açısından büyük önem taşımaktadır.

Yürütülen deneysel çalışmalarda, çoğalma hızlarındaki değişim ile adapte olabilen biyokütle fraksiyonu birbirlerinden ayıramamakta, ancak birbirlerinin çarpımı şeklinde belirlenebilmektedir.

Spesifik maksimum çoğalma hızının belirlenmesi için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri respirometrik ölçümlerdir. Daha önceden de belirtildiği gibi Monod kinetiği uyarınca çoğalma;

$$\frac{dX}{dt} = \frac{1}{Y} \frac{dS_T}{dt} \quad (3.17)$$

ile ifade edildiğine göre, aerobik ortamdaki elektron alıcısı tüketimi;

$$\frac{dS_0}{dt} = - \frac{(1 - Y_H)}{Y_H} \mu_H \cdot X_H - (1 - f_E) \cdot b_H \cdot X_H \quad (3.18)$$

denklemleriyle elde edilmektedir.

Respirometrik yöntemlerle kinetik sabitlerin belirlenmesi, en hızlı ayrışabilen çözünmüş organik maddenin tamamının bu hız sabitleri ile giderildiği varsayımına dayanmaktadır. Bu düşünce ile, hızlı ayrışan organik maddenin ortamda kısıtlı hale gelmesinden ve ortama yavaş ayrışabilen organik maddenin hakim olmasından sonraki çoğalma koşullarında yapılan respirometrik değerlendirmeler hidroliz hızlarındaki değişimi ifade etmektedir.

Respirometrik ölçümlerde hızı etkileyen bir dizi faktör tanımlanmaktadır (Henze, 1986). Bunlar;

- Organik maddenin bileşimi,

- Organik maddenin konsantrasyonu,
- Karıştırma derecesi,
- Askıda katı madde konsantrasyonu (flok büyüklüğü, biofilm kalınlığı),
- Sıcaklık,
- pH,
- Nütrient madde miktarı

şeklinde sıralanmaktadır.

Laboratuvar çalışmalarında amaç, gerçek sistem koşullarını yaratarak aerobik koşullarda OTH profillerini elde etmek ve yukarıda sıralanan faktörler etki- sinde heteretrof organizmaların kinetiğini belirlemektir.

Kinetik sabitlerin belirlenmesi için respirometrik ölçümlerin yanısıra çoğalma hızı ile aralarındaki stokiometrik ilişkiden yararlanılarak spesifik organik madde giderim hızı da ölçülebilmektedir. Ancak, spesifik organik madde ölçümüne dayanan yöntemlerde, organik madde ve biyokütle ölçümlerinin sağlıklı yapılamaması nedeniyle yanıltıcı sonuçlar elde edilebileceği göz- önünde tutulmalıdır.

Literatürde organik madde tüketim hızı, volümetrik hız ($\text{mg O}_2 / \text{lt.saat}$) veya spesifik hız ($\text{mg O}_2 / \text{gr UAKM.saat}$) bazında verilmektedir. Ancak, Oksijen solunumu sadece aktif biyokütle tarafından yapıldığından, özellikle volümetrik hız değerinin kullanılabilirliği tartışılabilir.

Ekama ve diğerleri (1986)' nin tanımladıkları respirometrik yöntem, bu konudaki çalışmalardan birini oluşturmaktadır. Yöntem, bir deney setinde hem kolay ayrışabilen organik maddenin hem de heteretrofların maksimum spesifik çoğalma hızının belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Kolay ayrışabilir organik madde kısıtlayıcı değilse ($S_s \gg K_s$), çoğalma maksimum hız ile gerçekleşmekte ve buna bağlı olarak başlangıçta hızlı bir elektron alıcısı tüketimi gözlenmektedir. Bu hızlı tüketim atıksudaki kolay ayrışabilir organik

maddeden olduğu kadar yavaş ayrıışan organik maddenin hidrolizi ile oluşan organik maddeden de kaynaklanmaktadır. Kolay ayrışabilen organik madde azaldıkça elektron alıcısı tüketim hızı yavaşlamakta ve hidroliz hızının hakim olduğu ikinci bir seviyeye ulaşmaktadır. Maksimum çoğalma koşullarında, içsel solunumdan kaynaklanan elektron alıcısı tüketiminin kolay ayrışabilir organik madde üzerindeki çoğalmadan kaynaklanan tüketim yanında ihmal edilebilecek seviyede olduğu düşünölmektedir.

Bu esaslardan hareketle, maksimum çoğalma hızı aerobik koşullarda;

$$\hat{\mu}_H = \frac{Y_H}{(1 - Y_H)} \frac{OTH_1}{X_{H0}} \quad (3.18)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda, başlangıçtaki X_{H0} aktif biyokötle konsantrasyonunun deney süresince olan değişimi dikkate alınmamıştır.

Aktif biyokötle, deney başlangıcında aşılanan toplam biyokötle konsantrasyonunun bir fraksiyonudur. Aralarındaki ilişki, f_a aktivite katsayısı ile verilmektedir. Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise, biyokötle konsantrasyonunun toplam hacim içinde $[(X_T \cdot V_{ml}) / (V_{ml} + V_{WW})]$ olduğudur. Bu durumda X_{H0} aktif biyokötle konsantrasyonu, aşağıda belirtilen matematiksel denklem ile ifade edilebilir;

$$X_{H0} = \frac{f_a \cdot X_v \cdot V_{ml}}{(V_{ml} + V_{WW})} \quad (3.19)$$

Toplam biyokötle içindeki aktif fraksiyonun belirlenebilmesi için, ampirik ifadelerden yararlanılmaktadır. Bu ifadelere göre, aktivite katsayısı, çamurun aşılandığı sistemin çamur yaşına bağlı olarak;

$$f_a = 1,41 \cdot (\theta_x)^{-0,53} \quad (\text{Ham atıksu için})$$

$$f_a = 1,57 \cdot (\theta_x)^{-0,43} \quad (\text{Çökeltölmöş atıksu için})$$

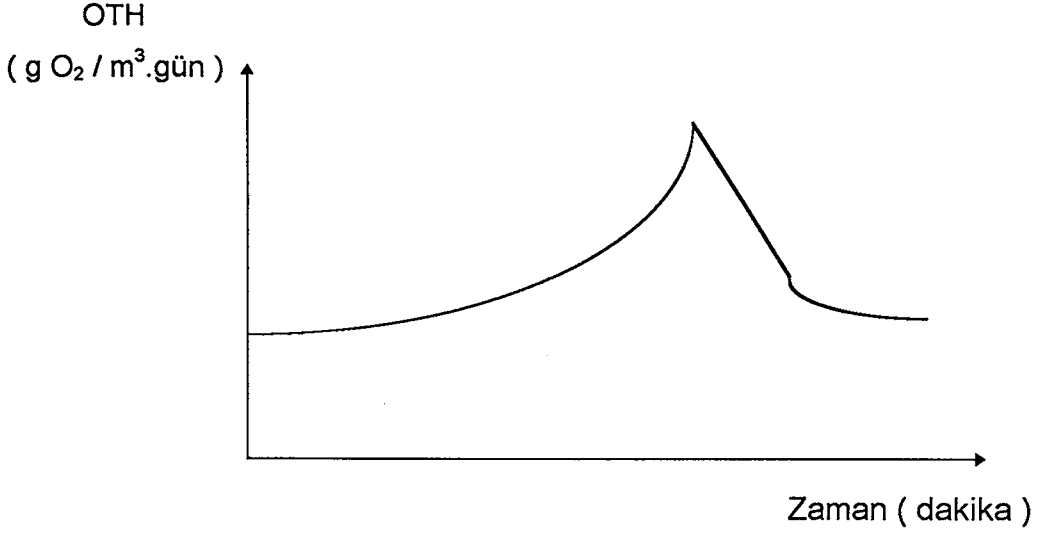
şeklinde hesaplanabilmektedir. Görüldüğü gibi, aslında maksimum çoğalma hızı;

$$\hat{\mu}_H = Y_H \cdot q_H \quad (3.20)$$

denklemini gereğince dönüşüm oranı seçilerek maksimum spesifik organik madde giderim hızı ölçümü ile belirlenmektedir.

Heteretrof organizmaların maksimum çoğalma hızlarının belirlenebilmesi amacıyla önerilen bir diğer yöntem ise, başlangıçtaki aktif biyokütle konsantrasyonundan bağımsız olarak sonuç vermesi özelliği ile dikkat çeken, Kappeler ve Gujer (1992) tarafından önerilen yöntemdir. Bu yöntemde, içsel solunum modeli kullanılmış ve hidroliz süreci doygunluk tipi bir reaksiyon yerine, yavaş ayrışan organik madde konsantrasyonuna bağlı olarak birinci dereceden bir reaksiyonla ifade edilmiştir. Bu basitleştirmenin, OTH profiline önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir.

Maksimum çoğalma hızının belirlenebilmesi için, yürütülen kesikli deneyde santrifüjlenmiş atıksu çok düşük konsantrasyonda biyokütle ile aşıl原因arak (Atıksu / Biokütle hacim oranı; 10 / 1) OTH ölçülmüştür. Deneyin ilk periyodunda çoğalma, kolay ayrışabilir organik madde üzerinde olduğundan çok hızlı olmakta, düşük mikroorganizma konsantrasyonu ile başladığından artan biyokütle miktarına bağlı olarak gittikçe artan OTH değerleri elde edilmektedir. Kolay ayrışabilir organik madde kısıtlı olduğunda çoğalma, hidroliz sonucu oluşan organik madde üzerinde devam etmektedir. Bu kademede OTH, hidroliz hızına bağlı olarak yavaşlamaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Yüksek F / M Oranında Elde Edilen OTH Profili

Başlangıç anında ölçülen OTH, atıksuda mevcut olan kolay ayrışabilir organik maddenin maksimum çoğalma hızının ve aktif biyokütle konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Bu durumda;

$$OTH_0 = \frac{(1 - Y_H)}{Y_H} \hat{\mu}_H \cdot X_{H0} + (1 - f_E) \cdot b_H \cdot X_{H0} \quad (3.21)$$

ifadesi yazılabilmektedir. Maksimum çoğalma koşullarının geçerli olduğu (OTH artışının gözlemlendiği bölge) herhangi bir noktada ise Oksijen tüketim hızı;

$$OTH(t) = \frac{(1 - Y_H)}{Y_H} \hat{\mu}_H \cdot X_H + (1 - f_E) \cdot b_H \cdot X_H \quad (3.22)$$

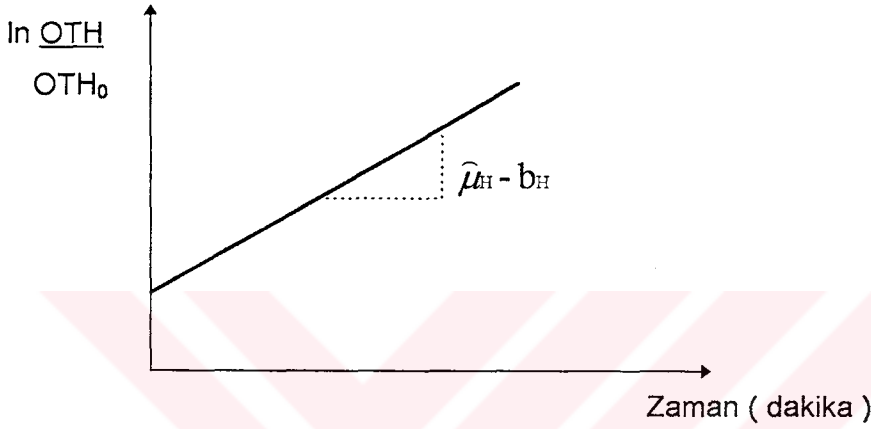
olmaktadır. Biyokütlenin net çoğalması ise;

$$\frac{dX_H}{dt} = (\hat{\mu} - b_H) \cdot X_H(t) \quad (3.23)$$

şeklinde olmaktadır. Başlangıçtaki ve herhangi bir andaki OTH oranları ile;

$$\ln \frac{OTH}{OTH_0} = (\hat{\mu}_H - b_H).t \quad (3.24)$$

ifadesi elde edilmektedir. Bu bağıntı grafik olarak eğimi $(\hat{\mu}_H - b_H)$ olan bir doğruyu vermektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 OTH Ölçümleri İle $\hat{\mu}_H - b_H$ 'ın Belirlenmesi

Bu yöntemle, net maksimum çoğalma hızı bulunduğundan, spesifik maksimum çoğalma hızı ile içsel solunum katsayısının ayrı ayrı belirlenebilmesi için yaklaşık olarak $b_H / \hat{\mu}_H$ oranının % 5 olduğu kabul edilmektedir. Dolayısıyla, maksimum çoğalma hızı;

$$\hat{\mu}_H = 1,05.(\hat{\mu}_H - b_H) \quad (3.25)$$

ifadesi ile hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada, spesifik çoğalma hızı belirlenirken bu yöntem kullanılmıştır.

