



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

2002 - 160
YAŞ YÖNTEMLE MISIR

ÖĞÜTME ATIKSULARININ

ARITILABİLİRLİĞİ

1009051

Yer Deniz ve Atmosfer Bilimleri Araştırma Grubu

Earth Marine and Atmospheric Sciences
Researches Grant Group

2002 - 160
YAŞ YÖNTEMLE MISIR

ÖĞÜTME ATIKSULARININ

✓ ARITILABİLİRLİĞİ

100Y051

✓
33

1-36 Eklere

PROJE NO: YDABÇAG-100Y051

GÜLEN EREMEKTAR
ÖZLEM KARAHAN-GÜL
FATOŞ GERMİRLİ-BABUNA
SÜLEYMAN ÖVEZ
DERİN ORHON
HAKAN DULKADİROĞLU
HİJLAL ÜNER

Ocak 2002
İSTANBUL

ÖNSÖZ

Bu proje seçilen bir yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisinden kaynaklanan atıksularda; proses profili, konvansiyonel atıksu karakterizasyonu ve kirlenme profilinin çıkarılmasının yanı sıra, aerobik ve anaerobik koşullar altında atıksuda varolan inert organik madde ve biyolojik arıtım sırasında ortama bırakılan inert nitelikli metabolik ürünlerin düzeylerinin saptanması; çok bileşenli aktif çamur modellemesine olanak tanıyacak karakterizasyon yaklaşımı içinde, inert, yavaş ve hızlı ayrışan organik madde bileşenlerinin ve kinetik ve stokiyometrik katsayıların deneysel yöntemlerle ve karbon giderimine yönelik bilgisayar destekli modelleme aracılığı ile saptanmasını içermektedir.

Bilimsel araştırmalara katkıları nedeniyle bu çalışmayı destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
KISALTMALAR	ix

BÖLÜM 1: GİRİŞ	1
----------------	---

BÖLÜM 2: GELİŞME	2
------------------	---

2.1. YAŞ YÖNTEMLE MISIR ÖĞÜTME ENDÜSTRİSİ	2
---	---

2.1.1. Üretim Prosesleri ve Atıksu Kaynakları	2
---	---

2.1.2. Atıksu Karakterizasyonu ve Kirletici Parametre Yükleri	3
---	---

2.1.1. Arıtma Teknolojileri	3
-----------------------------	---

2.1. KAVRAMSAL YAKLAŞIM	3
-------------------------	---

2.1.1. Konvansiyonel Atıksu Karakterizasyonu	3
--	---

2.1.2. Biyolojik Arıtılabilirlik Bazlı Atıksu Karakterizasyonu	4
--	---

2.1.3 Proses Kinetiği ve Modellemesi	6
--------------------------------------	---

2.1.4. İçsel Solunum Modeli	7
-----------------------------	---

2.2. MATERYAL VE METHOD	9
-------------------------	---

2.2.1. İnert KOİ Bileşenlerinin (S_I , X_I) Belirlenme Yöntemleri	9
---	---

2.2.2. Hızlı Ayırılan Organik Madde (S_S) Belirleme Yöntemi	12
---	----

2.2.3. Yavaş Ayırılan Organik Madde (X_S , S_H) Bileşenlerinin Belirleme Yöntemi	15
--	----

2.2.4. Kinetik ve Stokiyometrik Katsayıların Belirlenme Yöntemleri	16
--	----

2.2.4.1. Maksimum Çoğalma Hızı, $\hat{\mu}_H$ Belirleme Yöntemi	16
---	----

2.2.4.2. İçsel Solunum Hızı b_H , Belirleme Yöntemi	20
---	----

2.2.4.3. Heterotrofik Dönüşüm Oranı, Y_H Belirleme Yöntemi	20
2.2.4.4. Hidroliz Sabiti, k_h ve Hidroliz Doygunluk Sabiti K_X 'in Belirlenmesi	21
2.3. DENEYSEL ÇALIŞMA	22
2.3.1. Materyal ve Metod	22
2.3.2. Proses Tanımı ve Atıksu Kaynakları	23
2.3.3. Ayrık Akım Atıksu Karakterizasyonu ve Kirlenme Profilleri	26
2.3.4. Konvansiyonel Atıksu Karakterizasyonu	29
2.3.5. Arıtılabilirlik Deneyleri	29
2.3.5.1. Aerobik ve Anaerobik Şartlar Altında Elde Edilen İnert KOİ Bileşenleri	29
2.3.5.2. KOİ Bileşenlerinin Saptanması	31
2.3.5.2. Kinetik ve Stokiyometrik Katsayılar	32
BÖLÜM 3: SONUÇLAR VE TARTIŞMA	34
KAYNAKLAR	36
EKLER	38

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 İçsel Solunum Modelinde Karbon Giderim Mekanizmasının Stokiyometrisi ve Kinetiği	8
Tablo 2.2 Ayırık Akım Atıksu Karakterizasyonu	28
Tablo 2.3 Kirlenme Profili	28
Tablo 2.4 Konvansiyonel Atıksu Karakterizasyonu	29
Tablo 2.5 Aerobik ve Anaerobik Koşullarda Gerçekleştirilen İnert KOİ Deney Sonuçları	30
Tablo 2.6 İnert KOİ Deneyinin Değerlendirilmesi (KOİ, mg l ⁻¹)	30
Tablo 2.7 İncelenen Atıksudaki KOİ Bileşenleri	31
Tablo A.1 Deneysel OTH sonuçları (Numune 4)	38
Tablo A.2 Deneysel OTH sonuçları (Numune 6)	40
Tablo A.3 İnert KOİ Bileşenlerinin Belirlenmesi Deneyi Sonuçları (Numune 6)	42
Tablo A.4 Deneysel OTH ve KOİ sonuçları (Numune 4)	44
Tablo A.5 Deneysel OTH sonuçları (Numune 3)	46
Tablo A.6 Deneysel OTH sonuçları (Numune 5)	47

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Atıksudaki (girişteki) toplam KOİ fraksiyonları	5
Şekil 2.2	Aktif Çamur Sistemi	5
Şekil 2.3	Arıtma tesisi çıkış akımındaki KOİ fraksiyonları	6
Şekil 2.4	İçsel solunum modelinin şematik gösterimi	8
Şekil 2.5	İnert KOİ profilleri	10
Şekil 2.6	KOİ profilleri	12
Şekil 2.7	Bileşenlerin OTH Profiline etkisi (Ubay Çokgör, 1997)	14
Şekil 2.8	OTH grafiği ile S_{S0} belirlenmesi	14
Şekil 2.9	OTH profili ile S_{S0} belirleme	15
Şekil 2.10	OTH profili	17
Şekil 2.11	Yüksek F/M oranında elde edilen OTH profili	18
Şekil 2.12	OTH profili ile $\hat{\mu}_H$ - b_H 'ın belirlenmesi	19
Şekil 2.13	İçsel solunum hızı, b_H 'ın belirlenmesi	20
Şekil 2.14	Heterotrofik Dönüşüm Oranı, Y_H Bulunması	21
Şekil 2.15	İncelen Tesisin Genel Akım Şeması	24
Şekil 2.16	Yaş Öğütme Akım Şeması	25
Şekil 2.17	Nişasta Türevleri Üretimi Akım Şeması	27
Şekil 2.18	OTH profili Model Simülasyonu	32
Şekil 2.19	Hidroliz Katsayıları Tahmininin Hassasiyeti	33
Şekil A.1	OTH'nın Zamanla Değişimi (Numune 4)	39
Şekil A.2	OTH'nın Zamanla Değişimi (Numune 6)	41
Şekil A.3	Y_H Belirlenmesi (Numune 4) a) OTH Profili b) Süzölmüş KOİ Profili	45
Şekil A.4	b_H 'ın Belirlenmesi (Numune 3)	46
Şekil A.5	OTH grafiği (Numune 5)	48
Şekil A.6	$\hat{\mu}_H$ - b_H 'ın Belirlenmesi (Numune 5)	48

SEMBOL LİSTESİ

b_H	içsel solunum katsayısı
C_{TI}	toplam giriş KOİ' si
f_{EX}	biyokütlenin partiküler inert fraksiyonu
f_{ES}	biyokütlenin çözünmüş inert fraksiyonu
k_h, k_{hS}	maksimum hidroliz katsayısı
K_S	yarı doygunluk katsayısı
K_X, K_{XS}	hidroliz yarı doygunluk sabitleri
$OUR (OTH)$	oksijen tüketim hızı
S_H	hızlı hidroliz olabilen KOİ
S_I	çözünmüş inert KOİ
S_0	oksijen konsantrasyonu
S_P	çözünmüş inert metabolik ürün
S_S	hızlı ayrışabilir KOİ
S_T	toplam çözünmüş KOİ
X_H	aktif heterotrofik biyokütle
X_I	partiküler inert KOİ
X_P	partiküler inert metabolik ürün
X_S	yavaş hidroliz olabilen KOİ
Y_H	heterotrofik dönüşüm oranı
Y_{SP}	çözünmüş inert metabolik dönüşüm oranı
θ_X	çamur yaşı
θ_h	hidrolik bekletme süresi
$\hat{\mu}_H$	maksimum heterotrofik büyüme hızı

KISALTMALAR

AKM :	Askıda Katı Madde
UAKM:	Uçucu Askıda Katı Madde
BOİ :	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
KOİ :	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TOK :	Toplam Organik Karbon
TP :	Toplam Fosfor
TKN :	Toplam Kjeldahl Azotu

ÖZET

Yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi yüksek düzeyde kirletici içeren atıksular ürettiğinden, çevre kirliliği açısından önemli endüstriler kapsamındadır. Bu araştırma çalışmasında ilk aşamada mısır tanelerinden mısır özü, lif, gluten ve nişasta sütü; ikinci aşamada ise ilk aşamada elde edilen nişasta sütünden glukoz, modifiye nişasta ürünleri, kuru nişasta ve dekstrin üretimi yapan bir endüstri atıksularının arıtılabilirliği incelenmiştir. Günümüzde çevre biyoteknolojisi anlayışı atılım içerisinde. Bu yeni gelişim özellikle çok bileşenli modelleme yaklaşımları ve buna bağlı atıksu karakterizasyonu ve arıtılabilirlik kavramlarında kendini göstermektedir. Evsel atıksular için tanımlanmış ve denenmiş olan yeni biyoteknoloji yaklaşımları bu çalışma kapsamında, yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi atıksularına uyarlanmıştır. Atıksular genellikle biyolojik arıtılabilirlik açısından miktarca çok geniş aralıkta değişen organik maddeleri içerir. Özellikle yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi gibi endüstriyel kaynaklı atıksularda, atıksu karakterizasyonunun doğru olarak yapılmaması, diğer bir deyişle substrat bileşenlerinin sağlıklı saptanması, biyolojik arıtılabilirlik sonuçlarının yanlış yorumlanmasına yol açacağından büyük önem taşır. Yüksek organik madde içeren yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi atıksuları anaerobik sistemler ve aerobik aktif çamur prosesleri kullanılarak arıtılırlar. Aerobik ve anaerobik sistemlerden hangisinin arıtımda daha iyi sonuç vereceğinin irdelenmesi deşarj standartlarının sağlanmasında öncelik kazanmaktadır. Bu açıdan atıksuda varolan inert organik madde ve biyolojik arıtım sırasında ortama bırakılan inert nitelikli metabolik ürünlerin düzeylerinin aerobik ve anaerobik koşullar altında saptanması sistem seçiminde etkin olacaktır. Öte yandan, biyoteknoloji alanındaki son kavramsal gelişmelere göre, aktif çamur arıtma tesisi verimlerinin öngörülmesinde inert ve yavaş ayrışan substrat bileşenlerinin miktarlarının saptanması, kolay ayrışabilir substratın kinetiğinden daha önemli hale gelmiştir. Bu gelişmeler modelleme anlayışına da yansımaktadır. Arıtma kinetiğinin substrat ve biyokütleden oluşan iki bileşenli matematik modeller ile ifade edilmesi son yıllarda geçerliliğini yitirmiştir. Günümüzde yeni çok bileşenli modelleme yaklaşımları uygulanmaktadır. Yeni yaklaşıma göre atıksu karakterizasyonunun inert, yavaş ayrışan (yavaş ve hızlı hidroliz olabilen) ve hızlı ayrışan organik madde bileşenlerini içermesi ve tasarımda kullanılacak stokiyometrik ve kinetik parametrelerin doğru belirlenmesi gerekmektedir. Bu çerçevede projenin amacı sözüedilen endüstriden kaynaklanan atıksu örneklerinde; proses profili, konvansiyonel atıksu karakterizasyonu ve kirlenme profilinin çıkarılmasının yanı sıra, aerobik ve anaerobik koşullar altında atıksuda varolan inert organik madde ve biyolojik arıtım sırasında ortama bırakılan inert nitelikli metabolik ürünlerin düzeylerinin saptanması; çok bileşenli aktif çamur modellemesine olanak tanıyacak karakterizasyon yaklaşımı içinde, inert, yavaş ve hızlı ayrışan organik madde bileşenlerinin ve kinetik ve stokiyometrik katsayıların deneysel yöntemlerle ve karbon giderimine yönelik bilgisayar destekli modelleme aracılığı ile saptanmasını içermektedir. Çalışma sonuçları incelenen endüstride çevre kirliliği kontrolü açısından alınacak önlemlere ışık tutacak niteliktedir.

Anahtar Sözcükler Aktif Çamur Sistemleri, Yaş Yöntemle Mısır Öğütme Endüstrisi, Atıksu, Biyolojik Arıtılabilirlik, Modelleme.