Henze (1986)' nın çalışmasında, respirometrik yöntemlerle atıksudaki biyokütle miktarının önemi araştırılmıştır. Bu amaçla, öncelikle ham atıksu örnekleriyle çalışılmış ve bulgular aktif çamur örneklerinin hız ölçümleri ile kıyaslanmıştır. Başlangıçta reaktörde volümetrik hız (mg O₂ / lt.saat) ölçülmüştür. Reaktördeki biyokütle konsantrasyonu bilindiğinden hızlar, spesifik toplam biyokütle hızına (mg O₂ / mg UAKM.saat) dönüştürülebilmektedir. Toplam biyokütle içinde Oksijeni kullanabilen fraksiyonların belirlenebilmesi için biyokütlenin elektron transfer hızının 20 °C' de 1 e⁻ eşdeğer / gr UAKM.gün olmasından hareket edilmiştir. Giderilen 1 e⁻ eşdeğeri organik maddeye karşılık 8 gr O₂ gerekmektedir. Dönüşüm oranı 0.6 gr KOİ / gr KOİ kabul edildiğinde, giderilen organik maddenin (1-Y_H) kadarı, yani % 40' ı enerji reaksiyonunda kullanılmaktadır. Dolayısıyla, 1 günde 1 gr UAKM oluşması için gerekli Oksijen miktarı;

$$0,4 \frac{\text{grKOİ}}{\text{grKOİ}} \cdot 8 \frac{\text{grO}_2}{\text{elekt.eşd. grUAKM.gün}} = 3,2 \frac{\text{grO}_2}{\text{grUAKM.gün}}$$

olarak elde edilmektedir. Maksimum Oksijen tüketim hızı da yaklaşık 150 mg O₂ / gr UAKM.saat olarak kabul edildiğinde, 1 gram aktif biyokütlenin 133 - 150 mg O₂ / saat tükettiği düşünülmektedir. Bu teorik esasla, ham atıksu örneklerindeki Oksijen tüketiminin ne kadar aktif biyokütle tarafından yapılmış olduğu belirlenebilmiştir.

3.8.3 Ölüm Katsayısı (b_H) Belirleme Yöntemleri

İçsel solunum katsayısı da denilen ölüm katsayısı, çamur miktarının ve Oksijen ihtiyacının belirlenmesinde oldukça önemli bir role sahiptir.

Bu katsayının belirlenmesi amacıyla araştırmacılar tarafından çeşitli yöntemler önerilmektedir (Metcalf ve Eddy, 1984), (Marais ve Ekama, 1976).

Marais ve Ekama (1976), içsel solunum katsayısının bir çamur örneğinin kesikli aerobik sistemde Y' den bağımsız olarak hesaplanabileceğini gösterdiler. Bu amaçla iki farklı yöntem geliştirdiler. Birinci yöntemde, b_H katsayısı uçucu katılar kullanılarak hesaplanmaktadır. İkinci yöntemde ise, Oksijen kullanım hızından yararlanılmıştır. Aşağıda bu ikinci yöntem açıklanmaktadır:

Aerobik kesikli bir reaktöre alınan çamur örneğinde Oksijen kullanım hızı;

$$OTH = \frac{dS_0}{dt} = 1,42(1 - f_E) \cdot b_H \cdot X_{H,t} \quad (3.26)$$

eşitliği ile verilmiştir. Burada;

$X_{H,t}$: t anındaki aktif biyokütle konsantrasyonunu,

f_E : İnert biyokütle fraksiyonunu

göstermektedir ve

$$-\frac{dX_H}{dt} = b_H \cdot X_H \quad (3.27)$$

bu denkleminin çözümü ile;

$$\ln \frac{X_{H,t}}{X_{H0}} = -b_H \cdot t \quad (3.28)$$

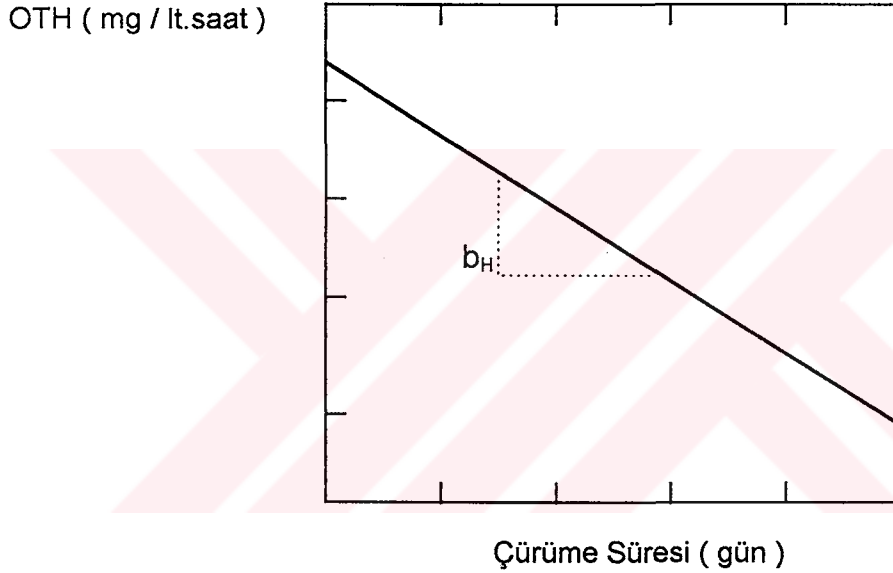
denklemi elde edilmektedir. 3.28 denklemi, 3.26 denkleminde yerine konulursa ve e tabanına göre logaritması alınırsa;

$$\ln\left(\frac{dS_0}{dt}\right) = \ln[1,42(1 - f_E) \cdot b_H \cdot X_{H0}] - b_H \cdot t \quad (3.29)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklem, $Y = k.t + a$ tipindedir ve bu nedenle $\ln OTH'$ 'nın zamana karşı grafiği çizildiğinde, doğrunun eğimi b' 'yi verecektir.

Bu yöntemin deneysel prosedürü ise şu şekildedir :

Örnek çamur, çürütölmek üzere aerobik kesikli bir reaktöre alınır ve Oksijen kullanım hızlarının zamanla değişimi incelenir (Şekil 3.12), (Marais ve Ekama, 1976).



Şekil 3.12 İçsel Solunum Hızını Belirlemek İçin OTH - Zaman Arasındaki Deneysel Bağntı (Marais & Ekama, 1976)

Bu prosedürde nitrifikasyon olmadığı kabul edilir. Nitrifikasyonun engellenmesi amacıyla sisteme bir miktar aliltioüre eklenebilir. Ayrıca, deney süresince pH' ın nötr değerlerde olmasına dikkat edilmelidir (Henze ve diğerleri, 1987).

Marais ve Ekama (1976), bu yöntemi farklı çamur yaşı değerleri için uygulamışlar ve b_H katsayısının çamur yaşından bağımsız olduğunu

belirlemişlerdir. Ayrıca, b_H katsayısının belirlenmesinde kullanılan iki yöntem karşılaştırıldığında, Oksijen kullanım hızı yönteminin daha az zahmetli olduğu, daha hassas ve sabit sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

IAWPRC çalışma grubunun modelinde ise bu katsayı b olarak verilmiştir ve

$$b = \frac{b_H}{1 - Y_H(1 - f_P)} \quad (3.30)$$

olarak hesaplanabilir. Burada aktif biyokütlenin inert kısmı olan f_P 'nin 0,08 değerine eşit olduğu kabul edilmiştir (Henze ve diğerleri, 1987).

BÖLÜM 4 DENEYSEL ÇALIŞMA YAKLAŞIMI

Bu çalışmada, şekerleme endüstrisi katagorisinde yer alan üç ayrı tesisin atıksularının, basit olarak laboratuvar ölçekli kesikli sistemlerde aerobik biyolojik arıtma yönünden karakterizasyonu yapılmış ve biyolojik arıtılabilirliklerini yansıtan temel kinetik sabitlerden bazıları belirlenmiştir.

4.1 HETEROTROF MİKROORGANİZMALAR İLE YÜRÜTÜLEN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1.1 Deney Düzeni

Heterotrof mikroorganizmalar ile yürütülen deneysel çalışmaların temel amacı, çeşitli atıksu tiplerine ve bileşimlerine bağlı olarak OTH (Oksijen Tüketim Hızı) ölçümleri ile bu organizma grubunun; çoğalma hızlarının farklılığını ortaya koymak, önemli bir sistem bileşeni olan kolay ayrışabilir kısmı (S_s) karakterize etmek ve biyolojik arıtılabilirlik verimini önemli ölçüde etkileyen inert kısmı (S_i) belirlemektir.

Bu amaçla deneylerde sırası ile aşağıda belirtilen üretimleri yapan üç ayrı tesisin atıksuları kullanılmıştır:

- Şekerli - Şekersiz sakız üretimi yapan bir tesisin atıksuyu (TESİS I),
- Ağırlıklı olarak Lokum vb. şekerleme ürünlerini üreten bir tesisin atıksuyu (TESİS II),
- Dolgulu - Dolgusuz sert şekerleme ürünleri üreten bir tesisin atıksuyu (TESİS III).

Deneysel çalışmalar; sözkonusu mikroorganizma topluluğunun aklimasyonundan sonra kinetik sabit (Maksimum çoğalma hızı) ve organik madde bileşenlerinin belirlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Bu amaçla, her bir tesisin mevcut arıtma tesislerinin biyolojik arıtma ünitelerinden (Havalandırma Havuzu) alınan ve tesis atıksuyuna aklime olmuş aktif çamur (Mikroorganizma toplulukları) kullanılmıştır. Her bir tesise ait bu aktif çamurlar, laboratuvarıda ayrı ayrı 4 litre hacimli silindirik doldur-boşalt üç reaktörde; çamur yaşı 5 gün, F / M oranı 0,5 mg KOİ / mg UAKM - gün ve oda sıcaklığında, hergün kendi atıksuları ile düzenli olarak beslenmek sureti ile yaklaşık bir ay süresince çoğaltılarak deneysel çalışmalara hazırlanmıştır.

Şekerleme Endüstrisi kategorisinde yer alan bu üç tesisin atıksuları pH değerleri düşük olduğundan, hergün sözkonusu reaktörlere besleme yapılmadan önce 6N' lik NaOH ile pH düzeltmesi yapılmıştır. Ayrıca bu atıksular, mikroorganizmaların faaliyetleri sırasında ihtiyaçları olan besi maddeleri açısından yoksun olduğundan, herbir reaktöre konulan atıksuyun 1000 mg KOİ' si için 10 ml olacak şekilde, çeşitli eser elementler ve tampon çözeltiler içeren Solution A ve Solution B' den uygun miktarlarda ilave edilmiştir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Solution A ve Solution B' nin Bileşenleri

Solution A	K_2HPO_4	320 gr / lt
	KH_2PO_4	160 gr / lt
	NH_4Cl	120 gr / lt
Solution B	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	15 gr / lt
	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0,5 gr / lt
	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0,5 gr / lt
	$MnSO_4 \cdot 3H_2O$	0,5 gr / lt
	$CaCl_2$	2 gr / lt

4.1.2 Analiz Yöntemleri

Tüm analizler, Standart Metotlarda (APHA, 1989) belirtildiği şekilde yapılmıştır. Süzüntüdeki deneyler Whatman GF / C cam elyaf filtreden süzölmüş numunelerde yapılmıştır. Yine AKM ve UAKM bazında ölçülen partiküler bileşenler için de Whatman GF / C cam elyaf filtreler kullanılmıştır. Oksijen tüketim hızı ölçümleri WTW microprocessor oximeter 2000 tipindeki oksijenmetre ve WTW microprocessor P2000 tipindeki yazıcı ile gerçekleştirilmiştir.

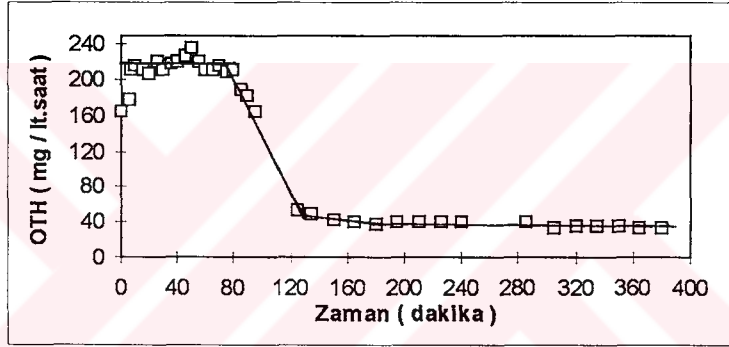
4.1.3 S_s Belirleme Deney Düzeni

Aerobik koşullarda, organik maddenin kolay ayrışabilir kısmının bulunmasına yönelik çalışmalarda, aerobik ortamda kesikli olarak çalıştırılan bir reaktör kullanılmıştır. Bu reaktördeki kesikli deneyler belirli bir F / M oranında (0,7-1) 700 ml ile 1000 ml arasında değişen hacimlerde, gerekli pH ayarlaması ve besi maddesi ilaveleri yapılarak oda sıcaklığında yürütölmüştür. Hava debisi, aerobik ortamdaki OTH ölçömlerinin en az 6-7 mg / lt çözönmüş Oksijen konsantrasyonu ile başlayacak şekilde ayarlanmıştır. Hem havalandırılan hem de manyetik karıştırıcı ile karıştırılan aerobik kesikli reaktörün tam karışımından alınan aktif çamur süspansiyonu olarak nitelendirilebilecek numune, ayrı bir hücreye alınmış ve en az 4-5 dakika boyunca çözönmüş Oksijen konsantrasyonundaki azalma ölçölmüştür. Numune kabının ağzı, Oksijen probunun genişliğinde olduğundan ölçüm sırasında dışarıdan Oksijen girişı olmamıştır. Numune alma işlemin başlangıçta her 5 dakikada bir, daha sonra 10 ile 15 dakika arasında değişen zaman aralıkları ile yapılmış ve bu ölçömler yaklaşık 6 saat boyunca sürdürölmüştür. Bu süre içerisinde elde edilen çözönmüş Oksijen konsantrasyonu farkı, o zaman dilimindeki OTH olarak işaretlenmiştir.

Bu deney düzeni TESİS I ve TESİS II atıksularına birden fazla sayıda, TESİS III' ün atıksuyu için ise yalnız bir defa uygulanmıştır. Bu kısımda, örnek

olarak TESİS I' in bir seti ele alınarak açıklanmış ve grafik halinde sunulmuştur. TESİS I' in diğer setleri, TESİS II ve TESİS III' e ait değerler ve grafikler ise çalışmanın Ekler kısmında sunulmuştur.

Aerobik kesikli reaktöre alınan TESİS I (Set 1) atıksuyu yukarıda anlatılan deneysel prosedüre tabi tutulmuş ve 1,14 F / M oranını sağlayacak şekilde aklime edilmiş çamurdan atıksuyun 1 litresine 150 ml (1860 mg UAKM / lt) aktif çamur ve 50' şer ml besi maddesi çözeltilerinden ilave edilerek yaklaşık 6 saat süresince belirli periyotlarda bu karışımdan numune alınmak sureti ile OTH ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda aşağıdaki S_s değişim grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 TESİS I (Set 1)' e Ait S_s Değişim Grafiği

Bu grafikten de görüleceği gibi, başlangıçta S_s ' in kısıtlı olmaması sebebi ile OTH değeri belirli bir noktadan başlayarak yaklaşık 80 dakika süresince sabit gitmekte, daha sonra S_s ' in tükenip ortamda X_s ' in hakim olması ile araya giren hidroliz fazı nedeni ile OTH' da ani bir düşüş olmakta ve 140. dakikadan sonra sabit bir eğilim göstermektedir. Sonuç olarak, bu grafiğin altında kalan alan hesabı yardımı ile S_s aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. Burada Y_H dönüşüm oranı 0,45 mg UAKM / mg KOİ ve f_x dönüşüm katsayısı ise 1,48 mg KOİ / mg UAKM olarak kabul edilmiştir. Buna göre bu set' e ait S_s değeri;

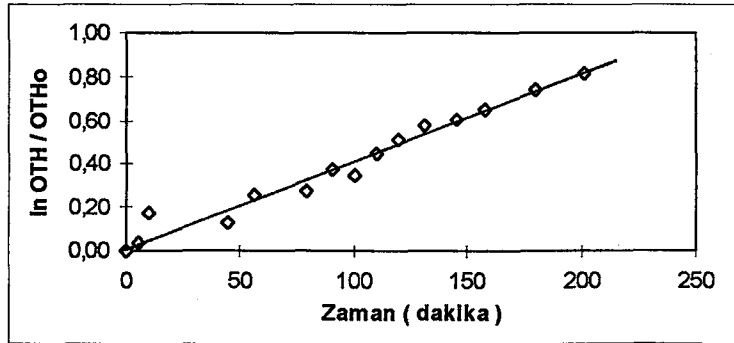
$$S_s = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} 300. \frac{(1,05+0,15)}{1,05} = 1030 \text{ mg KOİ / lt}$$

olarak hesaplanır.

4.1.4 $\hat{\mu}_H$ Belirleme Deney Düzeni

Bu deneyde UAKM bazında kullanılan biyokütlenin aktif kısmının bulunabilmesi için, S_s belirleme deneyine paralel olarak aerobik koşullarda uygulanan ve başlangıçtaki biyokütle miktarından bağımsız olarak doğrudan spesifik maksimum çoğalma hızının belirlendiği diğer bir yöntem (Kappeler ve Gujer, 1992) kullanılmıştır. Bu amaçla, bir F / M oranında (4 mg KOİ / mg UAKM . gün) olan ve santrifüjlenmiş atıksu kullanılan bir kesikli deney düzeni kurulmuştur. Havalandırılan ve manyetik karıştırıcı ile karıştırılan bu sistemin tam karışımında alınan numunelerde bir önceki yöntemin aerobik uygulamasındaki esaslar doğrultusunda OTH ölçümleri yapılmıştır.

Aerobik kesikli reaktöre alınan TESİS I (Set 1) atıksuyu yukarıda anlatılan deneysel prosedüre tabi tutulmuş ve F / M oranı 4 olacak şekilde aklime edilmiş çamurdan atıksuyun 1 litresine düşük konsantrasyonda 30 ml aktif çamur ve 15' şer ml besi maddesi çözeltilerinden ilave edilerek yaklaşık 4 saat süresince belirli periyotlarda bu karışımdan numune alınmak sureti ile OTH ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda aşağıdaki grafik elde edilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 TESİS I (Set 1)' e Ait $\hat{\mu}_H$ Belirleme Grafiği

Bu grafikten de görüleceği gibi, başlangıçta düşük mikroorganizma konsantrasyonu ile S_s ' in kısıtlı olmadığı ortamda, heterotrof organizmalar gittikçe artarak maximum konsantrasyona ulaşmaktadır. Elde edilen bu noktalardan En Küçük Kareler Metodu' na göre geçirilen doğrunun eğimi yardımı ile spesifik maximum çoğalma hızı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$\hat{\mu}_H = (\hat{\mu}_H - b_H) \cdot 1,05 = 0,00394 \cdot 1,05 \cdot 60 \cdot 24 = 5,96 / \text{gün}$$

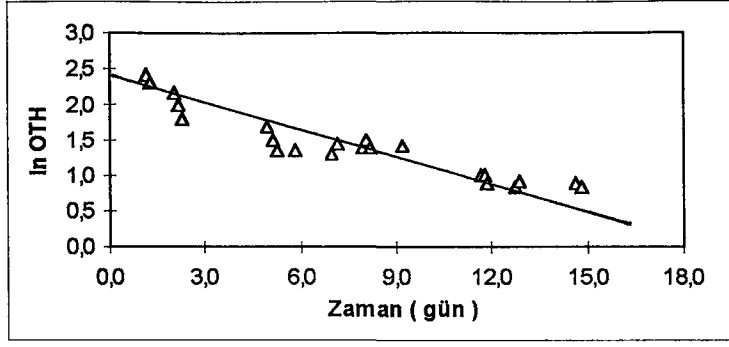
Bu çalışma sonucunda herbir tesis için elde edilen $\hat{\mu}_H$ belirleme grafikleri hesaplanma şekli ile birlikte çalışmanın Ekler kısmında sunulmuştur.

4.1.5 b_H Belirleme Deney Düzeni

Sözkonusu atıksuların içsel solunum katsayılarının belirlenmesi için Bölüm 3.8.3' de anlatılan yöntem kullanılmıştır.

Atıksuların b katsayılarının belirlenmesi amacı ile, 1' er litrelik kesikli sistemde çalışan reaktörler kurulmuş ve 15 gün boyunca oksijen kullanım hızındaki değişimler ölçülmüştür. Burada, oksijen kullanım hızının e tabanına göre logaritması alınarak elde edilen değerlerin zamana karşı değişimini veren grafikte En Küçük Kareler Yöntemine göre bu noktalar arasından geçen doğrunun eğimi b_H katsayısına eşit olacaktır (Marais ve Ekama, 1976).

Burada örnek olarak TESİS I' e ait OTH ölçüm değerlerinin zamana karşı değişimini gösteren grafik ele alınarak incelenmiş, TESİS II ve TESİS III' e ait grafikler ise çalışmanın Ekler kısmında sunulmuştur.



Şekil 4.3 TESİS I ' e Ait b_H Belirleme Grafiği

Sözkonusu noktalardan geçen doğrunun eğimi hesaplandığında;

$$\text{Eğim} = -0,102$$

$$b_H = 0,102 \text{ / gün}$$

değerine eşit olduğu görülür.

4.1.6 S_I Belirleme Deney Düzeni

Bu bileşenin belirlenmesi amacı ile, her bir tesis için Tablo 4.2' de atıksu karakterizasyonu verilen atıksular kullanılmıştır. Sözkonusu üç tesisin atıksularının çözünmüş inert bileşenlerinin belirlenmesi amacı ile bir önceki bölümde bahsedilen Karşılaştırmalı Yöntem kullanılmıştır (Germirli, 1990).

Tablo 4.2 İnert KOİ Belirlemede Kullanılan Atıksuyun Karakterizasyonu

PARAMETRELER	TESİS I	TESİS II	TESİS III
KOI_{top} (mg/l)	2920	7594	2688
$KOI_{süz}$ (mg/l)	2570	6515	2150
BOI_5 (mg/l)	1463	6244	1900
TKN (mg/l)	16	45	11
T-P (mg/l)	10	15	4,5
AKM (mg/l)	254	512	120
pH	5	4	5

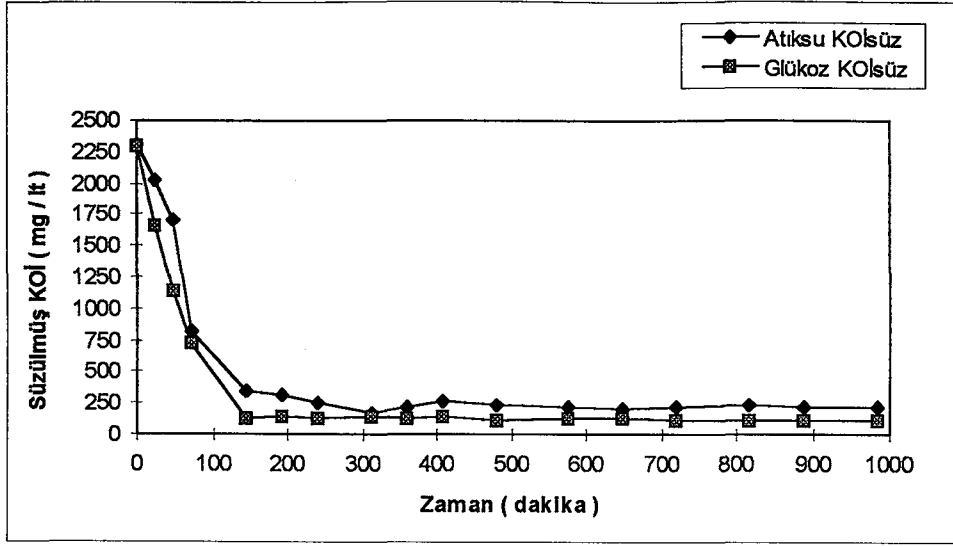
Burada örnek olarak TESİS I' e ait çözünmüş KOİ değerlerinin zamana karşı değişimini gösteren grafik ele alınarak incelenmiş, TESİS II ve TESİS III' e ait grafikler ise çalışmanın Ekler kısmında sunulmuştur.