ABSTRACT

Corn wet mills may be considered as environmentally significant industrial activities as they generate high strength wastewaters. In this research study, a corn wet mill that produces corn germ, fiber, gluten and starch slurry from corn grits combined with subsequent glucose, modified starch goods, starch and dextrin producing facilities from the obtained starch slurry will be evaluated in terms of the treatability of its wastewaters. In recent years, great improvements has been achieved in the understanding of environmental biotechnology focusing mainly on the developments in wastewater characterization and related treatability concepts. At present, the understanding of wastewater characterization and related treatability the conventional framework of assessing the values of a set of parameters. It now involves COD fractionation and respirometric measurements which identify aside biodegradable organic matter, inert COD portions and a comprehensive package of kinetic and stoichiometric parameters reflecting biological treatability. Inevitably the reflections of these new approaches can be seen on the modelling studies too. High organic matter content of corn wet mill industry has promoted the application of biological processes as the appropriate treatment technology. Both anaerobic and aerobic activated sludge technologies have been used for this purpose. The choice of aerobic or anaerobic treatment process may involve consideration of a number of different issues, but compliance with effluent regulations imposing stringent COD limitations should be viewed as the decisive factor. In this respect, the selected treatment process may be designed to remove all available biodegradable substrate in the wastewater. Therefore, its effectiveness chiefly depends on the soluble inert COD fraction initially present in the wastewater and especially on the magnitude of the soluble residual metabolic products produced during the course of biological processes. There is experimental evidence to show that the level of inert COD fractions, either initially present or generated as metabolic products varies a great deal with the nature (anaerobic/aerobic) of the biological process and consequently, the assessment of inert COD fractions must be performed in accordance with the applied treatment. On the other hand, expressing the activated sludge treatment kinetics in terms of two component (substrate and biomass) mathematical models are proved to be incorrect. Therefore new multicomponent models have been developed. Unfortunately with the exception of few research examples, all the present knowledge is on domestic wastewaters. In this context, these new scientific concepts with sound biotechnological principles are introduced as integral parts of a comprehensive treatability study on wastewaters generated from a corn wet mill industry. Apart from the investigating the effluents for inert COD fractions under aerobic and anaerobic conditions, a significant portion of the study is devoted to experimental research on conventional and biodegradability based wastewater characterization and treatability that covers the assessment of COD fractions (particulate and soluble inert COD, rapidly biodegradable COD, rapidly and slowly hydrolyzable COD) and kinetic and stoichiometric coefficients under aerobik conditions. The results of the study enable immediate implementation of environmental corrective measures for the investigated corn wet mill.

Keywords : Activated Sludge Systems, Corn Wet Mill, Wastewaters, Biological Treatability, Modelling.

BÖLÜM 1: GİRİŞ

Yaş yöntemle mısır öğütme işlemi yapan endüstriler kuvvetli atıksu ürettiklerinden kirlenme kontrolü açısından önemle ele alınması gereken endüstri grubuna girerler. Bu araştırma çalışması ilk aşamada mısır tanelerinden mısır özü, lif, gluten ve nişasta sütü; ikinci aşamada ise ilk aşamada elde edilen nişasta sütünden glukoz, modifiye nişasta ürünleri, kuru nişasta ve dekstrin üretimi yapan bir endüstri atıksularının arıtılabilirliğinin incelenmesine yönelik olarak gerçekleştirilmiştir.

Yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi atıksuları yüksek organik madde içeriğine sahip olduklarından biyolojik yöntemler kullanılarak arıtılırlar. Bu amaç doğrultusunda söz konusu atıksuların arıtımında anaerobik sistemler ve aerobik aktif çamur prosesleri yaygın olarak uygulanmaktadır. Aerobik ve anaerobik sistemlerden hangisinin arıtımda daha iyi sonuç vereceği deşarj standartlarının sağlanması açısından öncelikli olarak irdelenmelidir. Bu açıdan atıksuda varolan inert organik madde ve biyolojik arıtım sırasında ortama bırakılan inert nitelikli metabolik ürünlerin düzeylerinin aerobik ve anaerobik koşullar altında saptanması sistem seçiminde etkin olacaktır. Böylesi bir araştırma bu çalışma kapsamında yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi atıksuları üzerinde ilk defa yürütülmüştür. Öte yandan aerobik arıtma sistemleri içinde yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi atıksuların arıtımında yaygın kullanıma sahip aktif çamur sistemlerinin tasarımı, hem yüksek arıtma verimlerinin sağlanması, hem de tesislerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri açısından önem taşımaktadır. Doğru tasarım ve işletme ise, ancak iyi belirlenmiş atıksu karakterizasyonu ve kinetik ve stokiyometrik katsayılara, ve tüm bunlar üzerine kurulu sağlıklı bir modelleme yaklaşımına dayanılarak yürütülebilir. Günümüzde, atılım içinde olan çevre biyoteknolojisi anlayışı uyarınca, tasarımda çok bileşenli modeller kullanılmaktadır. Çok bileşenli modeller kinetik ve stokiyometrik büyüklüklerin yanı sıra, konvansiyonel kirletici parametreler dışında, arıtılabilirlik esaslı; inert, kolay ayrışabilir, yavaş ayrışabilir, çözünmüş ve partiküler organik madde bileşenlerini içeren detaylı bir atıksu karakterizasyonunu gerektirmektedir.

Detaylı atıksu karakterizasyonu ve kinetik ve stokiyometrik büyüklüklerin saptanmasına yönelik geliştirilmiş çeşitli deneysel yöntemler mevcuttur. Ancak sözü edilen bu yeni çevre biyoteknolojisi yaklaşımlarını içeren yöntemler sadece evsel atıksular için tanımlanmış ve denenmiş, endüstriyel atıksular kapsam dışı kalmıştır.

Bu çerçevede projenin amacı seçilen bir yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisinden kaynaklanan atıksular için proses profili, konvansiyonel atıksu karakterizasyonu ve kirlenme profilinin çıkarılmasının yanı sıra, aerobik ve anaerobik koşullar altında atıksuda varolan inert organik madde ve biyolojik arıtım sırasında ortama bırakılan inert nitelikli metabolik ürünlerin düzeylerinin saptanması; çok bileşenli aktif çamur modellemesine olanak tanıyacak karakterizasyon yaklaşımı içinde, inert, yavaş ve hızlı ayrışan organik madde bileşenlerinin ve kinetik ve stokiyometrik katsayıların deneysel yöntemlerle ve karbon giderimine yönelik bilgisayar destekli modelleme aracılığı ile saptanmasını içermektedir.

BÖLÜM 2: GELİŞME

2.1. YAŞ YÖNTEMLE MISIR ÖĞÜTME ENDÜSTRİSİ

2.1.1. Üretim Prosesleri ve Atıksu Kaynakları

Hayvan yemi olarak da kullanılan mısır, bol bulunan, ucuz, yüksek miktarda nişasta ve protein içeren bir tarımsal üründür. Mısırın endüstriyel prosesler ile işlenmesi sonucu etil alkol, nişasta gibi geniş bir ürün yelpazesi oluşmaktadır. Islak mısır öğütme prosesi kontrollü şartlarda mısır tohumlarının suyla ıslatılması ve öğütülmesi, santrifüj ve yıkama yardımıyla bileşenlerine ayrılması adımlarından oluşur. Bu işlemler sonucunda mısırdan nişasta, glukoz, yağ, yem vb. çeşitli ürünler oluşur.

Yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisinin üretim aşamaları genel olarak ıslatma, mısır ayrırımı ve öz ile ilgili prosesler olarak sınıflandırılabilir. Aşağıda her endüstride farklı biçimlerde uygulamaları görülen bu adımlar kısaca anlatılmaktadır.

Islatma, mısırın kontrollü bir şekilde suyla ıslatılması prosesidir. Bu proses yapılırken sıcaklık, zaman, sülfür dioksit (SO_2) konsantrasyonu, laktik asit içeriği vb. parametreler kontrol edilmelidir. Islatma prosesi, tohumun çekirdeğini yumuşatır, mısırı bileşenlerine ayırır. Mısır, titreşimli ızgaralardan geçirilerek daha sonraki proseslerde ürün kalitesini düşürebilecek kaba maddelerinden ıslatma işleminde ayrılır. Bu maddeler hayvan yemi olarak kullanılabilir. Islatma için kullanılan su, % 0.12 – 0.20 konsantrasyonunda SO_2 ile karıştırılır (Watson ve Ramstad, 1987). SO_2 suyun mısır çekirdeğine girişini kolaylaştırır ve proteinden nişasta üretimini artırarak daha kaliteli nişasta üretimini sağlar. Islatma için 1.2–1.4 m^3 /t.mısır su gereksinimi vardır. Bu suyun yaklaşık 0.5 m^3 /t'u mısır tarafından emilir ve mısırın nem oranını %45'lere çıkarır. Kalan su ise, 1 ton mısır başına 0.05 – 0.06 t katı madde içerir. Sözü edilen suyun bir kısmı %40–50 katı madde içeriğine ulaşılan kadar buharlaştırılır, mısır lifleri ile karıştırılır, kurutulur ve yem olarak kullanılır (Watson ve Ramstad 1987).

Mısırın ayrırımı adımı ıslatılmış mısırın tanklara alınması için tekrar suya ihtiyaç duyulur. Mısır-su karışımı bir sabit ızgaralı öğütücünden ve döner diskten geçirilir. Ürünlere su ilave edilir ve hazırlanan karışım flotasyon tanklarına ve hidrokolonlara pompalanır. Mısır tohumları yıkanır ve işlem için 1 ton mısır başına 1.2 – 1.3 m^3 su kullanılır (Watson ve Ramstad, 1987). Daha sonra tohumlar preslerde susuzlaştırılır, kurutulur ve elde edilen mısır yağı geri devredilir. Flotasyon ve hidrokolonlarla tohum ayırımından sonra, mısır-su karışımı aralıkları 50 μm olan ızgaradan geçirilerek lifler gluten ve nişastaya ayrılır. Nişastanın % 30 – 40'ı ayrılır ve öğütülmüş nişastaya dönüştürülür. Kalan kısım nişastaya bağlı lifleri içerir. Öğütülmüş sulu nişasta yıkanır ve daha sonra lifler 70 μm aralıklı ızgaradan geçirilerek nişasta ayrılır. Öz ve liflerin mısırdan ayrılmasından sonra geriye yüksek protein içeren maddeler, gluten ve çözünmüş mısır taneleri ile nişastalı su kahr. Gluten düşük yoğunluklu olduğundan nişastadan kolayca ayrılır. Susuzlaştırma için çeşitli tipte filtreler (vakum, belt, basınçlı) filtreler ve santrifüjler kullanılır. Santrifüjlerden çıkan nişasta % 3 – 5 oranında protein içermektedir. Bu nişasta santrifüjler ve vakum filtreler kullanılarak hidrokolonlarda yıkanır. Nişasta yıkama suyu sisteme geri devrettirilir.

Oluşan nişastanın fermentasyonu sonucu etil alkol oluşur. Yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisinden glukoz da elde edilebilir. Yan ürünler ayrıca kağıt endüstrisinde, tekstil endüstrisinde vb. kullanılır. Mısır lifleri, yağları çıkarıldıktan sonra vitaminlerde ve hayvan yemlerinde kullanılır. Mısır ıslatma suyu sıvı formda satılarak çiftlik hayvanlarının yemi olarak ve antibiyotik ve diğer fermentasyon işlemlerinde de nutrient kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Yaş yöntemle mısır öğütme işlemi yapan endüstriler kuvvetli karakterde atıksu ürettiklerinden, çevre kirliliği açısından önemli bir aktiviteyi oluşturlar.

Mısır nişastası üretimi yapan endüstrilerden; evaporatör kondensatı içinde tutulan uçucu organikler, evaporator temizleme suları, soğutucuların buhar kondensatları, demineralizasyon ünitesi temizleme suları gibi atıksular kaynaklanmaktadır (Nemerow ve Dasgupta, 1991). Gözardı edilmemesi gereken nokta, bu türden üretim gerçekleştiren endüstrilerde mümkün olduğunca oluşan atıksuların geri devrettirilmesidir. Bu nedenle farklı endüstriyel uygulamalarda değişik düzeylerde atıksu oluşumu gözlemlenmektedir.

2.1.2. Kirletici Parametreler

Yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisinden kaynaklanan atıksular organik madde içeriği yüksek, kuvvetli atıksulardır (May, 1994; Howgrave-Graham ve diğerleri, 1994). Sözü edilen atıksuların karakterizasyonunda AKM, KOİ, BOİ₅ gibi kirletici parametrelerin yanı sıra, pH ve sıcaklık değerleri de önem taşımaktadır (Middlebrooks, 1979).

2.1.3. Arıtma Teknolojileri

Literatürde yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi atıksularının biyolojik arıtma ile arıtıldıkları rapor edilmektedir (Middlebrooks, 1979; Nemerow ve Dasgupta, 1991; Blanchard, 1992; May, 1994; Howgrave-Graham ve diğerleri, 1994; Fuchs ve Wendling, 1993; Fuchs ve Wendling, 1994; Lanting ve diğerleri 1994; Lanting ve Jordan, 1996). Sözü edilen atıksuların arıtımında aerobik sistemlerin yanı sıra anaerobik arıtma teknolojileri de kullanılmaktadır (May, 1994; Howgrave-Graham ve diğerleri, 1994). Howgrave-Graham ve diğerleri (1994), yaş yöntemle mısır öğüten bir endüstriden kaynaklanan ve 7000 mg/l'ye varan KOİ içeriğine sahip atıksularda tam ölçekli anaerobik bir çürütücü yardımıyla %90 oranında çözünmüş KOİ giderimi sağlanabildiğini rapor etmektedirler. Aktif çamur, damlatmalı filtreler arıtımda kullanılan diğer arıtma prosesleri arasında yer almaktadır (Middlebrooks, 1979; Nemerow ve Dasgupta, 1991).

2.2. KAVRAMSAL YAKLAŞIM

2.2.1. Konvansiyonel Atıksu Karakterizasyonu

Atıksularda organik madde ölçümü, Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅), Toplam Organik Karbon (TOK), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) gibi kollektif analiz yöntemleriyle gerçekleştirilir. Bunlar arasında Toplam Organik Karbon (TOK) parametresi biyolojik arıtmaya girecek organik maddenin oksidasyon kademesi hakkında bir bilgi vermez ve biyolojik olarak metabolize edilebilen ve edilemeyen organik maddeler arasında bir ayırım yapmaz. Dolayısı ile TOK'un kullanımı sınırlıdır. Öte yandan, Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı

(BOI₅) parametresi, deney sırasında organik maddenin biyolojik olarak yükseltgenmesinin 5 günde tamamlandığı varsayıldığından, atıksuyun organik madde içeriğini tam olarak yansıtamaz. Deneyde aşı olarak kullanılan mikroorganizmanın atıksuya aklime edilmemesi ve atıksuyun içinde mikroorganizmalar üzerinde inhibitör etkisi yapabilecek maddelerin bulunabilmesi ise BOI₅ analizlerinde negatif hatalara yol açmaktadır. BOI₅ deneylerindeki sıcaklık, çözünmüş oksijen ve benzeri ortam özellikleri, biyolojik arıtma sistemlerindeki farklılıklar gösterdiğinden; arıtma tesisi dizayn ve işletmesinde bu parametrenin kullanılması uygun değildir.

Atıksuların organik madde içeriğinin Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) parametresi ile saptanması sonucu ise, organik maddenin mikro-organizmalar tarafından biyolojik olarak ayrıştırılıp ayrıştırılamayacağı bilinmemektedir. KOİ analizlerinde biyolojik olarak ayrışmayan (inert) bazı maddelerin Cr⁶⁺ yı indirgemeleri pozitif hataya, biyolojik olarak ayrıştırılabilen bazı aromatik yapıdaki hidrokarbonların Cr⁶⁺ ile reaksiyona girmemeleri negatif hataya neden olmaktadır. Sözü edilen dezavantajlarına karşın, KOİ parametresi, biyolojik arıtma sistemleri dizayn ve işletmesinde, kısa sürede sonuç vermesi; substrat, biyokütle ve oksijen arasındaki elektron alış verişini ve organik madde içeriğini verimli olarak yansıtmamasından dolayı, diğer kollektif parametrelere göre daha yaygın kullanıma sahiptir.

2.2.2. Biyolojik Ayrılabilirlik Bazlı Atıksu Karakterizasyonu

Yukarıda değinildiği gibi, atıksuların organik madde içeriğini gösteren KOİ parametresi, farklı biyolojik ayrılabilirliklerdeki fraksiyonlar toplamından oluşmuştur.

Atıksuda ölçülen toplam KOİ, C_{T0}, ayrılabilir (C_{S0}) ve inert KOİ (C_{I0}) olarak iki kısmı içermektedir. Biyolojik olarak ayrışmayan (inert) KOİ, reaktördeki biyokimyasal reaksiyonlardan etkilenmeksizin biyolojik arıtmaya girdiği gibi çıkmaktadır. Ayrışmayan KOİ kapsamında ele alınan çözünmüş inert KOİ, S_{I0}, biyolojik arıtma tesisi çıkışında ölçülen KOİ içinde gözlemlenirken, partiküler formdaki inert KOİ, X_{I0}, çamura geçer ve atılan çamur ile sistemden ayrılır. Atıksudaki (arıtma tesisi girişi) biyolojik ayrılabilir KOİ, farklı biyolojik ayrışma hızlarına sahip, kolay ayrılabilir KOİ, S_{S0} ve yavaş ayrılabilir KOİ, X_{S0} isimli iki ana bileşenden oluşmaktadır. Esasında bu bileşenler de kendi içlerinde çok sayıda farklı biyolojik ayrışma hızlarına sahip fraksiyonlardan meydana gelmişlerdir (Dold ve diğ., 1980), ancak pratikte iki grupta toplanabilirler. Aktif çamur modellerinden birinde (Dold ve diğ., 1980) partiküler organikler olarak tanımlanan, biyolojik olarak yavaş ayrılabilir fraksiyonun, partikül boyutuna göre çözünmüş, kolloidal ve kompleks yapıda organik yapıdaki maddelerden oluştuğu kabul edilmiştir. Söz konusu maddelerin mikroorganizmalar tarafından kullanılabilmesi için hücre dışında hidrolize uğramaları gerekmektedir. Hidroliz ise yavaş ayrışan organik maddelerin kullanım hızı nedeniyle hız sınırlayıcı adımı oluşturmaktadır. Hidroliz hızının tek bir değer ile tanımlanması, atıksularda farklı yapıda maddeler bulunabileceğinden doğru sonuç vermeyebilir. Dolayısı ile hidroliz sonucu kolay ayrılabilir organik madde yapısına dönüştükten sonra mikroorganizma tarafından tüketilecek olan yavaş ayrılabilir organik madde, hızlı hidroliz olabilen KOİ, S_{H0} ve yavaş hidroliz olabilen KOİ, X_{S0} şeklinde iki ayrı KOİ bileşenine ayrılmalıdır (Henze, 1992; Orhon ve Artan, 1994). Arıtma tesisi girişinde yani atıksuda bulunan KOİ bileşenleri Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

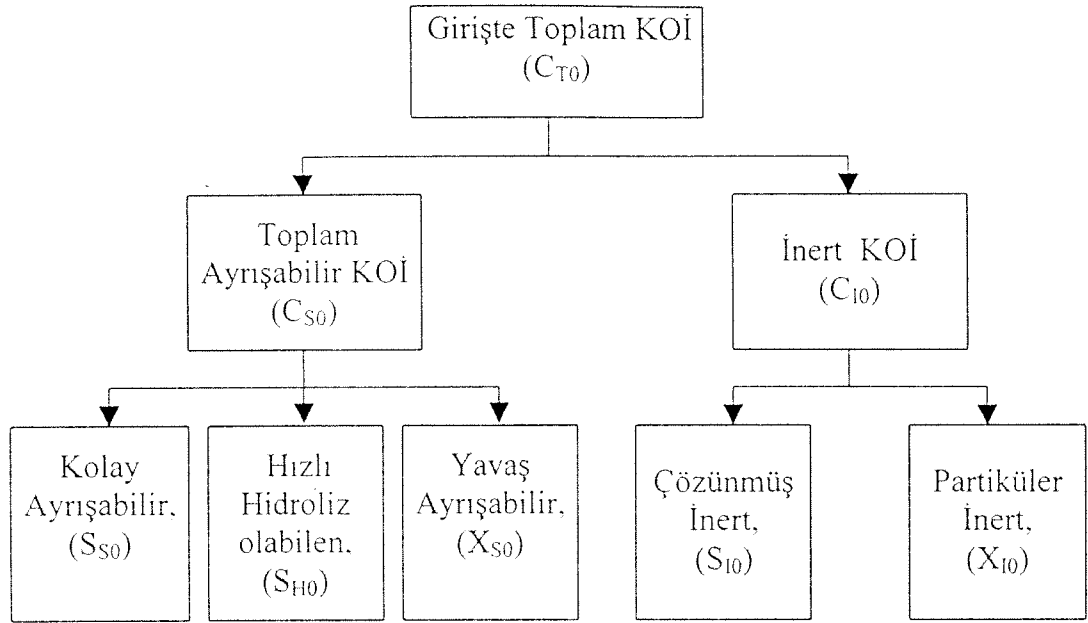
(BOİ₅) parametresi, deney sırasında organik maddenin biyolojik olarak yükseltgenmesinin 5 günde tamamlandığı varsayıldığından, atıksuyun organik madde içeriğini tam olarak yansıtamaz. Deneyde aşı olarak kullanılan mikroorganizmanın atıksuya aklime edilmemesi ve atıksuyun içinde mikroorganizmalar üzerinde inhibitör etkisi yapabilecek maddelerin bulunabilmesi ise BOİ₅ analizlerinde negatif hatalara yol açmaktadır. BOİ₅ deneylerindeki sıcaklık, çözünmüş oksijen ve benzeri ortam özellikleri, biyolojik arıtma sistemlerindeki diğerden farklılık gösterdiğinden; arıtma tesisi dizayn ve işletmesinde bu parametrenin kullanılması uygun değildir.

Atıksuların organik madde içeriğinin Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) parametresi ile saptanması sonucu ise, organik maddenin mikro-organizmalar tarafından biyolojik olarak ayrıştırılıp ayrıştırılamayacağı bilinmemektedir. KOİ analizlerinde biyolojik olarak ayrışmayan (inert) bazı maddelerin Cr⁶⁺ yı indirgemeleri pozitif hataya, biyolojik olarak ayrıştırılabilen bazı aromatik yapıdaki hidrokarbonların Cr⁶⁺ ile reaksiyona girmemeleri negatif hataya neden olmaktadır. Sözü edilen dezavantajlarına karşın, KOİ parametresi, biyolojik arıtma sistemleri dizayn ve işletmesinde, kısa sürede sonuç vermesi, substrat, biyokütle ve oksijen arasındaki elektron alış verişini ve organik madde içeriğini verimli olarak yansıtmamasından dolayı, diğer kollektif parametrelere göre daha yaygın kullanıma sahiptir.

2.2.2. Biyolojik Arıtılabilirlik Bazlı Atıksu Karakterizasyonu

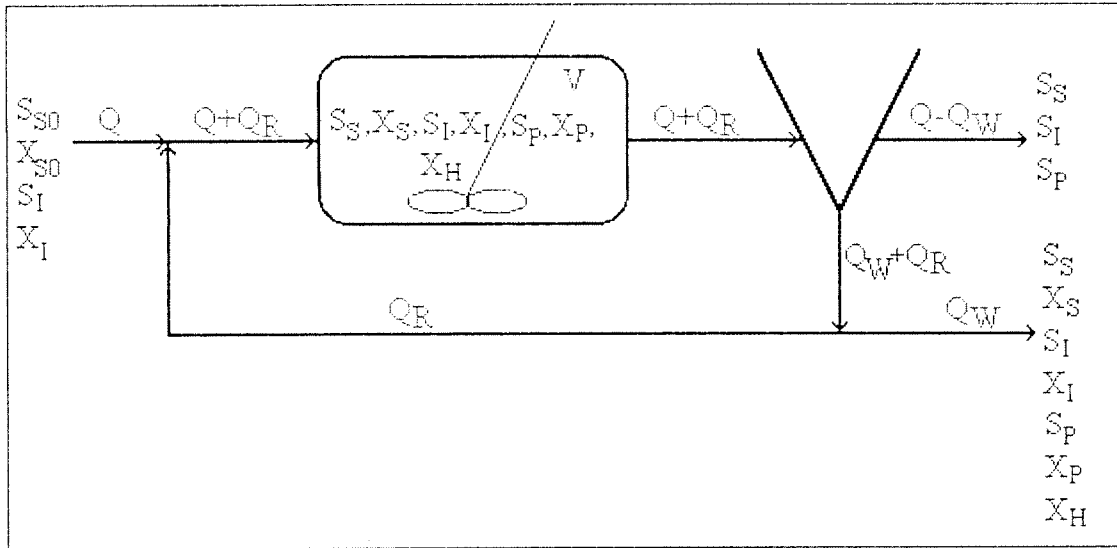
Yukarıda değinildiği gibi, atıksuların organik madde içeriğini gösteren KOİ parametresi, farklı biyolojik ayrışabilirliklerdeki fraksiyonlar toplamından oluşmuştur.

Atıksuda ölçülen toplam KOİ, C_{T0}, ayrışabilir (C_{S0}) ve inert KOİ (C_{I0}) olarak iki kısmı içermektedir. Biyolojik olarak ayrışamayan (inert) KOİ, reaktördeki biyokimyasal reaksiyonlardan etkilenmeksizin biyolojik arıtmaya girdiği gibi çıkmaktadır. Ayrışmayan KOİ kapsamında ele alınan çözünmüş inert KOİ, S_{I0}, biyolojik arıtma tesisi çıkışında ölçülen KOİ içinde gözlemlenirken, partiküler formdaki inert KOİ, X_{I0}, çamura geçer ve atılan çamur ile sistemden ayrılır. Atıksudaki (arıtma tesisi girişi) biyolojik ayrışabilir KOİ; farklı biyolojik ayrışma hızlarına sahip, kolay ayrışabilir KOİ, S_{S0} ve yavaş ayrışabilir KOİ, X_{S0} isimli iki ana bileşenden oluşmaktadır. Esasında bu bileşenler de kendi içlerinde çok sayıda farklı biyolojik ayrışma hızlarına sahip fraksiyonlardan meydana gelmişlerdir (Dold ve diğ., 1980), ancak pratikte iki grupta toplanabilirler. Aktif çamur modellerinden birinde (Dold ve diğ., 1980) partiküler organikler olarak tanımlanan, biyolojik olarak yavaş ayrışabilir fraksiyonun, partikül boyutuna göre çözünmüş, kolloidal ve kompleks yapıda organik yapıdaki maddelerden oluştuğu kabul edilmiştir. Söz konusu maddelerin mikroorganizmalar tarafından kullanılabilmesi için hücre dışında hidrolize uğramaları gerekmektedir. Hidroliz ise yavaş ayrışan organik maddelerin kullanım hızı nedeniyle hız sınırlayıcı adımı oluşturmaktadır. Hidroliz hızının tek bir değer ile tanımlanması, atıksularda farklı yapıda maddeler bulunabileceğinden doğru sonuç vermeyebilir. Dolayısı ile hidroliz sonucu kolay ayrışabilir organik madde yapısına dönüştükten sonra mikroorganizma tarafından tüketilecek olan yavaş ayrışabilir organik madde, hızlı hidroliz olabilen KOİ, S_{H0} ve yavaş hidroliz olabilen KOİ, X_{S0} şeklinde iki ayrı KOİ bileşenine ayrılmalıdır (Henze, 1992; Orhon ve Artan, 1994). Arıtma tesisi girişinde yani atıksuda bulunan KOİ bileşenleri Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



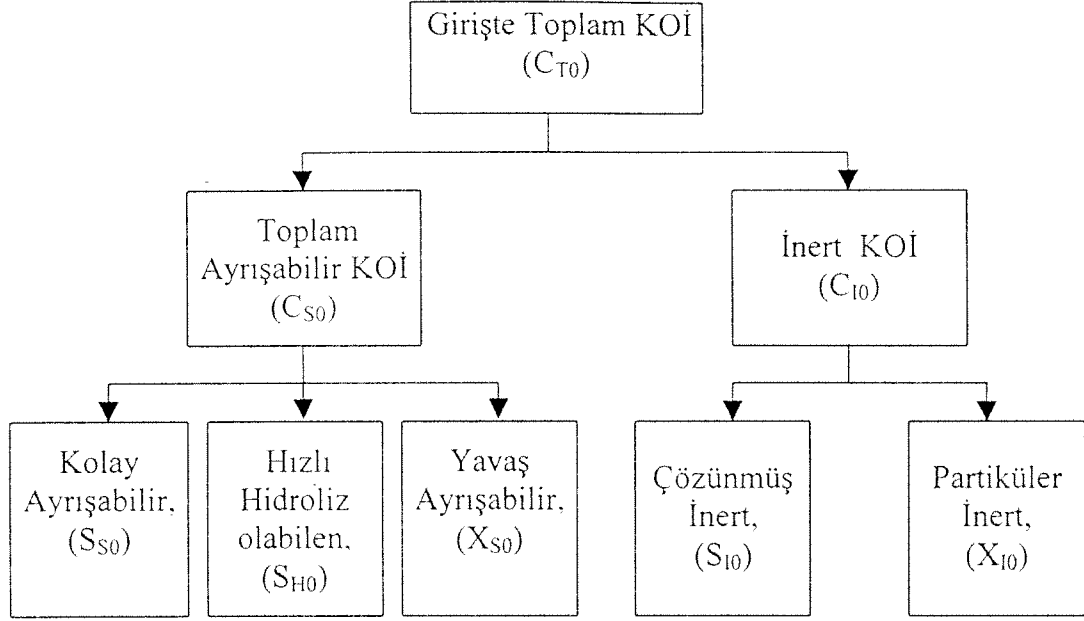
Şekil 2.1 Atıksudaki (girişteki) toplam KOİ fraksiyonları

Aktif çamur sisteminin şematik gösterimi ise Şekil 2.2’de verilmektedir.