TESİS I' in S₁ Bileşeninin Belirlenmesi

Bu deneyin yürütülmesi sırasında Tablo 4.2' de karakterizasyonu verilen atıksu kullanılmıştır. Bu kapsamda, $KOİ_{süz} = 2315$ mg / lt olan atıksu numunesi ile yine $KOİ_{süz} = 2295$ mg / lt olarak hazırlanmış Glükoz çözeltisinden 2' şer litre alınarak kesikli reaktörlere konmuştur. Bunun üzerine, daha önce 20 gün süre ile % 50 atıksu ve % 50 Glükoz içeren çözeltiye F / M oranı yaklaşık 0,5 olacak şekilde aklime edilmiş olan aktif çamur örneğinden 3 ml (30 mg / lt) ve mikroorganizma faaliyetleri için gerekli olan besi madde çözeltilerinin herbirinden 41 ml ilave edilmiştir. Belirli bir hava debisinde, reaktörlerde en az 2 mg / lt Oksijen bulunacak şekilde havalandırma işlemi yapılmıştır. 984 saat boyunca KOİ' nin zamanla değişimi incelenmiş ve elde edilen değerler tablo ve grafik halinde aşağıda sunulmuştur.

Tablo 4.3 TESİS I' e Ait İnert Çözünmüş KOİ Analiz Sonuçları

Zaman (saat)	Atıksu $KOİ_{süz}$ (mg / lt)	Glükoz $KOİ_{süz}$ (mg / lt)
0	2315	2295
24	2030	1661
48	1707	1133
72	816	720
144	351	132
192	314	138
240	251	124
312	170	136
360	226	122
408	268	137,5
480	239,5	118
576	228	122
648	208	120
720	214	115
816	233	115
888	220	115
984	220	115



Şekil 4.4 TESİS I' e Ait İnert KOİ Belirleme Grafiği

Bu grafik incelendiğinde, gerek atıksuyun gerekse glükoz'un KOİ' sinde belirli bir süre sonra ani bir düşme olduğu, daha sonra hafif bir yükselme göstererek sabit bir değere ulaştığı gözlenmektedir. Bu düşük miktardaki yükselmenin mikrobiyal ürün oluşumundan kaynaklandığı tahmin edilebilir.

Bu verilerden, glükoz ile atıksuyun çözünmüş KOİ' leri arasındaki farkın düşük olduğu görülmektedir. Buna göre organik maddenin süzülmüş inert kısmının kolay ayrışabilir kısmına oranı;

$$\frac{S_{I0}}{S_{S0}} = \frac{(220 - 115)}{2315} = 0,045$$

olarak hesaplanmıştır.

BÖLÜM 5 DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

5.1 DENEYSEL SONUÇLAR

Aklımasyon reaktörlerinden alınan biyokütle ile Ekama ve diğerleri (1986) yöntemi çerçevesinde, seçilen bir F / M oranında aerobik koşullarda kesikli reaktörler kurulmuş ve zamana karşı oksijen tüketimleri gözlenmiştir. Bu deneylerde genel karakterizasyonu sırası ile Tablo 2.2, Tablo 2.3 ve Tablo 2.4' te verilen atıksular kullanılmıştır. Bu Tablolar incelendiğinde, Şekerleme Endüstrisi dalında faaliyet gösteren sözkonusu tesislerden kaynaklanan atıksuların genellikle asidik karakterde olduğu, yüksek organik madde içerdiği ve nütrient maddeler açısından fakir bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu özelliklere sahip olan atıksularla yapılan deneylerde, Bölüm 4' te anlatılan esaslar çerçevesinde belirlenen oksijen tüketim hızları değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.1' de özetlenmiştir.

TESİS I' e Ait Deneysel Sonuçlar :

Tablo 5.1' den de anlaşılacağı üzere, TESİS I atıksuyu ile 3 set deney yürütülmüştür. Set 2.1 ve Set 2.2' nin sonuçları birbirini takip eden günlerde tekrarlanan deneyleri kapsamaktadır.

Set 1' de Kappeler ve Gujer (1992) yöntemi ile başlangıç biyokütle konsantrasyonundan bağımsız olarak maksimum çoğalma hızı $\hat{\mu}_H = 5,8$ / gün belirlenmiştir. Bu değer Ekama ve diğerleri (1986) yöntemi ile yürütülen deneyin sonuçlarının değerlendirilmesi aşamalarında kullanılmış ve aktivite katsayısı $f_{av} = 0,66$ olarak aşağıda belirtildiği şekilde bulunmuştur;

Tablo 5.1 Deneysel Çalışmalarda Elde Edilen Sonuçlar

	F/M $\frac{\text{mg KOI}}{\text{mg UAKM}}$	Sıcaklık °C	C _T $\frac{\text{mg KOI}}{\text{lt}}$	S _T $\frac{\text{mg KOI}}{\text{lt}}$	S _s $\frac{\text{mg KOI}}{\text{lt}}$	S _s / C _T	S _s / S _T	$\hat{\mu}_H$ (/gün)	b _H (/gün)	f _{av}	OTH ₀ / f _{av} .X _H $\frac{\text{mg O}_2}{\text{mg UAKM.saat}}$	S _t $\frac{\text{mg KOI}}{\text{lt}}$
TESİS I												
Set 1	1,14	15,5	2540	2235	1030	0,40	0,46	5,8	-	0,66	0,179	
Set 2.1	0,59	17,0	1950	1700	1365	0,70	0,80	5,1	-	0,66	0,158	
Set 2.2	0,65	16,0	1800	1495	1245	0,70	0,83	5,8	0,10	0,66	0,181	105
Set 3	0,72	12,0	1470	1230	555	0,38	0,45	3,6	-	0,42	0,111	
TESİS II												
Set 1.1	0,58	14,5	7765	6600	7366	0,95	1,105	4,1	-	0,95	0,127	
Set 1.2	0,75	14,5	7735	6385	6735	0,87	1,05	4,5	-	0,95	0,138	45
Set 2	0,58	14,5	8085	6775	7000	0,86	1,03	4,5	0,13	0,95	0,138	
TESİS III												
	0,91	20,0	3000	2500	1900	0,63	0,76	6,0	0,24	0,60	0,184	45

$$t = 24 \text{ saat / gün}$$

$$\text{OUR}_0 = 220 \text{ mg O}_2 / \text{saat}$$

$$Y_H = 0,45 \text{ mg UAKM / mg KOİ}$$

$$f_{cv} = 1,48 \text{ mg KOİ / mg UAKM}$$

$$V_{\text{top}} = 1,2 \text{ lt}$$

$$\text{UAKM} = 14861 \text{ mg / lt}$$

$$V_{\text{ml}} = 0,15 \text{ lt}$$

$$\hat{\mu}_H = 5,8 = \frac{1}{(1-1,48 \cdot 0,45)} \frac{24 \cdot 220 \cdot 0,45 \cdot 1,2}{f_{av} \cdot 14861 \cdot 0,15} \quad (5.1)$$

$$f_{av} = 0,66$$

Set 2' de ise, maksimum spesifik çoğalma hızı deneysel olarak belirlenmemiş, deney tarihlerinin birbirine yakın olması nedeniyle bu sette kullanılan biyokütlenin aktivitesinin bir önceki setteki ile eşit olduğu kabul edilmiş ve denklem 5.1' de yerleştirilerek maksimum çoğalma hızları hesaplanmıştır.

Set 3' te ise, karakterizasyonu Set 1 ve Set 2' de kullanılan atıksulardan farklı olan bir atıksu ile yürütülen Kappeler ve Gujer (1992) yöntemi ile maksimum çoğalma hızı $\hat{\mu}_H = 3,6 / \text{gün}$ olarak belirlenmiştir. Bu değer Ekama ve diğerleri (1986) yönteminde değerlendirilmesi ile aktivitenin 0,42' ye düştüğü saptanmıştır.

Herbir sette uygulanan Ekama ve diğerleri (1986) yöntemi ile önemli bir sistem bileşeni olan kolay ayrışabilen organik madde konsantrasyonu, S_s , Set 1 ve Set 2' de birbirine yakın değerlerde bulunmuştur. Set 3' te ise, daha önce de belirtildiği gibi atıksu karakterizasyonunun farklı olması nedeni ile S_s konsantrasyonunun da düşük olduğu gözlenmiştir.

Ayrıca, Set 2' de kullanılan atıksu ile Marais ve Ekama (1976) yöntemi uyarınca yürütülen içsel solunum hızı katsayısı belirleme deneyinde $b_H = 0,10 / \text{gün}$ olarak bulunmuştur.

Karakterizasyonu Bölüm 4' te verilen atıksu üzerinde karşılaştırmalı yöntem uyarınca çözünmüş inert organik madde konsantrasyonu belirlenerek $S_1 = 105 \text{ mg / lt}$ olarak bulunmuştur.

TESİS II' ye Ait Deneysel Sonuçlar :

TESİS 2 atıksuyu ile 2 set deney yürütülmüştür. Bu setlerde yürütülen deneylerde, atıksu karakterizasyonundan da anlaşılabacağı gibi (Tablo 2.3) organik madde içeriğinin yüksek olması nedeni ile 3 / 10 oranında seyreltme yapılmıştır.

Set 1.1 ve Set 1.2' de Kappeler ve Gujer (1992) yöntemi ile maksimum çoğalma hızları belirlenmiş ve sırası ile 4,1 ve 4,5 / gün değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Ekama ve diğerleri (1986) yöntemi ile yürütülen deney sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılmış ve her ikisinde de aktivite katsayısı 0,95 olarak bulunmuştur. Deney tarihlerinin birbirine yakın olması nedeni ile Set 2' de de aktivite katsayısı 0,95 alınmak sureti ile maksimum çoğalma hızı 4,5 / gün olarak hesaplanmıştır.

Her iki sete de uygulanan Ekama ve diğerleri (1986) yöntemi ile önemli bir sistem bileşeni olan kolay ayrışabilen organik madde konsantrasyonları birbirine yakın değerlerde bulunmuştur.

Set 2' de kullanılan atıksu ile Marais ve Ekama (1976) yöntemi uyarınca yürütülen içsel solunum hızı katsayısı belirleme deneyinde ise $b_H = 0,13 / \text{gün}$ olarak tesbit edilmiştir.

Karakterizasyonu Bölüm 4' te verilen atıksu üzerinde karşılaştırmalı yöntem uyarınca çözünmüş inert organik madde konsantrasyonu ise $S_1 = 45 \text{ mg / lt}$ olarak bulunmuştur.

TESİS III' e Ait Deneysel Sonuçlar:

TESİS 3' te sadece bir set deney yürütülmüş ve yukarıda belirtilen aynı yöntemler uyarınca maksimum çoğalma hızı 6 / gün, kolay ayrışabilir organik madde konsantrasyonu 1900 mg / lt, aktivite katsayısı 0,60, çözünmüş inert madde konsantrasyonu 45 mg / lt ve içsel solunum hızı katsayısı 0,24 / gün olarak bulunmuştur.

5.2 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

TESİS I' de Set 1, Set 2.1 ve Set 2.2' de elde edilen kolay ayrışabilen organik madde konsantrasyonları incelendiğinde, bu tesise ait atıksuyun S_s değerinin 1030 - 1365 mg / lt aralığında değiştiği görülmüştür. Bu setlerdeki atıksudan farklı bir karakterizasyona sahip olan Set 3' teki atıksuyun S_s değeri ise 555 mg / lt olarak bulunmuş ve bu aralığın dışında kalmıştır. Bu durumun, sözkonusu atıksuyun fabrikadan alındığı tarihteki üretimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu değerlendirmeler çerçevesinde ilk iki set için belirlenen maksimum çoğalma hızlarının 5,1 - 5,8 / gün aralığında ve Set 3 için belirlenen hızın ise bu aralığın altında kaldığı gözlenmiştir. Bu durumun sıcaklık farklarından kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir.

Bu tesise ait Set 2.2' de yapılan içsel solunum hızını belirleme deneyinde elde edilen b_H değerinin evsel atıksudaki değere göre oldukça düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca, bu tesis için elde edilen çözünmüş inert madde konsantrasyonuna bakıldığında, çözünmüş inert kısmın başlangıçtaki organik madde konsantrasyonuna oranının çok düşük olduğu tesbit edilmiştir (Tablo 5.2).