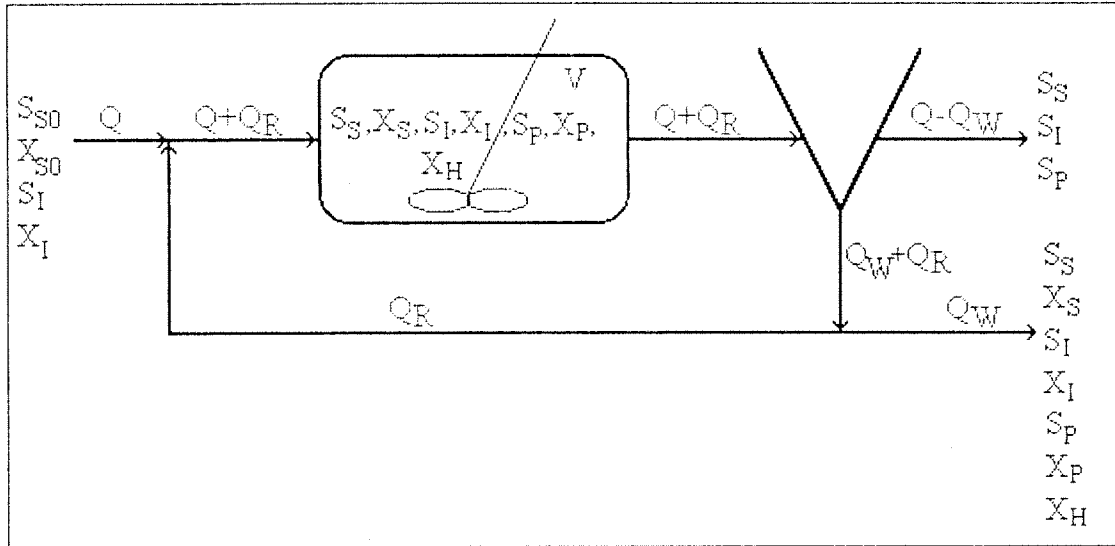
Şekil 2.2 Aktif Çamur Sistemi

Biyolojik arıtma tesisi çıkış akımında, giriş akımından farklı bir KOİ yapısı görülmektedir. Çözünmüş KOİ, S_T , sisteme girdiği gibi çıkan biyolojik olarak ayrışmayan (inert) kısım, S_I , biyolojik reaksiyonlarda tüketilmeden kalan az miktardaki ayrışabilir KOİ, S_S ve arıtma sırasında metabolik olarak üretilen kalıcı çözünmüş KOİ, S_P 'yi içermektedir (Şekil 2.3a). Çıkış akımında bulunan partiküler KOİ ise; reaksiyonu gerçekleştiren aktif heterotrofik biyokütle, X_H , partiküler yavaş ayrışabilir, KOİ X_S , reaksiyona uğramadan sisteme girdiği



Şekil 2.1 Atıksudaki (girişteki) toplam KOİ fraksiyonları

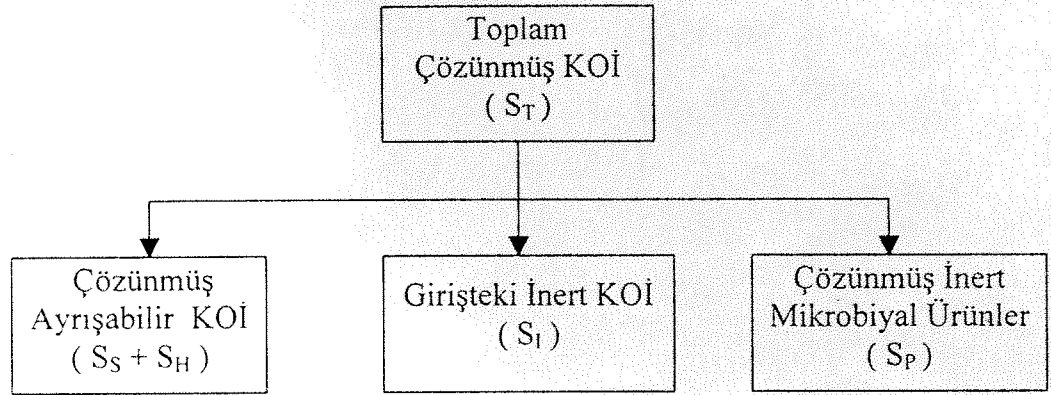
Aktif çamur sisteminin şematik gösterimi ise Şekil 2.2’de verilmektedir.



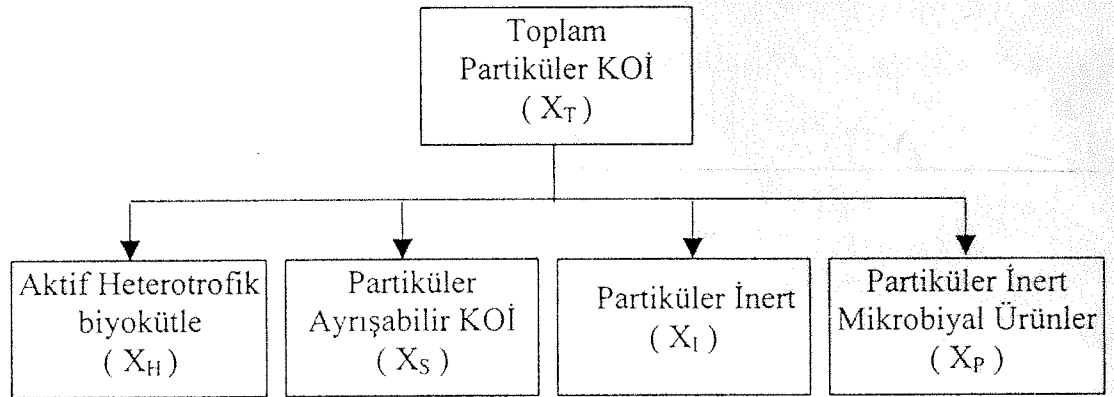
Şekil 2.2 Aktif Çamur Sistemi

Biyolojik arıtma tesisi çıkış akımında, giriş akımından farklı bir KOİ yapısı görülmektedir. Çözünmüş KOİ, S_T , sisteme girdiği gibi çıkan biyolojik olarak ayrışmayan (inert) kısım, S_I , biyolojik reaksiyonlarda tüketilmeden kalan az miktardaki ayrışabilir KOİ, S_S ve arıtma sırasında metabolik olarak üretilen kalıcı çözünmüş KOİ, S_P 'yi içermektedir (Şekil 2.3a). Çıkış akımında bulunan partiküler KOİ ise; reaksiyonu gerçekleştiren aktif heterotrofik biyokütle, X_H , partiküler yavaş ayrışabilir, KOİ X_S , reaksiyona uğramadan sisteme girdiği

gibi çıkan girişteki partiküler inert, X_I , ve biyokimyasal süreçte oluşan partiküler inert mikrobiyal ürünler (X_P)'den meydana gelmektedir (Şekil 2.3b).



(a) Çözünmüş KOİ Bileşenleri



(b) Partiküler KOİ Bileşenleri

Şekil 2.3 Arıtma tesisi çıkış akımındaki KOİ fraksiyonları

2.2.3 Proses Kinetiği ve Modellemesi

Aktif çamur prosesi, birinci aşamada atıksudaki organik maddenin bakteri kültürü tarafından metabolize edilmesi ve ikinci aşamada ise bakteri floklarının çökeltilmesiyle kirletici özellikteki organik maddenin su ortamından giderilmesi doğrultusunda gerçekleşmektedir.

Konvansiyonel reaksiyon kinetiğinde, mikrobiyal çoğalma ve ölüm'den oluşan iki temel proses bulunmaktadır. Mikroorganizmalar substratı tüketerek elde ettikleri enerjinin bir kısmını çoğalma, aktif transport, hareket, hücre organellerinin yenilenmesi ve benzeri süreçler için kullandıklarından, aktif çamur sistemlerinde, gerçek dönüşüm oranının belirttiği değerden daha az biyokütle oluşumu gözlenir.

Literatürde biyokütle kaybını matematiksel model olarak ifade eden, Klasik Model, Ölüm Yenilenme Modeli ve İçsel Solunum Modeli olarak isimlendirilmiş üç farklı model bulunmaktadır. Bu çalışmada içsel solunum modelinin kullanılması öngörüldüğünden, aşağıda bu model detaylı bir şekilde tanımlanmaktadır.

2.2.4. İçsel Solunum Modeli

Bu model uyarınca, atıksudaki organik madde biyolojik olarak ayrışabilen çözünmüş (S_s) ve partiküler (X_s) bileşenler ile biyolojik olarak ayrışamayan (inert) çözünmüş (S_i) ve partiküler (X_i) bileşenlerden oluşmaktadır. Reaktörde, tanka giren atıksu bileşenlerinden tüketilmeden geriye kalanların yanısıra, aktif biyokütle X_H ve metabolik faaliyetler sonucu oluşan mikrobiyal çözünmüş inert madde (S_p) ve partiküler inert ürünler (X_p) bulunmaktadır. Çoğalmada, aktif biyokütle üremesi S_s üzerinden olmakta, yavaş hidrolize uğrayan X_s , S_s formuna dönüştükten sonra reaksiyona girmektedir. Böylelikle giriş akımındaki S_s 'in bir kısmı (α_D) mikrobiyal çözünmüş inert ürünlere dönüşmektedir. Modelde içsel solunum prosesi ile bozunan aktif biyokütlenin f_{EX} kadarının partiküler mikrobiyal ürüne ve f_{ES} kadarının ise çözünmüş mikrobiyal ürüne dönüştüğü kabul edilmektedir.

Çoğalma S_s üzerinden olacağından ;

$$\frac{dS_s}{dt} = -\frac{\hat{\mu}}{Y_H} \frac{S_s}{K_S + S_s} X_H \quad (2.1)$$

şeklinde gösterilebilir.

Çoğalma sırasında oluşan çözünmüş inert ürün (S_p);

$$\frac{dS_p}{dt} = -\alpha_D \frac{\hat{\mu}}{Y_H} \frac{S_s}{K_S + S_s} X_H \quad (2.2)$$

denklemlerle verilebilir. Söz konusu denklemde α_D , çoğalma bazlı çözünmüş inert ürün oluşumu katsayısını ifade etmektedir.

Aktif biyokütlenin azalması aşağıda verildiği gibi birinci dereceden hız ifadesi ile tanımlanabilir;

$$\frac{dX_H}{dt} = -b_H \cdot X_H \quad (2.3)$$

Burada b_H , aktif biyokütlenin içsel solunum katsayısını (1/gün) göstermektedir.

Çözünmüş ve partiküler mikrobiyal ürünler ise

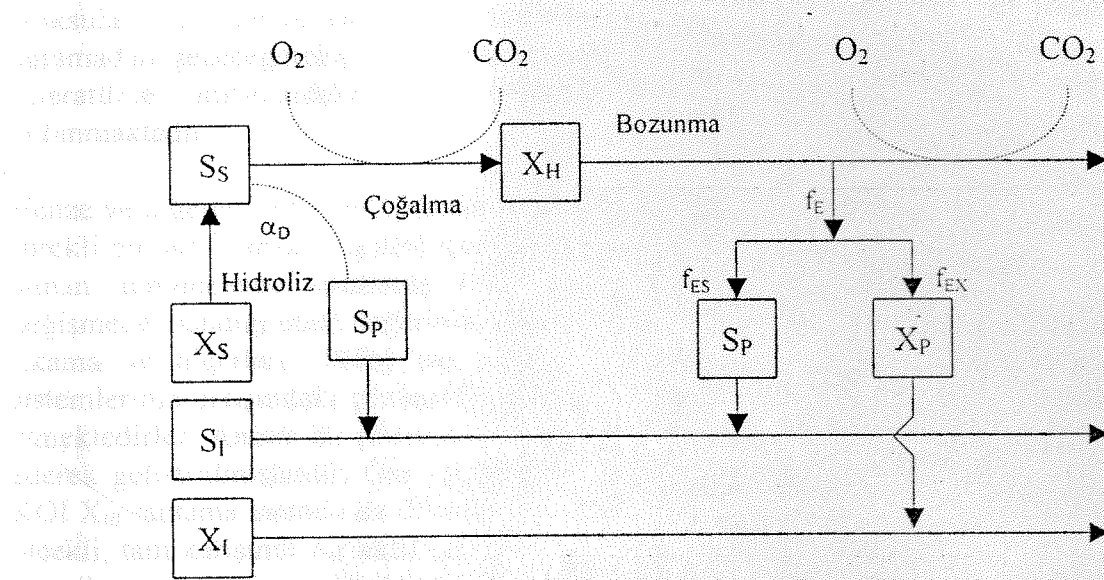
$$\frac{dX_p}{dt} = -f_{EX} b_H \cdot X_H \quad (2.4)$$

$$\frac{dS_p}{dt} = -f_{ES} b_H \cdot X_H \quad (2.5)$$

eşitlikleriyle ifade edilebilirler (f_{EX} = endojen biyokütlenin partiküler inert ürüne dönüşen kısmı; f_{ES} = endojen biyokütlenin çözünmüş inert ürüne dönüşen kısmı). Çözünmüş inert ürüne dönüşme, çoğalma ve bozunma mekanizmalarından baskın olanına göre, mekanizmalardan bir tanesi ihmal edilerek değerlendirilmelidir. İçsel solunum modelinin şematik gösterimi Şekil 2.4'te verilmektedir.

2.3. DENEYSEL YAKLAŞIM

2.3.1. İÇSEL SOLUNUM MODELİ



Şekil 2.4 İçsel solunum modelinin şematik gösterimi

Tablo 2.1' de ise içsel solunum modeline ait proses kinetiği özetlenmektedir.

Tablo 2.1 İçsel Solunum Modelinde Karbon Giderim Mekanizmasının Stokiyometrisi ve Kinetiği

Bileşen	1	2	3	4	5	6	Proses Hızı $ML^{-3}T^{-1}$
Proses	S_s	X_s	X_H	X_P	S_P	S_0	
Çoğalma	$-\frac{1}{Y_H}$		1			$-\frac{1-\alpha Y_H - Y_H}{Y_H}$	$\hat{\mu} \frac{S_s}{K_s + S_s} X_H$
Hidroliz	1	-1					$k_h \frac{X_s/X_H}{(K_X + X_s/X_H) X_H}$
Ölüm			-1	f_{EX}	f_{ES}	$-(1 - f_{EX} - f_{ES})$	$b_H \cdot X_H$
Parametre, ML^{-3}	KOİ	KOİ	Hücre KOİ	KOİ	KOİ	O_2	

2.3. DENEYSEL YAKLAŞIM

2.3.1. İnert KOİ Bileşenlerinin (S_I , X_I) Belirlenme Yöntemleri

Atıksuların çözünmüş inert KOİ bileşenleri, arıtma tesisinden bu bileşen hiçbir değişikliğe uğramadan geçeceğinden, sağlanması gereken deşarj limitleri açısından önem taşımaktadır. Literatürde atıksulardaki inert bileşenlerin belirlenmesine ilişkin çeşitli yöntemler bulunmaktadır.

Henze ve diğerlerinin (1987)'nin önerdiği yöntemle göre, 10 günden büyük çamur yaşına sahip sürekli bir aktif çamur reaktörü içeriği kesikli bir reaktörde havalandırılmalı ve bu reaktörden alınan numunelerde süzölmüş KOİ analizleri yürütölmelidir. Süzölmüş KOİ değeri nin değışmeden kaldığı plato değeri nin, süzölmüş inert KOİ'ye (S_{I0}) eşit olduğu varsayılmaktadır. Ekama ve diğerleri (1986) ise, çamur yaşı 10 ile 20 gün arasında olan aktif çamur sistemlerinin çıkışındaki çözönmüş KOİ değeri nin girişteki inert KOİ'ye eşit olacağını ifade etmektedirler. Ancak bu yöntemler bakteriler tarafından üretilen inert ürünleri (S_P) gözardı ederek geliştirilmişlerdir. Öte yandan IAWQ Task Group tarafında önerilen partiköler inert KOİ X_{I0} saptama metodu da (Ekama ve diğerleri, 1986; Henze ve diğerleri, 1987) laboratuvar ölçekli, tam karışömlü bir aktif çamur reaktöründe kararlı denge halinde elde edilen verilerin kinetik analizine dayanmaktadır. Bu yöntem uyarınca, kinetik analiz için Y_H , b_H , f_{EX} büyüklüklerinin doğru olarak saptanması gereklidir. Özellikle endüstriyel atıksularda sözkonusu büyüklüklerin sağlıklı saptanması ise sorun yaratmaktadır.

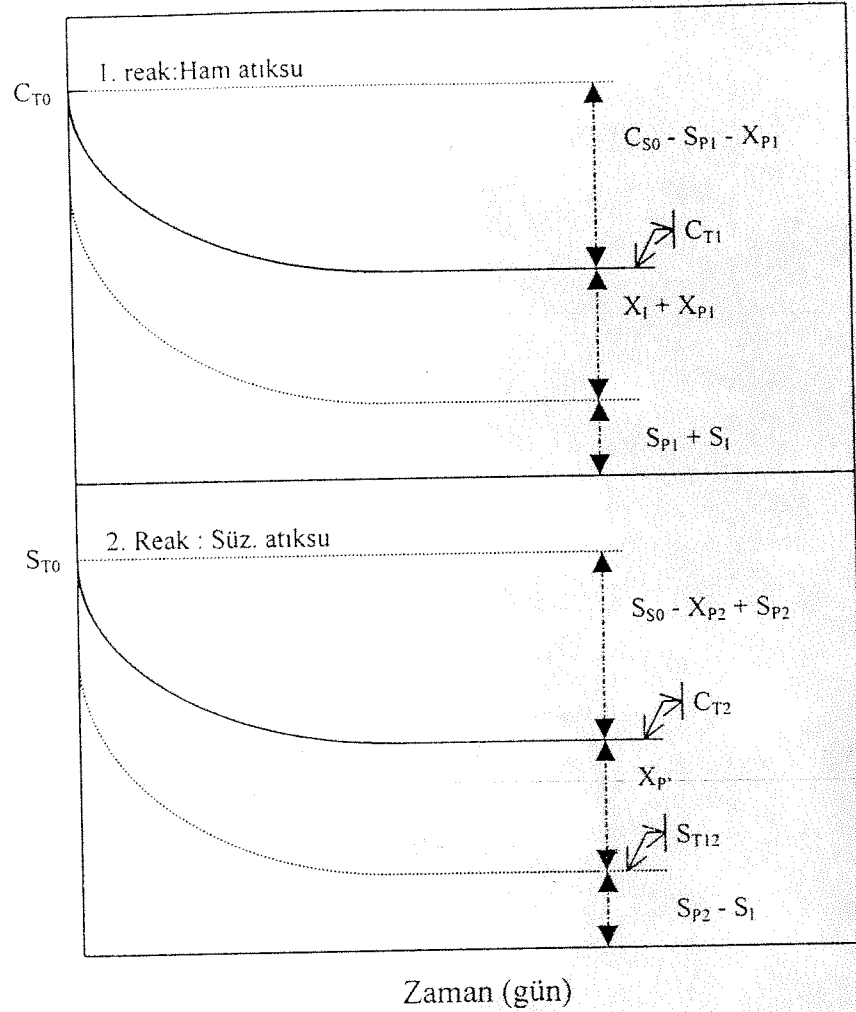
Literatürde atıksularda çözönmüş ve partiköler inert maddeleri belirleyen deneysel ölçömlere dayalı bir metod bulunmaktadır (Germirli ve diğ., 1993b; Orhon ve diğ., 1994a). Atıksuda yeterli düzeyde partiköler KOİ olması durumunda kullanılması öngörölmektedir. Bu yöntem uyarınca girişteki inert bileşenler ve reaksiyon sırasında oluşan çözönmüş inert organikler ayrı olarak tanımlanmış ve partiköler inert madde tayininde S_P girişiminden kaçınılmıştır. Ayrıca Y_H , b_H ve f_{EX} gibi stokiyometrik ve kinetik sabitler de inert fraksiyonların saptanmasında kullanılmamaktadır. Kavramsal açıdan çözönmüş ve partiköler mikrobiyal ürünlerin (S_P , X_P), girişteki biyolojik ayrışabilir KOİ (C_{S0})'nin bir fraksiyonu olduğu kabul edilmektedir. Deneysel çalışmada, biri süzölmüş (S_{T0}), diğeri toplam atıksu (C_{T1}) ile beslenmiş iki reaktörde biyolojik olarak ayrışabilir tüm substratın kullanıldığı ve tüm biyokötle nin mineralize olduğu düşünöldüğünde, diğeri bir değışle biyolojik aktivite sona erdiğinde, KOİ ölçömlerinin değışmediğı bir eşik değere ulaşılınca ya kadar toplam ve çözönmüş KOİ değeri izlenir (Şekil 2.5). Başlangıç aşamasında, her iki reaktöre önceden akline olmuş çok az miktarda (10-50 mg UAKM/l) biyokötle ilave edilir. Toplam atıksu reaktöründe (1. Reaktör) deneyin başlangıcında KOİ içeriğı,

$$C_{T0} = S_{S0} + S_I + X_{S0} + X_I \quad (2.6)$$

dir. Deney sonunda ise ortamda;

$$C_{T1} = S_{P1} + S_I + X_{P1} + X_I \quad (2.7)$$

bileşenleri kalmaktadır.



Şekil 2.5 İnerit KOİ profilleri

Deney süresince S_S , X_H ve X_S' in tamamen tükendiği kabulü yapılmıştır. Buna göre toplam KOİ giderimi ΔC_{T1} ;

$$C_{S0} = S_{S0} + X_{S0} \quad (2.8)$$

$$\Delta C_{T1} = C_{T0} - C_{T1} = S_{S0} + X_{S0} - X_{P1} - S_{P1} \quad (2.9)$$

şeklinde yazılabilir. Reaksiyon süresince oluşan çözünmüş ve partiküler mikrobiyal ürünler, biyokütle tarafından tüketilen C_{S0} 'ın bir fraksiyonu olarak;

$$X_{P1} = Y_{PX} C_{S0} \quad (2.10)$$

ve

$$S_{P1} = Y_{PS} C_{S0} \quad (2.11)$$

şeklinde verilecek olursa, (2.9) eşitliği,

$$\Delta C_{T1} = C_{S0} - X_{P1} - S_{P1} = (1 - Y_{PX} - Y_{PS}) C_{S0} \quad (2.12)$$

değerini alır. Toplam atıksu reaktörü için (1. Reaktör) deneyin başlangıcında KOİ içeriği;

$$S_{T0} = S_{S0} + S_I \quad (2.13)$$

den oluşmaktadır. Reaksiyon sonunda;

$$C_{T2} = S_{P2} + S_I + X_{P2} \quad (2.14)$$

$$S_{T2} = S_{P2} + S_I \quad (2.15)$$

eşitlikleri yazılabilir. İkinci reaktörde (süzülmüş atıksu) de KOİ giderimi,

$$\Delta C_{T2} = S_{T0} - C_{T2} = S_{S0} - S_{P2} - X_{P2} \quad (2.16)$$

ve birinci (toplam atıksu) reaktörde ifade edildiği gibi;

$$X_{P2} = Y_{PX} S_{S0} \quad (2.17)$$

ve

$$S_{P2} = Y_{PS} S_{S0} \quad (2.18)$$

$$\Delta C_{T2} = S_{T0} - C_{T2} = (1 - Y_{PS} - Y_{PS}) C_{S0} \quad (2.19)$$

(2.10) ve (2.17) denklemleri kullanılarak, toplam atıksu için mikrobiyal partiküler ürün X_{P1} ,

$$X_{P1} = X_{P2} \frac{C_{S0}}{S_{S0}} \quad (2.20)$$

ifadesi oluşturulabilir. Buna bağlı olarak (2.12) ve (2.19) denklemleri kullanılarak,

$$\frac{X_{P1}}{X_{P2}} = \frac{\Delta C_{T1}}{\Delta C_{T2}} \quad (2.21)$$

elde edilir. Toplam atıksuda inert partiküler ve çözünmüş madde sırasıyla,

$$X_I = C_{T1} - S_{T1} - X_{P1} \quad (2.22)$$

$$X_I = C_{T1} - S_{T1} - (C_{T2} - S_{T2}) \frac{\Delta C_{T1}}{\Delta C_{T2}} \quad (2.23)$$

$$S_I = S_{T1} - (S_{P2} \frac{\Delta C_{T1}}{\Delta C_{T2}}) \quad (2.24)$$

denklemleri kullanılarak saptanabilir.

Atıksudaki partiküler KOİ'nin çözünmüş KOİ'ye yakın olması halinde Germirli ve diğ. (1991) tarafından önerilen metod ile inert KOİ bileşenleri belirlenmelidir. Bu yöntem

uyarınca daha önce doldur-boşalt reaktörlerde %50 atıksu + %50 glukoz karışımına alıştırılmış biyokütle ile aşılana biri süzölmüş atıksu, diğeri glukoz ile beslenen iki aerobik kesikli reaktör kullanılır. Reaktörlerdeki başlangıç KOİ değeri aynı olacak şekilde ayarlanır. Her iki reaktörde de zamana karşı çözülmüş KOİ değeri izlenir (Şekil 2.6). Çözülmüş KOİ profili, reaktördeki biyolojik aktivite tükendiğinde, yani ayrışabilir nitelikli tüm organik madde mikroorganizmalar tarafından ayrıştırıldıktan sonra belirli bir değere ulaşır ve değişmeden kalmaya başlar. Bu değeri ile başlangıç KOİ değeri yardımıyla atıksuda bulunan çözülmüş inert madde saptanabilir.

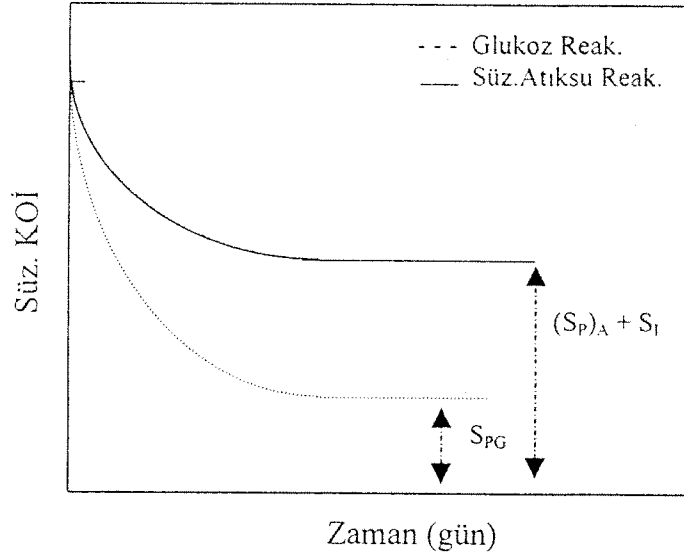
Deneyde her iki reaktör kararlı hale geldiğinde;

$$(S_I)_{\text{Atıksu}} = (S_I + S_P)_{\text{Atıksu}} - (S_P)_{\text{Glukoz}} \quad (2.25)$$

eşitliği yazılabilir. Bu yöntemde sonuç,

$$(S_P)_{\text{Atıksu}} \cong (S_P)_{\text{Glukoz}} \quad (2.26)$$

kabulü ile belirlenmektedir.



Şekil 2.6 KOİ profilleri

2.3.2. Hızlı Ayrışan Organik Madde (S_S) Belirleme Yöntemi

Biyokütle tarafından doğrudan tüketilen aminoasitler, adsorblanan uçucu yağ asitleri, basit hidrokarbonlar ve alkolleri içeren kolay ayrışabilir KOİ, aktif çamur modellerinde, atıksudaki toplam KOİ'nin bir fraksiyonu (f_{SS}) olarak tanımlanmaktadır.

Respirometrik yöntemler, organik maddenin bir elektron transfer edilmesiyle bu elektronu alacak elektron alıcısı miktarının deneysel olarak belirlenmesi esasına dayanır. Buna göre elektron alıcısı (O_2) tüketim hızı, atıksudaki organik maddenin hidroliz hızına bağlı olarak yavaşlamaktadır.

En genel halde e⁻ alıcısı;

$$\frac{e^- \text{ alıcısı miktarı}}{\Delta t} = -(1-f_x Y) \frac{(C_{S1}-C_S)}{\Delta t} - (1-f_E).b.f_x.X \quad (2.27)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır. Denklemin sağ tarafındaki ilk terim çoğalmanın, ikinci terim içsel solunum göstergesidir. Eşitlikte;

Y : Dönüşüm oranı (mg UAKM/mg KOİ)

b : İçsel solunum hızı (1/gün)

f_E : İnert biyokütle fraksiyonu

f_x : KOİ/UAKM oranı

X : Aktif biyokütle konsantrasyonu (mg UAKM/l)

C_{S1} : Giriş akımında biyolojik arıtılabilen organik madde konsantrasyonu (mg KOİ/l)

C_S : Çıkış akımında biyolojik arıtılabilen organik madde konsantrasyonu (mg KOİ/l)

Öte yandan oksijenin zamanla değişimi;

$$\frac{\Delta S_O}{\Delta t} = - (1-Y_H) \frac{(S_{T0}-S_T)}{\Delta t} - (1-f_E).b_H.X_H \quad (2.28)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklemde X_H aerobik solunum yapan heterotrofik aktif biyokütleyi; S_O oksijen konsantrasyonunu göstermektedir. Ekama ve diğ. (1986), aerobik ve anoksik koşullarda, kesikli reaktörlerde zamana karşı Oksijen Tüketim Hızının (OTH) ölçümünü esas alan respirometrik bir yöntem ortaya koymuşlardır.