Aynı esaslar çerçevesinde, TESİS II için elde edilen S_s konsantrasyonları incelendiğinde, bu değerlerin birbirine çok yakın ve 7000 mg / lt mertebesinde olduğu görülmüştür. Maksimum çoğalma hızı değerlerinin ise 4,1 - 4,5 / gün aralığında kaldığı tesbit edilmiştir. Set 2 üzerinde yürütülen içsel solunum hızı belirleme deneyinde ise b_H değeri 0,13 / gün olarak belirlenmiştir. Bu değer TESİS I için elde edilen b_H değerine oldukça yakın olup,

evsel atıksuya göre düşük bulunmuştur. Bu tesis için elde edilen çözünmüş inert organik madde konsantrasyonuna bakıldığında, bu değerin başlangıçtaki toplam organik madde konsantrasyonuna oranı TESİS I' deki gibi oldukça düşük seviyelerde bulunmuştur (Tablo 5.2).

Tablo 5.2 Herbir Tesise Ait Inert Madde Fraksiyonları

	C_T (mg / lt)	S_i (mg / lt)	S_i / C_T
TESİS I	2315	105	0,045
TESİS II	5657	45	0,008
TESİS III	2100	45	0,021

Şekerleme Endüstrisi kategorisinde yer alan, ancak üretimleri farklı olan bu üç tesis için elde edilen sonuçlara genel olarak bakıldığında, kolay ayrışabilen organik maddenin başlangıçtaki toplam organik madde konsantrasyonuna oranının 0,38 ile 0,95 , maksimum çoğalma hızının 3,6 ile 6,0 / gün , içsel solunum hızı katsayısının 0,10 ile 0,24 / gün ve birim zamanda birim aktif mikroorganizma başına tüketilen Oksijen miktarının ise 0,111 ile 0,184 mg O₂ / mg UAKM . saat arasında kaldığı gözlenmiştir.

Literatürde evsel atıksu ile yürütülen deneylerde aerobik maksimum çoğalma hızının 2,7 - 6,5 / gün aralığında ve ortalama olarak 4,5 / gün, içsel solunum hızının 0,24 / gün; sentetik atıksularda ise maksimum çoğalma hızının 4,7 - 10 / gün aralığında ve ortalama olarak da 7 / gün alınabileceği bulunmuştur (Sözen, 1995).

Yine literatürde, Henze (1986) tarafından 1 gr aktif biyokütlenin teorik olarak saatte 133 - 150 mg Oksijen tükettiği belirlenmiştir.

Buna göre, bu çalışmada elde edilen maksimum çoğalma hızlarının evsel atıksu için literatürde verilen değerden yüksek, sentetik atıksular için

verilenden ise düşük olduğu gözlenmiştir; bu çalışmada elde edilen içsel solunum hızı katsayılarının ise literatürde evsel atıksu için verilen değerden düşük olduğu tesbit edilmiştir. Aktif biyokütle başına elde edilen oksijen tüketim hızı değerlerinin ise literatür verileri ile uyumlu olduğu görölmektedir. Buradan hareketle, herbir tesis için belirlenen maksimum çoğalma hızları kendi içinde tutarlılık göstermektedir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Şekerleme Endüstrisi kategorisinde yer alan bu üç tesis için elde edilen sonuçların değerlendirmeleri özet halinde aşağıda sunulmuştur;

- Bu tesislerden kaynaklanan atıksular genellikle asidik karakterde olup, yüksek organik madde içerikli ve nütrient maddeler açısından fakir bir yapıya sahiptir. Başlıca kirletici parametreleri BOİ ve KOİ' dir. Her ne kadar kolay ayrıştığı varsayılan Glükoz veya onun türevi olan maddeleri içerseler de, arıtıldıkları arıtma tesislerinin sorunsuz ve kolay işletilmeleri açısından, laboratuvarında model ölekte incelenmesinde yarar vardır.
- Her bir tesis için elde edilen kolay ayrışabilen organik madde konsantrasyonunun başlangıçtaki toplam organik madde konsantrasyonuna oranları incelendiğinde, sözkonusu atıksuların S_s konsantrasyonunun diğer atıksulara nazaran yüksek olduğu ve bu atıksuların biyolojik olarak arıtılmalarının avantajlı olabileceği görülmektedir.
- Bu çalışmada elde edilen maksimum çoğalma hızlarının evsel atıksu için literatürde verilen değerden yüksek, sentetik atıksular için verilenden ise düşük olduğu gözlenmiştir. Sözkonusu atıksular için belirlenen içsel solunum hızı katsayılarının ise literatürde evsel atıksu için verilen değerden düşük olduğu tesbit edilmiştir.
- Şekerleme Endüstrisi kategorisinde yer alan bu tesislerden kaynaklanan atıksulardaki çözünmüş inert KOİ incelenmiş ve her üç tesis atıksuyu içinde düşük miktarda S_i değerleri bulunmuştur. Dolayısı ile Şekerleme Endüstrisi atıksularının arıtıma çıkış suyu standartları belirlenirken bu parametrenin dikkate alınmasında yarar vardır.

- Bu çalışmada aktif biyoktle başına elde edilen oksijen tüketim hızı değerlerinin literatürdeki değerlerle uyumlu olduğu grlmektedir. Buradan hareketle herbir tesis için belirlenen maksimum çoğalma hızları kendi içinde tutarlılık göstermektedir.
- şimdiye kadar şekerleme Endüstrisi atıksularının arıtılabilirliklerine ve kinetik parametrelerin belirlenmesine yönelik araştırmaların azlığı nedeni ile konunun hassasiyeti de dikkate alınarak daha fazla çalışma yapılması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- APHA, AWWA, WPCF, (1989), Standart Methohds for the Examination of Water and Wastewater, 16th Edition.
- ARTAN, N., (1987), Aktif Çamurda Çözünmüş Kalıcı Ürün Oluşumu Modeli, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- COCCI, A.A., LANDİNE, R.C., LEODOLTER, M. and BEUTTEL, S. (1990), Case History: Anaerobic / Aerobic Pretreatment of A Confectionery Waste, Proc. 44th Ind. Waste Conf. Purdue Univ. West Lafayette, Ind., USA.
- CHUDoba, 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 Grawth 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 Desing and Operation of Activated Sludge Process, US. Enviromental Protection Agency Water Pollution Research Series, Report No. 17090, FQJ 09/71, US EPA, Washington, D.C.
- GAUDY, A.F.Jr., (1972), Biochemical Oxygen Demand, Water Pollution Microbiology, Mitchell, R. (Ed.), Vol. 1, Willey - Interscience, London.
- 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
- GERMİRLİ, F., (1990), The Incremental and Comparison Methods for the Assesment of Initial Soluble Inert COD, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- GERMİRLİ, F., ORHON, D., ARTAN, N., (1991), Assessment of the Initial Inert Soluble COD in Industrial Wastewaters, Wat. Sci. Tech., Vol. 20.
- GRADY, C.P.L.Jr., LİM, H.C., (1980), Biological Wastewater Treatment : Theory and Applications, Marcel Decker Inc., New York.

- HENZE, M., (1986), Nitrate vs. Oxygen Utilization Rates in Wastewater and Activated Sludge Systems, Wat. Sci. Tech., Vol. 18.
- HENZE, M., GRADY, J.P.L.Jr., GUJER, W., MARAİS, G.V.R., MATSUO, T., (1987), IAWPRC Task Group Report on Mathematical Modelling for Desing and Operation of Biological Wastewater Treatment, Final Report.
- HENZE, Mogens, (1992), Characterization of Wastewater for Modelling of Activated Sludge Processes, Wat. Sci. Tech., Vol. 25, No.6, 1 - 15
- KAPPELER, J., GUJER, W., (1992), Estimation of Kinetic Parameters of Heterotrophic Biomass under Aerobic Conditions and Characterization of Wastewater for Activated Sludge Modelling, Swiss Federal Institute for Water Resources and Water Pollution Control (EAWAG), CH-8600 Dübendorf, Switzerland.
- METCALF, EDDY, (1984), Wastewater Engineering : Treatment Disposal Revse, McGrow - Hill Publ., New York.
- MARAİS, J.V.R., EKAMA, G.A., (1976), The Activated Sludge Process, Part I - Steady State Behaviour, Water S.A., Vol. 2, 4, 164.
- MONOD, J., (1949), The Growth of Bacterial Cultures, Ann. Re. Microbiol., 3, 371 - 394.
- ORHON, D., ARTAN, N., CİMŞİT, Y., (1989), The Concept of Soluble Residual Product Formation in The Modelling of Activated Sludge, Wat. Sci. Tech. 21, 339 - 350.
- 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., ARTAN, N., (1994), Modelling of Activated Sludge Systems, Technomik Publ., USA.
- SÖZEN, S., (1995), Nitrifikasyon - Denitrifikasyon Kinetiğinin Deneysel Karakterizasyonu, Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- US EPA, (1977), Federal Guidelines State and Local Pretreatment Programs. Vol. III. Appendix 8. EPA.

EKLER

EK A	TESİS I' e Ait Deneysel Çalışmaların Tablo ve Grafik Halinde Gösterimi	77
EK B	TESİS II' ye Ait Deneysel Çalışmaların Tablo ve Grafik Halinde Gösterimi	83
EK C	TESİS III' e Ait Deneysel Çalışmaların Tablo ve Grafik Halinde Gösterimi	90

TESİS I (Set 1)

$$F / M = 1,14 \text{ mg KOİ / mg UAKM}$$

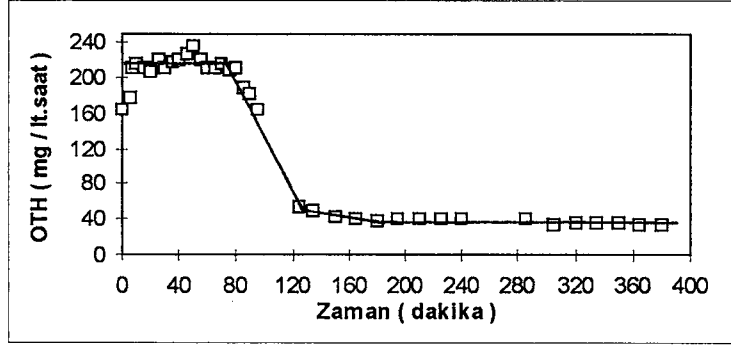
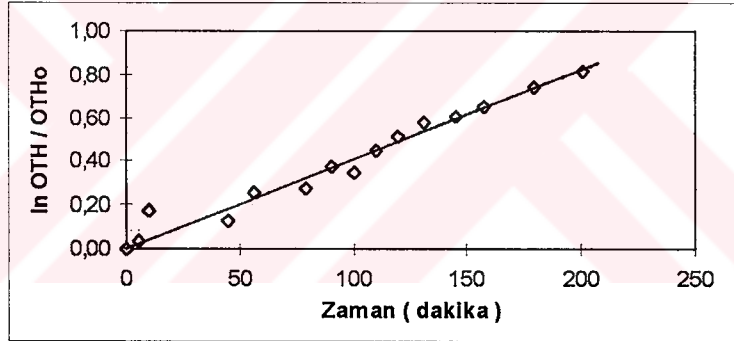
$$V_{ww} = 1000 \text{ ml}$$

$$V_{ml} = 150 \text{ ml}$$

$$V_{sol} = 50 \text{ ml}$$

$$V_T = 1200 \text{ ml}$$

$$X_T = 1860 \text{ mg UAKM / lt}$$

Şekil A.1 TESİS I (Set 1)' e Ait S_s Değişim GrafiğiŞekil A.2 TESİS I (Set 1)' e Ait $\hat{\mu}_H$ Belirleme Grafiği