Heterotrofik mikroorganizmaların çoğalmasının kolay ayrışabilen substrat üzerinde gerçekleştiği kabulü ile;

$$\frac{dX_H}{dt} = \mu_H X_H \quad (2.29)$$

$$\frac{dX_H}{dt} = Y_H \frac{dS_S}{dt} \quad (2.30)$$

eşitlikleri yazılabilir. Bu denklemler (2.28) ifadesiyle birlikte kullanarak;

$$\frac{\Delta S_O}{\Delta t} = - \frac{(1-f_x Y_H)}{Y_H} \mu_H X_H - (1-f_E).b_H.f_x X_H \quad (2.31)$$

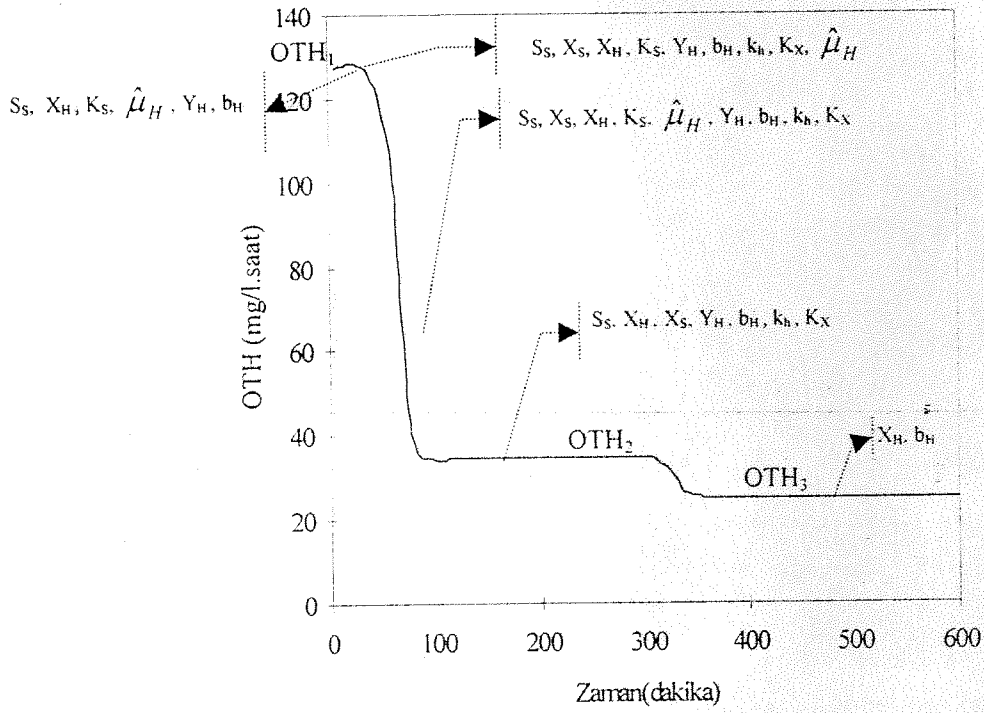
denklemini elde edilir. Sözkonusu yöntemde Oksijen Tüketim Hızı (OTH) profilinin S_S üzerinde çoğalma süresince yatay olarak kaldığı; S_S'in tükenmesine yakın, zamanla azaldığı ve hidroliz safhasında ikinci bir plato yaptığı gözlenmektedir. OTH profili üzerinde proses bileşenlerinin etkisi Şekil 2.7'de gösterilmektedir. Başlangıçta, atıksuda mevcut olan kolay ayrışabilir substratın Δt süresince tamamen kullanıldığı kabul edilecek olursa, aşağıdaki denklemle toplam oksijen tüketimi verilebilir;

$$O.T. = (1 - f_X Y_H) \int_0^t \frac{dS_s}{dt} dt \quad (2.32)$$

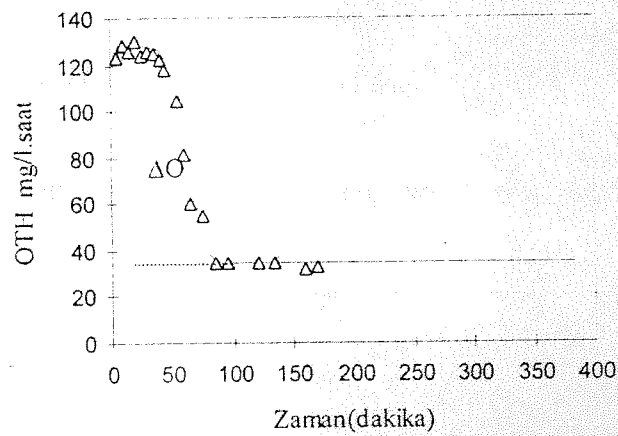
Bu durumda;

$$S_{s0} = \frac{\Delta O}{1 - f_X Y_H} \quad (2.33)$$

denklemini elde edilir. ΔO , OTH profilinin altında kalan alanı göstermektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.7 Bileşenlerin OTH Profiline etkisi (Ubay Çokgör, 1997)



Şekil 2.8 OTH grafiği ile S_{s0} belirlenmesi

Oksijen Tüketim Hızı (OTH) ölçümü ile S_{S0} belirlenmesine yönelik çalışmalardan bir diğeri de, Kappalar ve Gujer (1992)'e aittir. Bu yöntem uyarınca belirli bir F/M oranında çalıştırılan kesikli bir reaktörde, 3-4 saat süresince OTH'taki azalma gözlemlendiğinde (Şekil 2.9), atıksudaki kolay ayrışabilir organik madde;

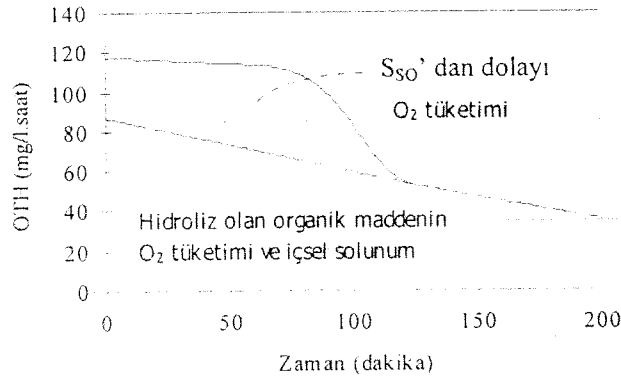
$$S_{S0} = \frac{1}{1 - Y_H} \left[\int r_{O_2, T} - \int r_{O_2, REF} \right] \quad (2.34)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

Denklemden:

$r_{O_2, T}$: Toplam oksijen tüketim hızı

$r_{O_2, REF}$: Hidroliz ve içsel solunuma bağlı olarak OTH referans düzeyi'ni göstermektedir.



Şekil 2.9 OTH profili ile S_{S0} belirleme

2.3.3. Yavaş Ayrışan Organik Madde (X_S , S_H) Bileşenlerinin Belirleme Yöntemi

Atıksudaki ayrışabilir organik maddenin yavaş ayrışan organik madde (X_S) ve kolay ayrışabilir organik maddeden (S_S) oluştuğundan daha önce sözedilmişti. Çözünmüş ve partiküler formda olan bazı yüksek molekül ağırlıklı organik moleküller yavaş ayrışan organik madde kapsamında ele alınmakta ve çözünmüş S_{H0} ve partiküler X_{S0} olarak ifade edilmektedir (Orhon ve Artan, 1994).

Ham atıksuda toplam KOİ;

$$C_{T0} = S_{S0} + S_{H0} + S_{I0} + X_{S0} + X_{I0} \quad (2.35)$$

süzülmüş KOİ ise;

$$S_{T0} = S_{S0} + S_{H0} + S_{I0} \quad (2.36)$$

den oluşmaktadır. Denklemlerde geçen KOİ bileşenleri;

S_{S0} : Kolay ayrışabilir çözünmüş organik madde
 S_{H0} : Yavaş ayrışabilir çözünmüş organik madde
 S_{I0} : Çözünmüş inert organik madde
 X_{S0} : Yavaş ayrışabilir partiküler organik madde
 X_{I0} : Partiküler inert madde

şeklinde sıralanabilir.

Yukarıda belirtilen 2.35 bağıntısı yardımıyla atıksulardaki yavaş ayrışan organik madde bileşenlerini saptamak olasıdır.

2.3.4. Kinetik ve Stokiyometrik Katsayıların Belirlenme Yöntemleri

Biyolojik arıtılabilirlik çalışmalarında aşağıda sıralanan kinetik parametreler ve stokiyometrik katsayılar kullanılmaktadır:

Kinetik parametreler:

- Maksimum çoğalma hızı, μ_H
- İçsel solunum hızı, b_H
- Yarı doygunluk sabiti, K_S
- Hidroliz yarı doygunluk sabiti, K_X
- Hidroliz katsayısı, k_h

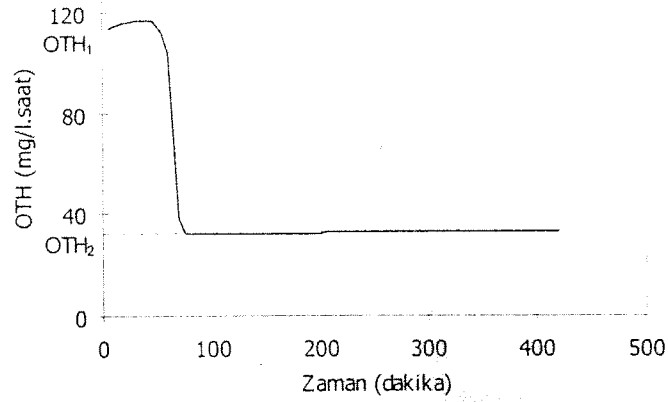
Stokiyometrik katsayılar:

- Heterotrofik dönüşüm oranı, Y_H
- İçsel biyokütle çözünmüş inert ürün fraksiyonu, f_{ES}
- İçsel biyokütle partiküler ürün fraksiyonu, f_{EP}
- Çoğalma kökenli çözünmüş inert ürün oluşum katsayısıdır, α_D

Aşağıda aktif çamur modellemesinde kullanılan güncel kavramlar uyarınca bu kinetik ve stokiyometrik büyüklüklerin saptanmalarına ilişkin yöntemler özetlenmektedir.

2.3.4.1. Maksimum Çoğalma Hızı, μ_H Belirleme Yöntemi

Maksimum çoğalma hızının respirometrik yöntemle belirlenmesi, hızlı ayrışabilen çözünmüş organik maddelerin tamamının bu hız sabiti ile giderildiği kabulüne dayanmaktadır. Ekama ve diğ. (1986) tarafından önerilen bu yöntemde kolay ayrışan maddenin kısıtlayıcı olmadığı halde, çoğalma maksimum hızla olmakta ve başlangıçta hızlı bir oksijen tüketimi görülmektedir (OTH_1). Biyokütle çoğalması kolay ayrışan organik madde yanında yavaş ayrışan organik maddenin hidrolizine bağlı olarak değişebilmektedir. Kolay ayrışan organik maddenin tükenmesi ile oksijen tüketim hızı, OTH_1 'den, hidroliz mekanizmasının etkili olduğu OTH_2 değerine düşmektedir (Şekil 2.10). Maksimum çoğalmada içsel solunumdan kaynaklanan oksijen tüketiminin, kolay ayrışan organik maddenin oksijen tüketimi yanında ihmal edilecek düzeyde olduğu varsayılmaktadır.



Şekil 2.10 OTH profili

Aerobik koşullarda maksimum çoğalma hızı,

$$\hat{\mu} = \frac{Y_H}{1 - f_a Y_H} \cdot \frac{OTH_1}{X_{H0}} \quad (2.37)$$

denklemleri yardımıyla hesaplanabilir. Bu bağıntıda aktif biyokütle X_{H0} konsantrasyonunun değişimleri gözönüne alınmamıştır. Aktif biyokütle, deney başlangıcında aşıl原因 toplam biyokütle konsantrasyonunun bir f_a fraksiyonu kadardır. Hacim düzeltmesi de dikkate alındığında X_{H0} konsantrasyonu,

$$X_{H1} = \frac{f_a X_T V_{ml}}{V_{ww} + V_{ml}} \quad (2.38)$$

eşitliği ile tanımlanabilir. Aktif fraksiyonun belirlenmesinde aşağıda verilen, çamur yaşına bağlı ampirik ifadeler kullanılmaktadır,

$$f_a = 1.41 (\theta_X)^{-0.53} \quad (\text{Ham atıksu için})$$

$$f_a = 1.57 (\theta_X)^{-0.43} \quad (\text{Çökelmiş atıksu için})$$

Deney başlangıcında besi maddesi/biyokütle oranı (F/M);

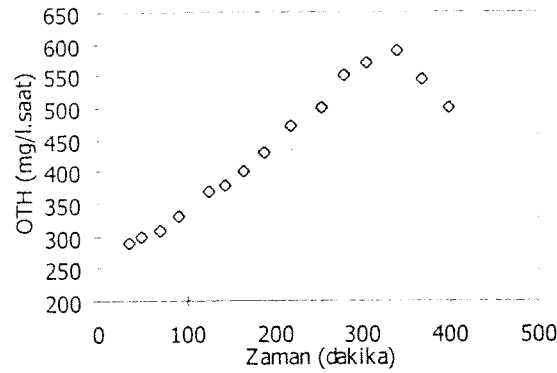
$$F/M = (1.0 - 1.5) \cdot f_a \text{ (mg COD/mg VSS)}$$

olarak ayarlanmalıdır.

Aktif biyokütlenin miktarını belirleyebilmek için (Henze, 1986), 20°C'deki elektron transfer hızının $1e^-$ eşdeğer/g UAKM.gün olduğu ve 1 elektron eşdeğeri substrata karşılık 8 g oksijen harcadığı esasına dayanarak Y_H 'in 0.6 g KOİ/g KOİ değeri için, 133 mg O_2 /g UAKM.saat birim değeri hesaplanmıştır.

Kappeler ve Gujer (1992) heterotrofik biyokütlenin maksimum çoğalma hızının belirlenmesi için farklı bir yöntem önermişlerdir. Biyokütle konsantrasyonundan bağımsız sonuç veren sözkonusu yöntemde, kesikli çalıştırılan aerobik reaktör çok düşük konsantrasyonlarda biyokütle ile aşıl原因makta, diğer bir deyişle yüksek F/M sağlanmakta ve zamana karşı oksijen

tüketim hızlarının (OTH) ölçülmektedir. Deneyin ilk aşamasında çoğalma kolay ayrışan organik madde üzerinde gerçekleşmekte ve deney düşük mikroorganizma konsantrasyonları başlatıldığından, çoğalan biyokütle miktarına bağlı olarak artan oksijen tüketim hızları (OTH) gözlemlenmektedir. Kolay ayrışan organik madde tükendiğinde ise, çoğalma hidroliz mekanizmasına bağlı olarak yürümektedir (Şekil 2.11)



Şekil 2.11 Yüksek F/M oranında elde edilen OTH profili

Başlangıç anında ölçülen OTH kolay ayrışan organik maddenin ve aktif biyokütlenin bir fonksiyonu olduğuna göre, başlangıç ve bir (t) anındaki OTH değerleri,

$$OTH_0 = \frac{1 - Y_H}{Y_H} \cdot \hat{\mu}_H \cdot X_{H0} + (1 - f_E) \cdot b_H \cdot X_{H0} \quad (2.39)$$

$$OTH_t = \frac{1 - Y_H}{Y_H} \cdot \hat{\mu}_H \cdot X_H + (1 - f_E) \cdot b_H \cdot X_H \quad (2.40)$$

eşitlikleri ile gösterilebilir ve bu denklemlerden;

$$\ln\left(\frac{OTH_0}{OTH_t}\right) = \frac{\left(\frac{1 - Y_H}{Y_H} \cdot \hat{\mu}_H + (1 - f_E) \cdot b_H\right) \cdot X_{H0}}{\left(\frac{1 - Y_H}{Y_H} \cdot \hat{\mu}_H + (1 - f_E) \cdot b_H\right) X_H} \quad (2.41)$$

$$\ln\left(\frac{OTH_0}{OTH_t}\right) = \frac{X_{H0}}{X_H} \quad (2.42)$$

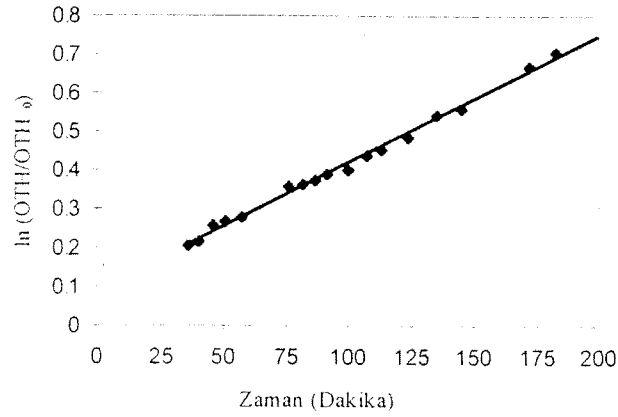
çözümü elde edilir. Biyokütlenin net çoğalması,

$$X_H = X_{H0} \cdot e^{-(\hat{\mu}_H - b_H)t} \quad (2.43)$$

olarak ifade edildiğinde, denklem (2.42) yardımıyla;

$$\ln\left(\frac{OTH_t}{OTH_0}\right) = (\hat{\mu}_H - b_H) \cdot t \quad (2.44)$$

eşitliği çıkartılabilir. 2.44'de verilen bağıntı eğimi $\hat{\mu}_H - b_H$ olan bir doğru ile gösterilebilir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 OTH profili ile $\hat{\mu}_H - b_H$ 'ın belirlenmesi

Yöntem uyarınca $\hat{\mu}_H$ ve b_H 'ın belirlenmesi için $b_H/\hat{\mu}_H$ oranının yaklaşık %5 olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda maksimum çoğalma hızı,

$$\hat{\mu}_H = 1.05 (\hat{\mu}_H - b_H) \quad (2.45)$$

eşitliğinden hesaplanabilmektedir.

Toplam biyokütlenin aktif fraksiyonu (f_a)'nın saptanması amacı doğrultusunda, değişik başlangıç koşullarında oksijen tüketimi ölçümüne dayanan Kappalar ve Gujer (1992) yöntemi ile Ekama vd. (1986) yönteminde verilen deneylerin paralel yürütülmesi önerilmektedir (Sözen, 1995). Bu durumda aşılama aynı biyokütle ile gerçekleştirildiğinden her iki reaktörde de aktif fraksiyonun aynı olması beklenmektedir. Maksimum çoğalma hızının bulunması için önerilen yöntemde, deneye çok düşük biyokütle konsantrasyonlarında başlanmasına rağmen içsel solunumdan kaynaklanan O_2 tüketimi değerlendirmeye alınmamaktadır. Ekama ve Marais (1986) yönteminde içsel solunumdan kaynaklanan elektron alıcısı (O_2) tüketimi gözardı edilmektedir. Dolayısıyla Kappalar ve Gujer (1992) yönteminde de içsel solunum ihmal edilip maksimum çoğalma hızları eşitlendiğinde aktivite katsayısı,

$$f_a = \frac{Y_H}{1 - f_a Y_H} \frac{OTH_1}{\hat{\mu}_H X_T} \quad (2.46)$$

eşitliğinden saptanabilir. Denklemde verilen X_T , başlangıçtaki UAKM bazında ölçülen biyokütle konsantrasyonunu göstermektedir. Heterotrofik dönüşüm oranı Y_H , mgUAKM /mgKOİ olarak değerlendirilmelidir.

2.3.4.2. İçsel Solunum Hızı, b_H , Belirleme Yöntemi

İçsel solunum hızı, b_H , biyokütle miktarı yüksek aerobik kesikli bir reaktörde OTH ölçümleri yapılarak saptanmaktadır. Yöntem uyarınca başlangıç OTH değerinin %5'i elde edilinceye kadar ölçümler sürdürülmektedir. Oksijen tüketim hızının yalnızca içsel solunum (bozunma) prosesine bağlı olarak değiştiği, çoğalma prosesinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu varsayımına göre;

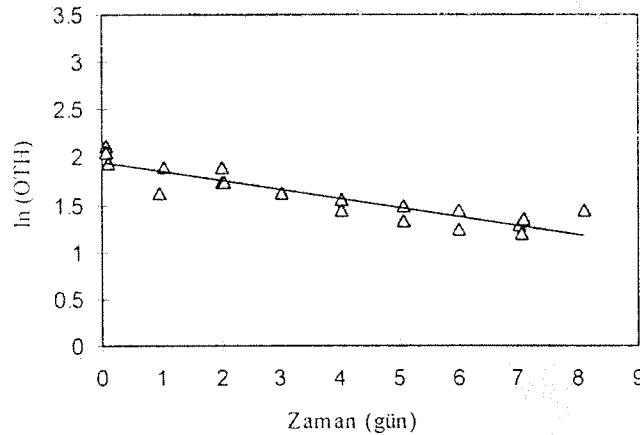
$$\frac{dS_o}{dt} = -(1 - f_E) \cdot b_H \cdot f_X \cdot X_H \quad (2.47)$$

$$X_H = X_{H0} \cdot e^{-(b_H)t} \quad (2.48)$$

ve bu eşitliklerle oksijen tüketim hızı;

$$\ln OTH = \left[\ln \left(- (1 - f_E) \cdot b_H \cdot f_X \cdot X_H \right) - b_H \cdot t \right] \quad (2.49)$$

olarak saptanır. Zamana karşı $\ln(OTH)$ çizildiğinde elde edilen doğrunun eğimi içsel solunum hızını, b_H (1/gün)'ı vermektedir. Deney süresince nitrifikasyon kaynaklı olası oksijen kullanımını bastırmak için inhibitör kullanılmalıdır (Henze ve diğ., 1987) (Şekil 2.13).

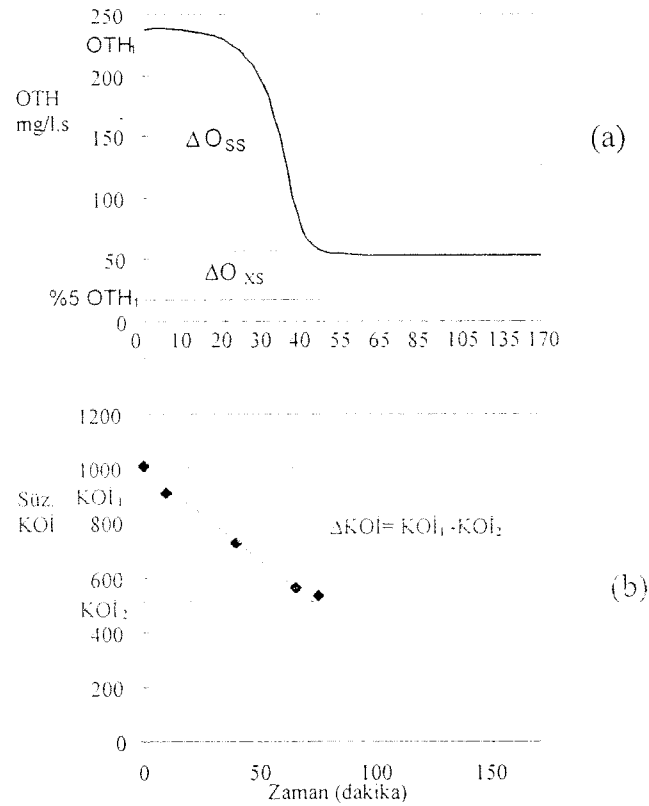


Şekil 2.13 İçsel solunum hızı, b_H 'nin belirlenmesi

2.3.4.3. Heterotrofik Dönüşüm Oranı, Y_H , Belirleme Yöntemi

Heterotrofik dönüşüm oranının saptanması için kullanılan yöntem Ekama ve Marais (1986) yöntemi ve Kappalar ve Gujer (1992) yöntemleriyle birlikte yürütülebilmektedir (Ubay Çokgör, 1997). Sözkonusu yöntem Ekama ve Marais (1986) tarafından belirtilen, substrattan $1e^-$ transferiyle bu elektronu alacak elektron alıcısının, deneysel olarak saptanması esasına dayanmaktadır. Kolay ayrışabilir organik maddenin (S_S) belirlenmesi işleminde, ölçülen oksijen tüketim hızına (OTH) paralel olarak, süzölmüş KOİ değerleri bulunmaktadır. Oksijen tüketim hızları OTH_1 'den OTH_2 değerine düştüğünde kolay ayrışan organik maddelerin tükendiği, çoğalma prosesinin yavaş ayrışan organik maddenin (S_H) hidroliz hızına bağlı

olarak devam ettiği varsayılmaktadır. Bu aşamada içsel solunum fazını karakterize eden bir üçüncü düzey OTH değerinin de bilinmesi gerekmektedir. Daha önce de değinildiği gibi Kappelar ve Gujer (1992) tarafından maksimum çoğalma hızı, $\hat{\mu}_H$ 'ın belirlenmesi için önerilen yöntemde $b_H / \hat{\mu}_H$ oranının yaklaşık %5 olduğu kabul edilmektedir. Heterotrofik dönüşüm oranının saptanması için önerilen yöntemde de içsel solunum fazını karakterize eden OTH değeri, başlangıç OTH_i değerinin %5'i kadar alınmıştır. OTH ölçümlerine paralel yürütülen süzölmüş KOİ değerleri yardımıyla Şekil 2.14 a ve b'de verilen grafikler çizilebilir.



Şekil 2.14 Heterotrofik Dönüşüm Oranı, Y_H Bulunması

a) OTH Profili b) Süzölmüş KOİ profili

Bu noktadan hareketle ise heterotrofik dönüşüm oranı;

$$Y_H = 1 - \left(\frac{\Delta O_{ss} + \Delta O_{xs}}{\Delta KOİ} \right) \quad (2.50)$$

eşitliği kullanılarak saptanabilir.

2.3.4.4. Hidroliz Sabiti, k_h , ve Hidroliz Doygunluk Sabiti, K_X 'in Belirlenmesi

Daha önceki bölümlerde ayrışabilir organik maddenin, yavaş ayrışabilir organik madde ve kolay ayrışabilir organik maddeden oluştuğuna değinilmişti. Yavaş ayrışabilir organik

maddenin, mikroorganizmalar tarafından tüketilebilmesi için kolay ayrışabilir organik maddeye dönüşmesi sürecinde etkili olan k_h ve K_X parametrelerinin de doğru olarak saptanmaları gerekmektedir. Bu çalışmada, hidroliz sabiti k_h ve hidroliz doygunluk sabiti K_X deneysel olarak elde edilen OTH profilleriyle, deneylerden elde edilen verilerle çalıştırılan modelin karşılaştırılmasıyla bulunmuştur. Eğri uydurma (curve fitting) elde edilen sonuçlar modellemeye ait bölümde ele alınmıştır. Eğri uydurma yöntemiyle hidroliz sabiti k_h ve hidroliz doygunluk sabiti K_X ve yarı doygunluk sabiti K_S de belirlenebilmektedir.

2.4. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.4.1. Materyal ve Metod

KOİ ölçümlerinde ISO 6060 (ISO, 1986) metodu kullanılmış, diğer konvensiyonel parametrelerin analizleri Standart Metod'lar (1998)'da verilen yöntemlere göre yapılmıştır. Numunelerin vakum filtrasyonu kullanılarak 0.45µm por çaplı Millipore membran filtrelerden süzülen kısmı "çözünmüş" olarak tanımlanmıştır. Askıda katı madde (AKM) ve uçucu askıda katı madde(UAKM) ölçümlerinde Millipore AP40 tipi cam yünü filtreler kullanılmıştır.

Deneysel çalışmanın ilk bölümünü tesisten kaynaklanan ayırık akımların konvensiyonel karakterizasyonu, ikinci bölümünü ise arıtılabilirlik çalışmaları oluşturmaktadır.

Arıtılabilirlik çalışmaları proses atıksularının toplandığı dengeleme tankından alınan numuneler üzerinde yürütülmüştür. Bu dengeleme tankına ayrıca proses atıksularına ek olarak ters osmoz ünitesinin temizleme suları da verilmektedir.

Arıtılabilirlik çalışması iki aşamada ele alınmaktadır. Öncelikle incelenen tesisin dengeleme tankından alınan numuneler üzerinde aerobik ve anaerobik koşullar altında inert KOİ deneyleri yürütülmüştür. Aerobik inert KOİ testleri Germirli ve diğ. (1993b) tarafından tanımlandığı şekilde, 3 litrelik iki adet silindirik kesikli reaktörde yürütülmüştür. Bu reaktörlerden bir tanesi filtre edilmemiş atıksu (C_{T0}) ile, bir diğeri de filtre edilmiş atıksu (S_{T0}) ile aynı seyrelme oranları sağlanacak şekilde beslenmiştir. Reaktörlerde kullanılan aşı, aynı atıksu ile beslenen ve kararlı denge halinde çalışan laboratuvar ölçekli bir doldur-boşalt aktif çamur sisteminden alınmıştır. Her iki reaktöre de başlangıç biyokütle konsantrasyonu 40 mg/l UAKM olacak şekilde aşılama yapılmıştır. Aerobik testlerde nitrifikasyon girişimini önlemek için sisteme nitrifikasyon inhibitörü (Formül 2533TM, Hach Company) ilave edilmiştir. Benzer olarak, detayları literatürde verilen deneysel prosedür (Germirli Babuna ve diğ., 1998) anaerobik inert KOİ testleri için de uygulanmıştır. Test başlangıcında sisteme ortalama her 1 mg/l KOİ için 1 mg/l $CaCO_3$ alkalinite ilave edilmesi önerildiğinden (Germirli Babuna ve diğ., 1998), bu gereksinimi karşılamak ve pH'yı 6.8-7.2 aralığında tutabilmek için uygun miktarda $NaHCO_3$ dozlaması yapılmıştır. Sistemde üretilen gaz, su içinde toplanmıştır. Aerobik ve anaerobik kesikli sistemlerin tam karışımlarından inert KOİ testleri için düzenli olarak alınan örneklerde toplam KOİ ve çözünmüş (filtre edilmiş) KOİ analizleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, ardışık numunelerde eşik değeri %3-5 den daha az değişiklik gösteren kararlı KOİ değerleri elde edilinceye kadar sürdürülmüştür.