Kabul :

$$S_s = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} 300. \frac{(1,05+0,15)}{1,05} = 1030 \text{ mg KOİ / lt}$$

$$b_H = 0,1 / \text{gün}$$

$$\hat{\mu}_H - b_H = 5,67 / \text{gün}$$

$$\hat{\mu}_H = 5,67 + 0,1 = 5,8 / \text{gün}$$

$$\hat{\mu}_H = 5,8 = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} \frac{24.220.0,45.1,2}{f_{av}.14861.0,15}$$

$$f_{av} = 0,66$$

TESİS I (Set 2.1)

$$F / M = 0,59 \text{ mg KOİ / mg UAKM}$$

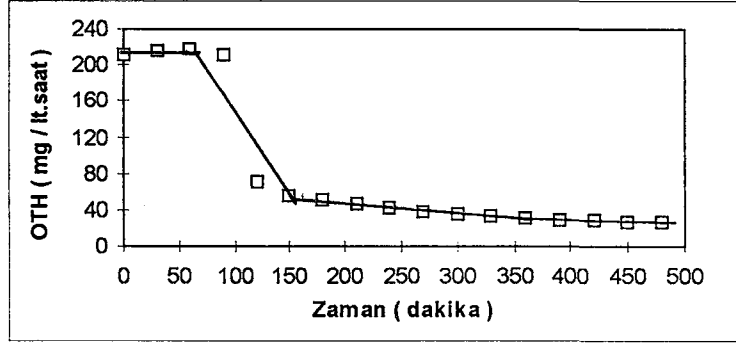
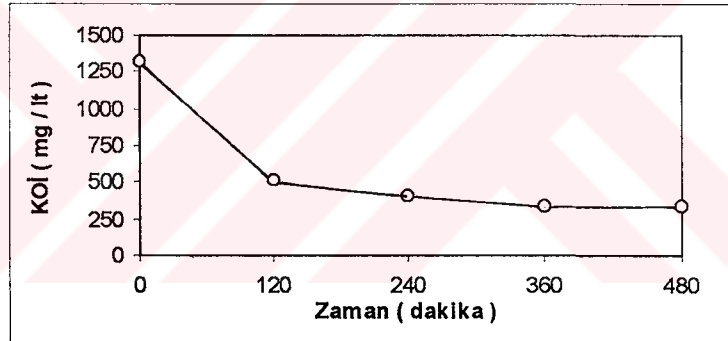
$$V_{ww} = 1555 \text{ ml}$$

$$V_{ml} = 165 \text{ ml}$$

$$V_{sol} = 80 \text{ ml}$$

$$V_T = 2000 \text{ ml}$$

$$X_T = 2060 \text{ mg UAKM / lt}$$

Şekil A.3 TESİS I (Set 2.1)' e Ait S_s Değişim Grafiği

Şekil A.4 TESİS I (Set 2.1)' e Ait KOİ Değişim Grafiği

Kabul :

$$S_s = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} 417 \cdot \frac{(1,835+0,165)}{1,835} = 1365 \text{ mg KOİ / lt}$$

$$f_{av} = 0,66$$

$$\hat{\mu}_H = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} \frac{24.214,5.0,45.2}{0,66.24970.0,165}$$

$$\hat{\mu}_H = 5,1 / \text{gun}$$

TESİS I (Set 2.2)

$$F / M = 0,65 \text{ mg KOİ / mg UAKM}$$

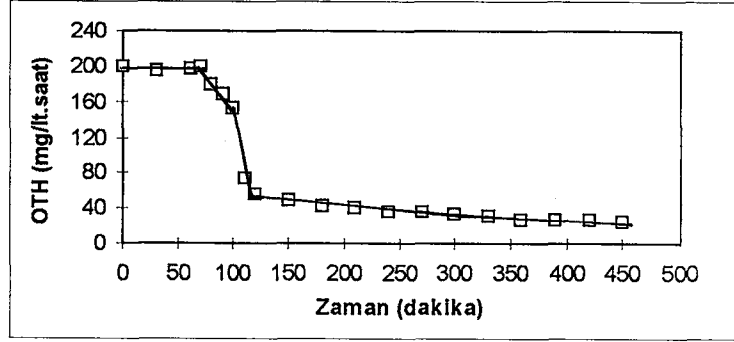
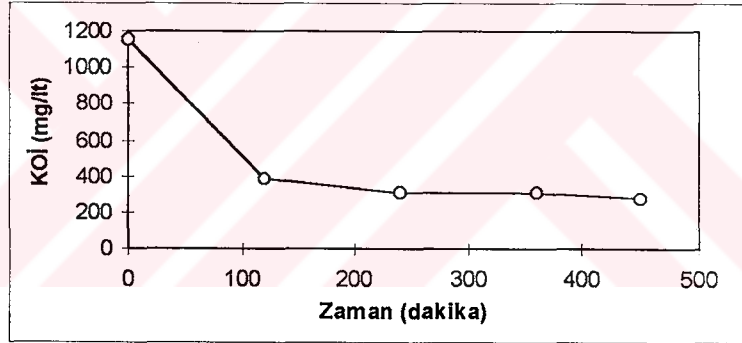
$$V_{ww} = 1555 \text{ ml}$$

$$V_{ml} = 150 \text{ ml}$$

$$V_{sol} = 80 \text{ ml}$$

$$V_T = 2000 \text{ ml}$$

$$X_T = 1650 \text{ mg UAKM / lt}$$

Şekil A.5 TESİS I (Set 2.2)' ye Ait S_s Değişim Grafiği

Şekil A.6 TESİS I (Set 2.2)' ye Ait KOİ Değişim Grafiği

Kabul :

$$S_s = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} 383,3 \cdot \frac{(1,85+0,15)}{1,85} = 1245 \text{ mg KOİ / lt}$$

$$f_{av} = 0,66$$

$$\hat{\mu}_H = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} \frac{24.197,4.0,45.2}{0,66.22015.0,15}$$

$$\hat{\mu}_H = 5,8 / \text{gün}$$

TESİS I (Set 3)

$$F / M = 0,72 \text{ mg KOİ / mg UAKM}$$

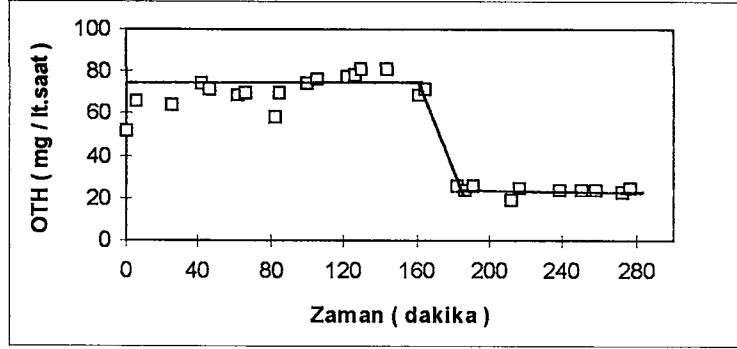
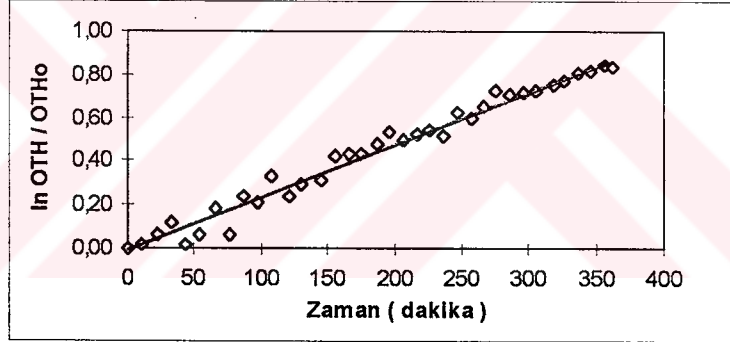
$$V_{ww} = 1000 \text{ ml}$$

$$V_{ml} = 220 \text{ ml}$$

$$V_{sol} = 30 \text{ ml}$$

$$V_T = 1250 \text{ ml}$$

$$X_T = 1640 \text{ mg UAKM / lt}$$

Şekil A.7 TESİS I (Set 3)' e Ait S_s Değişim GrafiğiŞekil A.8 TESİS I (Set 3)' e Ait $\hat{\mu}_H$ Belirleme Grafiği

Kabul :

$$S_s = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} 152,15 \cdot \frac{(1,03+0,22)}{1,03} = 555 \text{ mg KOİ / lt}$$

$$b_H = 0,1 / \text{gün}$$

$$\hat{\mu}_H - b_H = 3,5 / \text{gün}$$

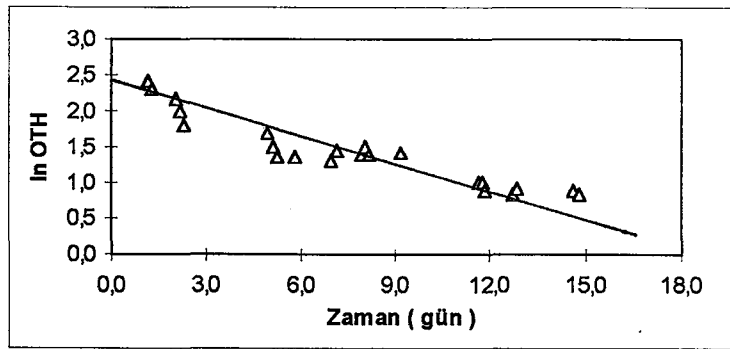
$$\hat{\mu}_H = 3,5 + 0,1 = 3,6 / \text{gün}$$

$$\hat{\mu}_H = 3,6 = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} \frac{24.77,1.0,45.1,25}{f_{av}.9310.0,22}$$

$$f_{av} = 0,42$$

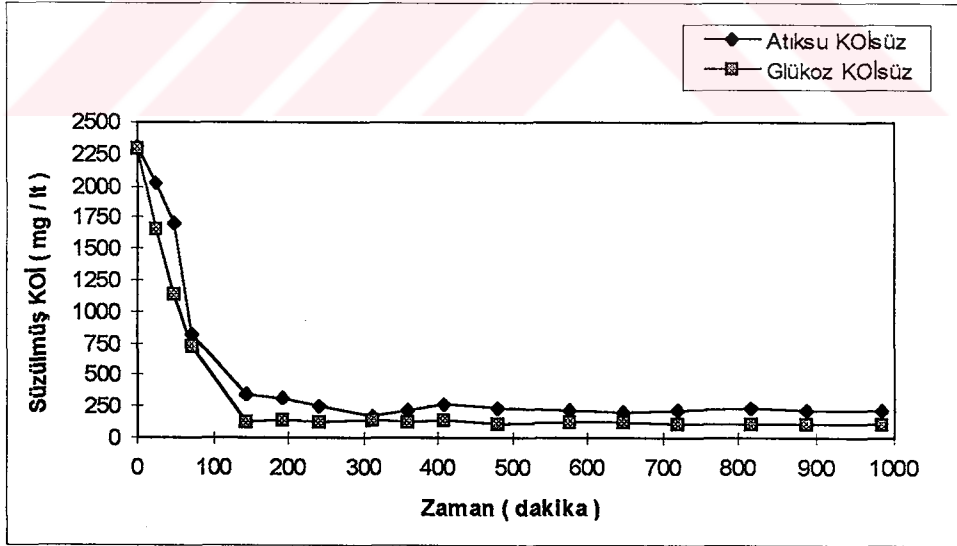
Tablo A.1 TESİS I' e Ait İçsel Solunum Katsayısı Belirleme Değerleri

Zaman (gün)	OTH (mg / lt.saat)	ln OTH
1,2	11,02	2,4
1,3	9,97	2,3
2,0	9,02	2,2
2,2	7,39	2,0
2,3	6,05	1,8
4,9	5,47	1,7
5,1	4,48	1,5
5,3	4,05	1,4
5,9	4,05	1,4
7,0	3,67	1,3
7,1	4,05	1,4
7,9	4,05	1,4
8,0	4,48	1,5
8,1	4,05	1,4
9,2	4,05	1,4
11,6	2,72	1,0
11,8	2,72	1,0
11,9	2,46	0,9
12,8	2,22	0,8
12,9	2,46	0,9
14,6	2,46	0,9
14,9	2,22	0,8

Şekil A.9 TESİS I' e Ait b_H Belirleme Grafiği

Tablo A.2 TESİS I' e Ait İnert Süzölmüş KOİ Analiz Sonuçları

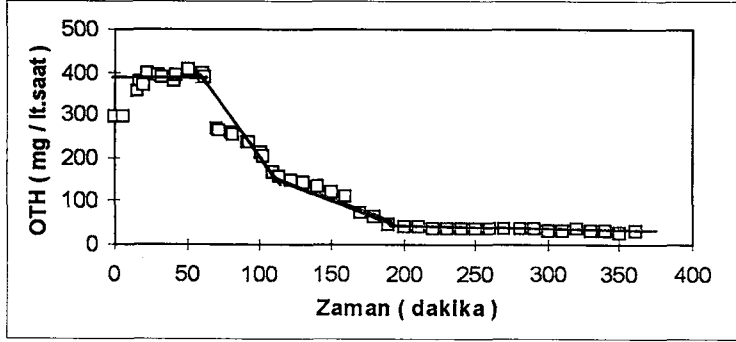
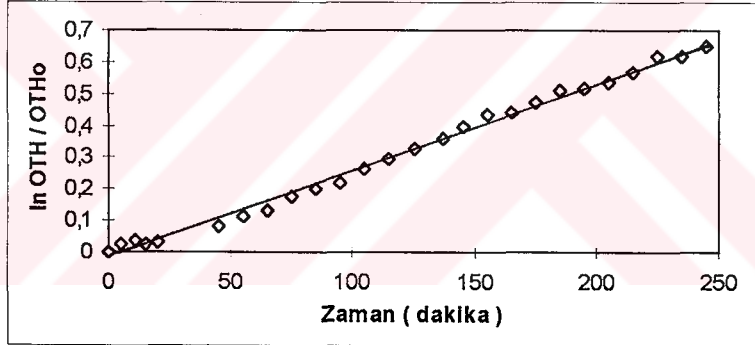
Zaman (saat)	Atıksu KOİ _{süz} (mg / lt)	Glükoz KOİ _{süz} (mg / lt)
0	2315	2295
24	2030	1661
48	1707	1133
72	816	720
144	351	132
192	314	138
240	251	124
312	170	136
360	226	122
408	268	137,5
480	239,5	118
576	228	122
648	208	120
720	214	115
816	233	115
888	220	115
984	220	115



Şekil A.10 TESİS I' e Ait İnert KOİ Belirleme Grafiği

TESİS II (Set 1.1)

$$\begin{aligned}
 F / M &= 0,58 \text{ mg KOİ / mg UAKM} \\
 V_{ww} &= 1000 \text{ ml} \\
 V_{ml} &= 185 \text{ ml} \\
 V_{sol} &= 60 \text{ ml} \\
 V_T &= 1245 \text{ ml} \\
 X_T &= 3230 \text{ mg UAKM / lt}
 \end{aligned}$$

Şekil B.1 TESİS II (Set 1.1)' e Ait S_s Değişim GrafiğiŞekil B.2 TESİS II (Set 1.1)' e Ait $\hat{\mu}_H$ Belirleme Grafiği

Kabul :

$$S_s = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} 627,25 \cdot \frac{(1,06+0,185)}{1,06} = 2210 \text{ mg KOİ / lt}$$

$$b_H = 0,13 / \text{gün}$$

$$\hat{\mu}_{tH} - b_H = 3,97 / \text{gün}$$

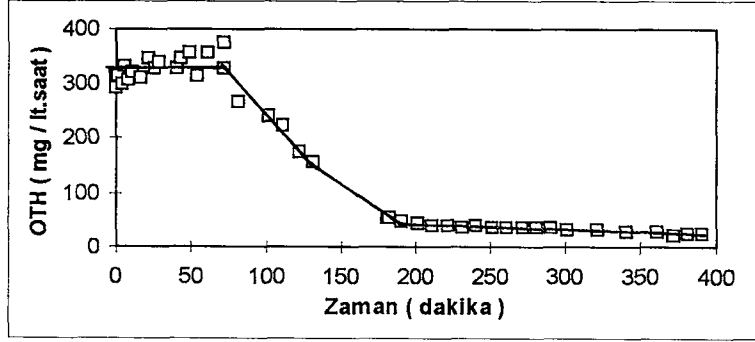
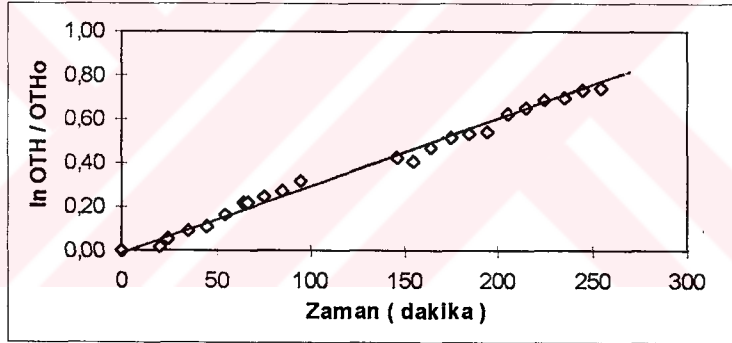
$$\hat{\mu}_{tH} = 3,97 + 0,13 = 4,1 / \text{gün}$$

$$\hat{\mu}_{tH} = 4,1 = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} \frac{24.389.0,45.1,245}{f_{av}.21745.0,185}$$

$$f_{av} = 0,95$$

TESİS II (Set 1.2)

$$\begin{aligned}
 F / M &= 0,75 \text{ mg KOİ / mg UAKM} \\
 V_{ww} &= 1000 \text{ ml} \\
 V_{ml} &= 200 \text{ ml} \\
 V_{sol} &= 50 \text{ ml} \\
 V_T &= 1250 \text{ ml} \\
 X_T &= 2485 \text{ mg UAKM / lt}
 \end{aligned}$$

Şekil B.3 TESİS II (Set 1.2)' ye Ait S_s Değişim GrafiğiŞekil B.4 TESİS II (Set 1.2)' ye Ait $\hat{\mu}_H$ Belirleme Grafiği

Kabul :

$$S_s = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} 565 \cdot \frac{(1,05+0,2)}{1,05} = 2020 \text{ mg KOİ / lt}$$

$$b_H = 0,13 / \text{gün}$$

$$\hat{\mu}_H - b_H = 4,37 / \text{gün}$$

$$\hat{\mu}_H = 4,37 + 0,13 = 4,5 / \text{gün}$$

$$\hat{\mu}_H = 4,5 = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} \frac{24.327,6.0,45.1,25}{f_{av}.15530.0,2}$$

$$f_{av} = 0,95$$

TESİS II (Set 1.2)

$$F / M = 0,75 \text{ mg KOİ} / \text{mg UAKM}$$

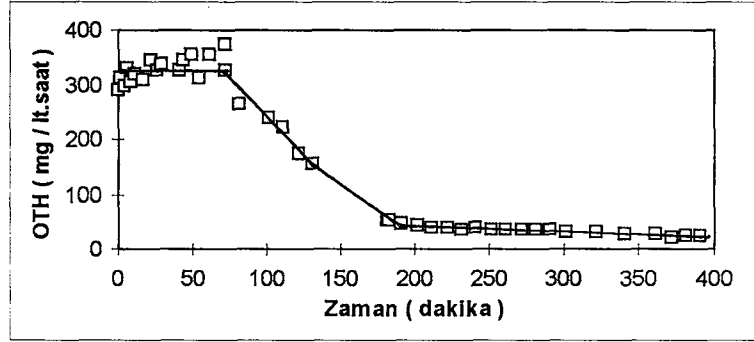
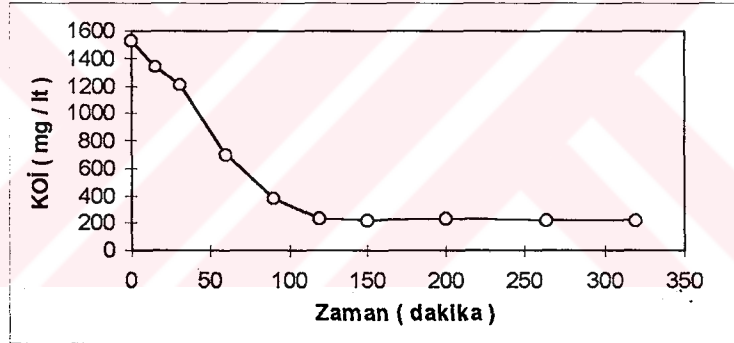
$$V_{ww} = 1000 \text{ ml}$$

$$V_{ml} = 200 \text{ ml}$$

$$V_{sol} = 50 \text{ ml}$$

$$V_T = 1250 \text{ ml}$$

$$X_T = 2485 \text{ mg UAKM} / \text{lt}$$

Şekil B.3 TESİS II (Set 1.2)' ye Ait S_s Değişim Grafiği

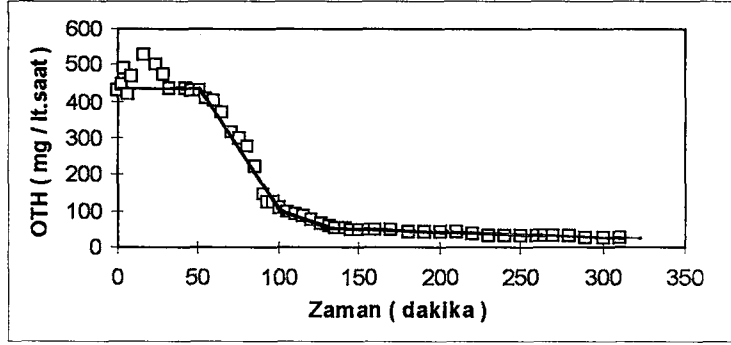
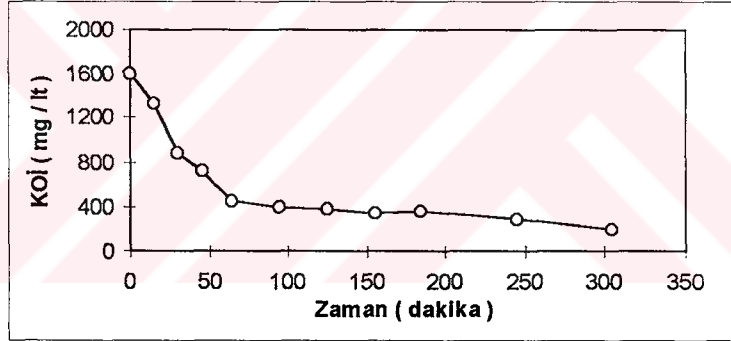
Şekil B.5 TESİS II (Set 1.2)' ye Ait KOİ Değişim Grafiği

Kabul :

$$S_s = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} 565. \frac{(1,05+0,2)}{1,05} = 2020 \text{ mg KOİ} / \text{lt}$$

TESİS II (Set 2)

$$\begin{aligned}
 F / M &= 0,58 \text{ mg KOİ / mg UAKM} \\
 V_{ww} &= 1000 \text{ ml} \\
 V_{ml} &= 220 \text{ ml} \\
 V_{sol} &= 50 \text{ ml} \\
 V_T &= 1270 \text{ ml} \\
 X_T &= 3290 \text{ mg UAKM / lt}
 \end{aligned}$$

Şekil B.6 TESİS II (Set 2)' ye Ait S_s Değişim Grafiği

Şekil B.7 TESİS II (Set 2)' ye Ait KOİ Değişim Grafiği

Kabul :

$$S_s = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} 579. \frac{(1,05+0,22)}{1,05} = 2100 \text{ mg KOİ / lt}$$

$$b_H = 0,13/\text{gün}$$

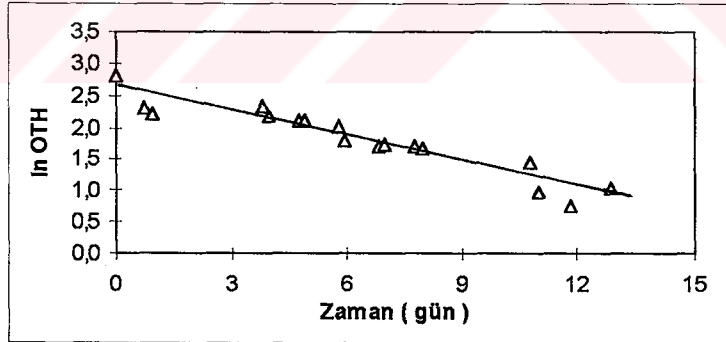
$$f_{av} = 0,95$$

$$\hat{\mu}_H = \frac{1}{(1-1,48.0,45)} \frac{24.432.0,45.1,27}{0,95.19000.0,22}$$

$$\hat{\mu}_H = 4,5/\text{gün}$$

Tablo B.1 TESİS II' ye Ait İçsel Solunum Katsayısı Belirleme Değerleri

Zaman (gün)	OTH (mg / lt.saat)	ln OTH
0	16,44	2,8
0,747	9,97	2,3
0,929	9,02	2,2
3,78	9,97	2,3
3,95	9,02	2,2
4,75	8,16	2,1
4,92	8,16	2,1
5,76	7,39	2,0
5,92	6,05	1,8
6,81	5,47	1,7
6,98	5,47	1,7
7,77	5,47	1,7
7,97	5,47	1,7
10,8	4,48	1,5
10,97	2,72	1,0
11,84	2,22	0,8
12,85	2,72	1,0

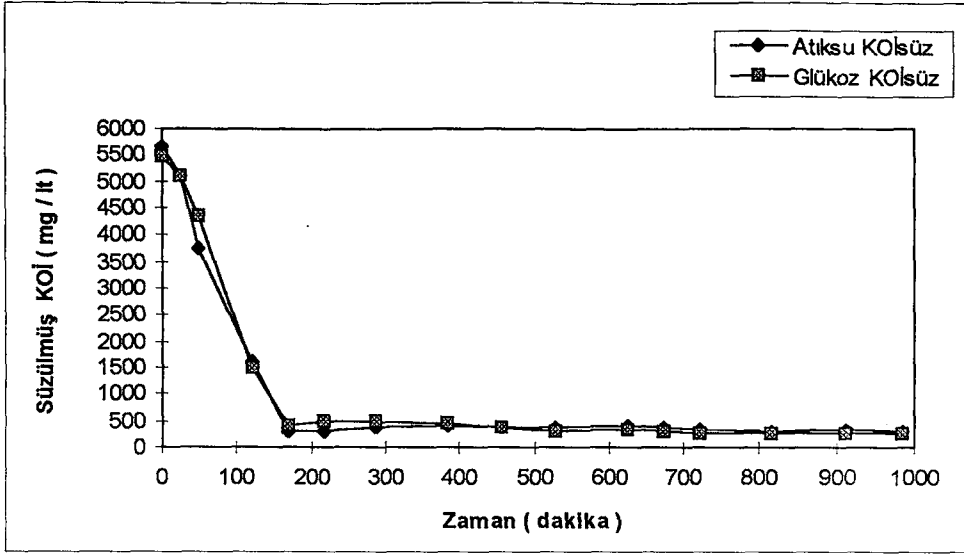
Şekil B.8 TESİS II ' ye Ait b_H Belirleme Grafiği

TESİS II' nin S₁ Bileşeninin Belirlenmesi

Bu deneyin yürütülmesi sırasında Tablo 4.2' de karakterizasyonu verilen atıksu kullanılmıştır. Bu kapsamda, $KIO_{süz} = 6531 \text{ mg / lt}$ olan atıksu numunesi ile yine $KOI_{süz} = 6500 \text{ mg / lt}$ olarak hazırlanmış Glükoz çözeltisinden 2' şer litre alınarak kesikli reaktörlere konmuştur. Bunun üzerine, daha önce 20 gün süre ile % 50 atıksu ve % 50 Glükoz içeren çözeltiye F / M oranı yaklaşık 0,5 olacak şekilde aklime edilmiş olan aktif çamur örneğinden 2 ml (30 mg / lt) ve mikroorganizma faaliyetleri için gerekli olan besi madde çözeltile- rinin herbirinden 131 ml ilave edilmiştir. Belirli bir hava debisinde, reaktörlerde en az 2 mg / lt Oksijen bulunacak şekilde havalandırma işlemi yapılmıştır. 984 saat boyunca KOI ' nin zamanla değişimi incelenmiş ve elde edilen değerler tablo ve grafik halinde aşağıda sunulmuştur.

Tablo B.2 TESİS II' ye Ait İnert Süzölmüş KOI Analiz Sonuçları

Zaman (saat)	Atıksu $KOI_{süz}$ (mg / lt)	Glükoz $KOI_{süz}$ (mg / lt)
0	5657	5488
24	5110	5098
48	3734	4362
120	1605	1500
168	306	406
216	288	504
288	358	500
384	402	453
456	375	362
528	373	305
624	419	322
672	372	290
720	345	273
816	309	261
912	320	256
984	290	245



Şekil B.9 TESİS II' ye Ait İnert KOİ Belirleme Grafiği

Bu grafik incelendiğinde, glükoz' un nihai süzölmüş KOİ' si ile atıksuyun nihai süzölmüş KOİ' si arasında çok düşük bir fark olduğu gözlenmiştir.

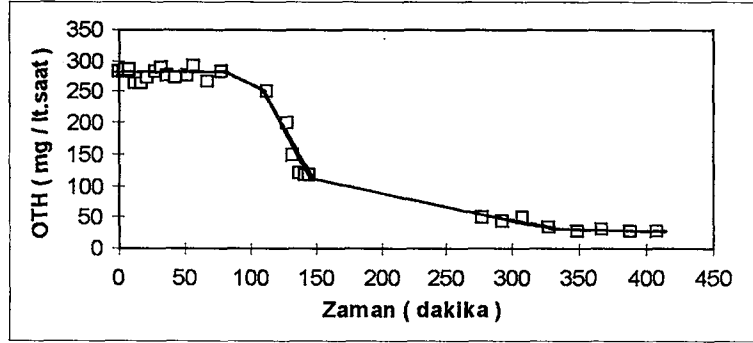
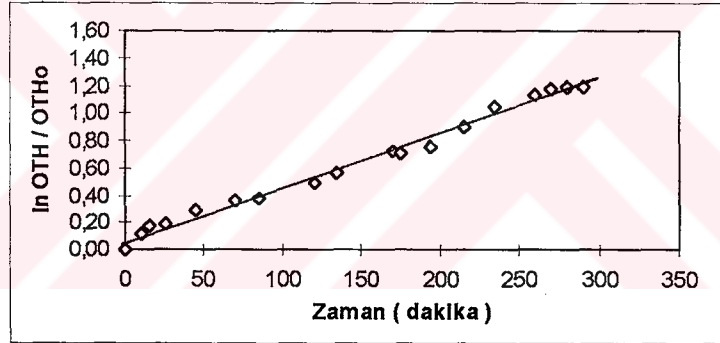
Bu verilerden, glükoz ile atıksuyun çözölmüş KOİ' leri arasındaki farkın düşük olduğu görölmektedir. Buna göre organik maddenin süzölmüş inert kısmının kolay ayrışabilir kısmına oranı;

$$\frac{S_{I0}}{S_{S0}} = \frac{(290-245)}{5657} = 0,008$$

olarak hesaplanmıştır.

TESİS III

$$\begin{aligned}
 F / M &= 0,91 \text{ mg KOİ / mg UAKM} \\
 V_{ww} &= 700 \text{ ml} \\
 V_{ml} &= 170 \text{ ml} \\
 V_{sol} &= 40 \text{ ml} \\
 V_T &= 910 \text{ ml} \\
 X_T &= 2540 \text{ mg UAKM / lt}
 \end{aligned}$$

Şekil C.1 TESİS III ' e Ait S_s Değişim GrafiğiŞekil C.2 TESİS III ' e Ait $\hat{\mu}_H$ Belirleme Grafiği

Kabul :

$$S_s = \frac{1}{(1 - 1,48 \cdot 0,45)} 515 \cdot \frac{(0,74 + 0,17)}{0,74} = 1900 \text{ mg KOİ / lt}$$

$$b_H = 0,24 / \text{gün}$$

$$\hat{\mu}_H - b_H = 5,71 / \text{gün}$$

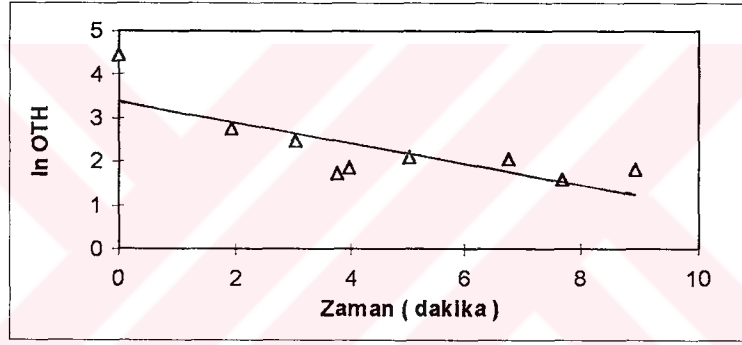
$$\hat{\mu}_H = 5,71 + 0,24 = 5,95 / \text{gün}$$

$$\hat{\mu}_H = 5,95 = \frac{1}{(1 - 1,48 \cdot 0,45)} \frac{24 \cdot 280 \cdot 0,45 \cdot 0,91}{f_{av} \cdot 13588 \cdot 0,17}$$

$$f_{av} = 0,60$$

Tablo C.1 TESİS III' e Ait İçsel Solunum Katsayısı Belirleme Değerleri

Zaman (gün)	OTH (mg / lt.saat)	ln OTH
0	84,8	4,44
1,925	15,64	2,75
3,05	11,8	2,468
3,76	5,8	1,758
3,99	6,6	1,887
5,03	8,4	2,128
6,76	7,95	2,073
7,68	5,04	1,617
8,93	6,225	1,829

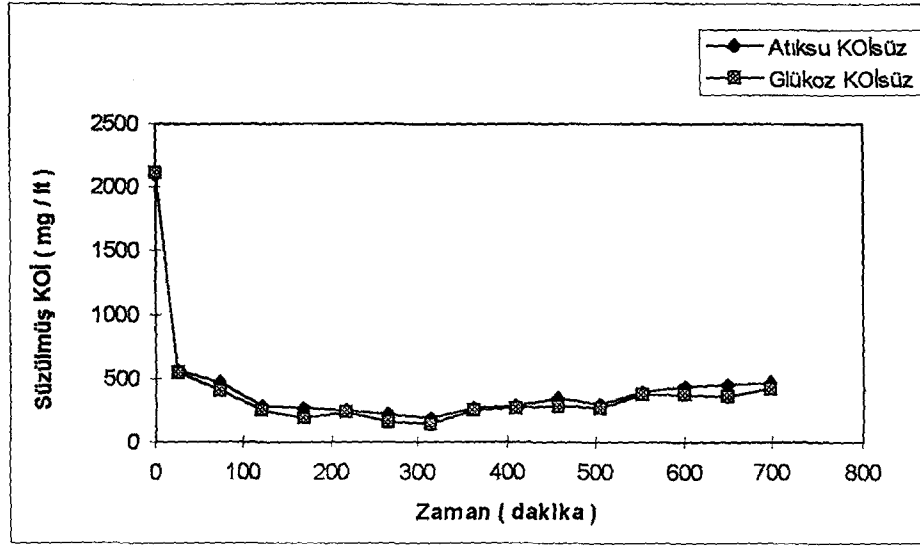
Şekil C.3 TESİS III ' e Ait b_H Belirleme Grafiği

TESİS III' ün S₁ Bileşeninin Belirlenmesi

Bu deneyin yürütülmesi sırasında Tablo 4.2' de karakterizasyonu verilen atıksu kullanılmıştır. Bu kapsamda, $KIO_{süz} = 2450$ mg / lt olan atıksu numunesi ile yine $KOI_{süz} = 2375$ mg / lt olarak hazırlanmış Glükoz çözeltisinden 2' şer litre alınarak kesikli reaktörlere konmuştur. Bunun üzerine, daha önce 30 gün süre ile % 50 atıksu ve % 50 Glükoz içeren çözeltiye F / M oranı yaklaşık 0,5 olacak şekilde aklime edilmiş olan aktif çamur örneğinden 5 ml (30 mg / lt) ve mikroorganizma faaliyetleri için gerekli olan besi madde çözeltilerinin herbirinden 37 ml ilave edilmiştir. Belirli bir hava debisinde, reaktörlerde en az 2 mg / lt Oksijen bulunacak şekilde havalandırma işlemi yapılmıştır. 696 saat boyunca KOI ' nin zamanla değişime incelenmiş ve elde edilen değerler aşağıda tablo ve grafik halinde sunulmuştur.

Tablo C.2 TESİS III' e Ait İnert Süzölmüş KOI Analiz Sonuçları

Zaman (saat)	Atıksu $KOI_{süz}$ (mg / lt)	Glükoz $KOI_{süz}$ (mg / lt)
0	2100	2115
24	565	540
72	461	406
120	285	248
168	260	190
216	256	229
264	223	158
312	193	140
360	270	251
408	289	269
456	337	275
504	296	270
552	396	373
600	434	379
648	456	367
696	473	427



Şekil C.4 TESİS III' e Ait İnert KOİ Belirleme Grafiği

Bu grafik incelendiğinde, glükoz' un nihai süzülmüş KOİ' si ile atıksuyun nihai süzülmüş KOİ' si arasında çok düşük bir fark olduğu gözlenmiştir.

Bu verilerden, glükoz ile atıksuyun çözünmüş KOİ' leri arasındaki farkın düşük olduğu görülmektedir. Buna göre organik maddenin süzülmüş inert kısmının kolay ayrışabilir kısmına oranı;

$$\frac{S_{10}}{S_{s0}} = \frac{(472 - 427)}{2100} = 0,021$$

olarak hesaplanmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Günay YILDIZ, 1970 yılında Erzurum’ da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzurum’ da, Lise öğrenimini İstanbul Atatürk Lisesi’ nde tamamladı. 1987 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde okumaya hak kazandı. 1991 yılında bu bölümden birincilikle mezun olduktan sonra aynı yıl burada Yüksek Lisans Eğitimine başladı. Bu süre içerisinde yaklaşık bir yıl süre ile bir özel şirkette Çevre Mühendisi olarak çalıştı. Akabinde İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’ nde tez çalışmalarını sürdürdü ve halen Yüksek Lisans Programı Öğrencisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.