Arıtılabilirlik çalışmasının ikinci aşaması, aerobik koşullar altında kolay ayrışabilir KOİ (S_S) ile kinetik ve stoikiometrik katsayıların bulunmasına ayrılmıştır. Respirometrik ölçümler ile; kolay ayrışabilir KOİ (S_S), maksimum heterotrofik çoğalma hızı (μ_H) ve heterotrofik

dönüşüm oranının (Y_H) belirlenmesi hedeflenmiştir. Oksijen tüketim hızı (OTH) ölçümlerinde 1 litrelik aerobik kesikli reaktörler kullanılmıştır. Daha önce yukarıda değinildiği gibi reaktörlere nitrifikasyon inhibitöründen ilave edilmiştir. Reaktörler başlangıçta aynı atıksu örneği ile beslenmiş ve uygun bir F/M oranının (C_{T1}/X_{T1}) elde edilmesi için yeterli miktardaki biyokütle ile aşılanmışlardır. Reaktörler çözünmüş oksijen konsantrasyonu 6-8 mg/l olacak şekilde sürekli havalandırılmıştır. Biyokütle çamur yaşı 10 gün olacak şekilde ayarlanan bir doldur-boşalt sistem yardımıyla atıksuya önceden alıştırılmıştır. Kolay ayrışabilir KOİ, Ekama ve diğ. (1986) tarafından önerilen metoda uygun olarak saptanmıştır. Maksimum heterotrofik çoğalma hızının (μ_H) bulunması için yapılan testlerde reaktörler Kappeler ve Gujer (1992) tarafından önerilen 4-5 g KOİ/g UAKM (F/M) oranı uygulanacak şekilde işletilmişlerdir. Heterotrofik dönüşüm oranı (Y_H) aynı numune üzerinde yürütülen çalışmalarda elde edilen OTH ve KOİ profillerinin karşılaştırılmasıyla bulunmuştur (Ubay Çokgör, 1997). İçsel solunum hızının (b_H) saptanması için, aktif çamur örneğinin sistemden alınmış aerobik koşullar altında zamana karşı OTH değerlerinin değişimleri incelenmiştir (Ekama ve diğ., 1986). Aşağıda verilen toplam KOİ (C_{T1}) ve çözünmüş KOİ (S_{T1}) kütle dengesi eşitlikleri, atıksuyun diğer KOİ bileşenlerinin (giriş hızlı hidroliz olabilen KOİ, S_{H1} ve giriş yavaş hidroliz olabilen KOİ, X_{S1}) hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$S_{H1} = S_{T1} - S_{S1} - S_{H2} \quad (2.51)$$

$$X_{S1} = C_{T1} - S_{T1} - X_{H2} \quad (2.52)$$

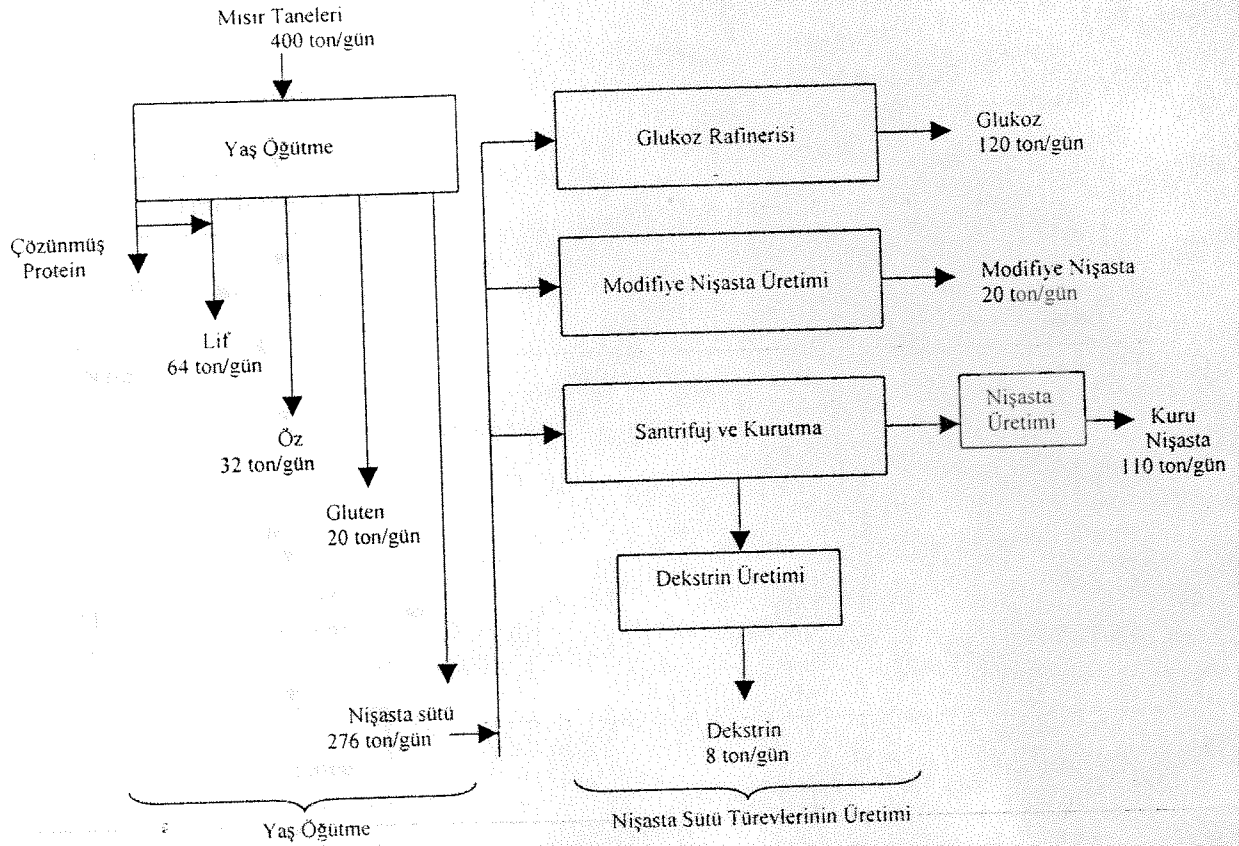
K_S , k_H ve k_X hesaplamalarında deneysel olarak elde edilen OTH değerlerine “eğriye uydurma” yöntemi uygulanmıştır. Hassasiyet analizleri ve model simülasyonları AQUASIM bilgisayar programı kullanımı ile gerçekleştirilmiştir (Reichert, 1994).

Bu çalışma sırasında sunulan tüm veriler 3'er kez tekrarlanan ölçüm sonuçlarının ortalamasıdır. OTH ölçümleri WTW OXI DIGI 2000 marka oksijenmetre ve yazıcısı kullanılarak elde edilmiştir. Deneysel çalışma sırasında numunelerin pH'sı biyolojik aktivite için uygun olan 7-8 aralığına ayarlanmıştır.

Tüm aerobik reaktörler 18°C ve anaerobik reaktörler 35°C sıcaklıkta tutulmuştur.

2.4.2. Proses Tanımı ve Atıksu Kaynakları

İncelenen tesiste 170 personel ile 3 vardiya çalışılarak günde 24 saat üretim yapılmaktadır. Şekil 2.15'de verilen genel proses akım şemasında görüldüğü gibi incelenen tesiste birbirini izleyen iki ayrı üretim aşaması bulunmaktadır. Bunlar yaş yöntemle öğütme ve nişasta sütü türevleri üretimi olarak sıralanabilirler. Yaş yöntemle öğütmede, %14 – 16 nem içeriğine sahip mısır tanelerinden; mısır özü, lif, gluten, suda çözünebilir protein ve nişasta sütü üretilmektedir. Bu aşamada elde edilen nişasta sütü ikinci aşamada glukoz, modifiye nişasta mamülleri, dekstrin ve kuru nişasta üretimi için kullanılır.



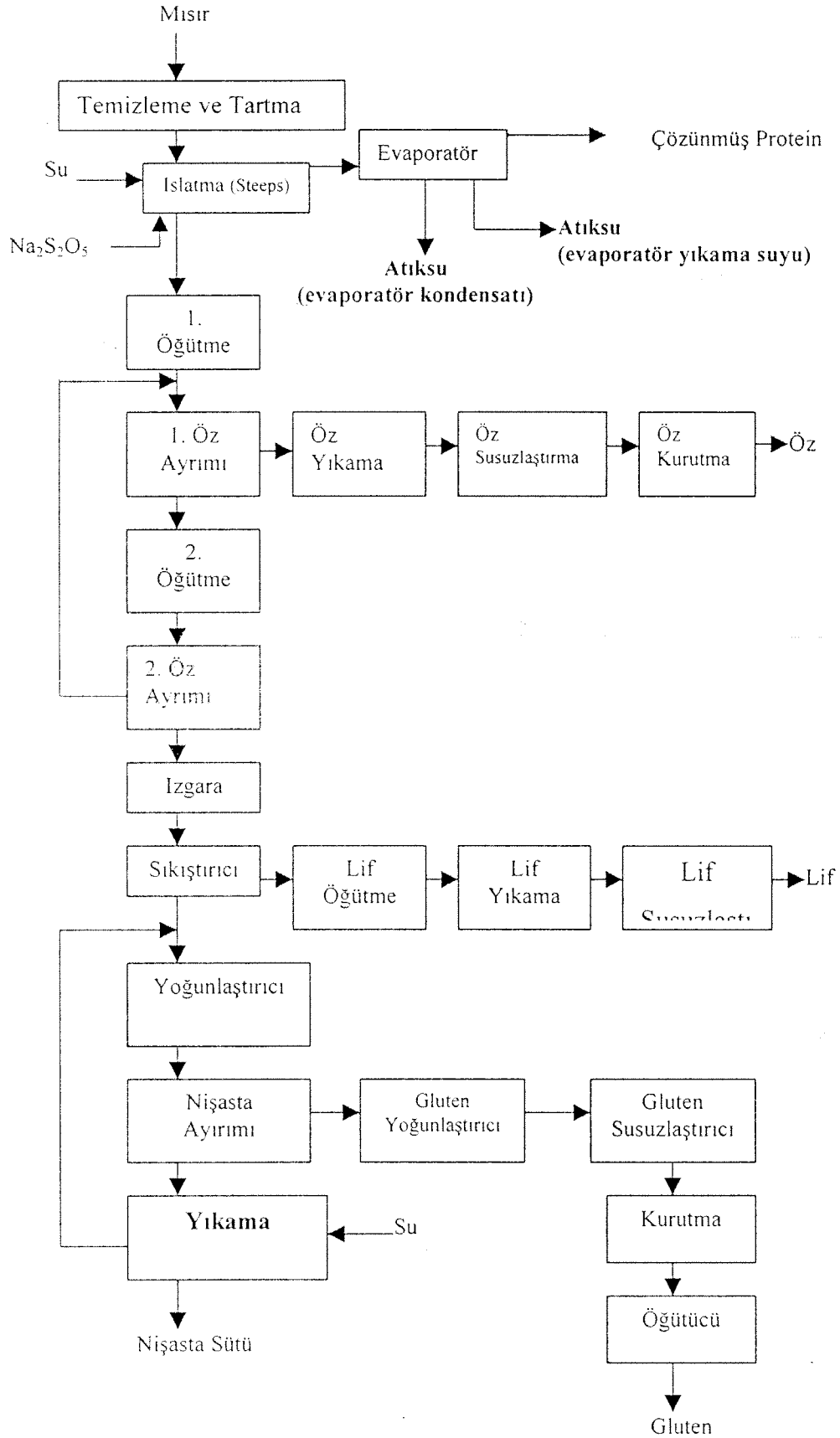
Şekil 2.15. İncelen Tesisin Genel Akım Şeması

Yaş Öğütme

Yaş öğütme aşamasının akım şeması Şekil 2.16'de verilmektedir. Bu aşamada temizlenen ve tartılan mısır taneleri öncelikle $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ içeren ılık suda 36 saat ıslatılır. Bu işlem sonucu çözülebilir proteinler (bunlar daha sonra elde edilecek liflerle karıştırılarak veya tek başlarına satılabilirler) mısırdan ayrılır, mısır taneleri öğütme prosesi için yumuşak hale gelir, özdeki çözülmüş madde giderilir ve protein ve nişasta ayırımı kolaylaşır. ıslatılan mısır, mısır çekirdeğinin parçalanarak mısır özünün ayrıldığı öğütücüden geçirilir. Kalan nişasta sütü, gluten, lif ve mısır çekirdeği parçaları ince ızgaradan geçirildikten sonra elde edilen mısır lifleri bir sıkıştırıcıya beslenir. Burada mısır lifleri öğütülür, yıkanır ve susuzlaştırılır.

Liften ayrılan nişasta ve gluten suyu yoğunlaştırıcıda daha yoğun hale getirilir ve bir sonraki adımda hafif olan glutenlerin ayrıldığı yüksek hızlı santrifüje beslenir. Santrifüjden çıkan gluten konsantre hale getirilir, susuzlaştırılır, kurutulur ve öğütülür. Öte yanda geri kalan nişasta sütü temiz suyla yıkanır.

Öz yıkama ve susuzlaştırma suları, lif yıkama ve susuzlaştırılmasından kaynaklanan atıksular geri devrettirilerek tekrar kullanıldığından; ıslak öğütmeden sadece evaporator kondensatı ve evaporator yıkama suları atıksu olarak çıkmaktadır.



Şekil 2.16. Yaş Öğütme Akım Şeması

Nişasta Sütü Türevleri Üretimi

Nişasta sütü türevleri üretimi ve oluşan atıksular Şekil 2.17’de gösterilmiştir. Kuru nişasta ve dekstrin üretimlerinde santrifüj kaynaklı atıksular yaş öğütme aşamasına geri devrettirilerek tekrar kullanılmaktadırlar. Santrifüj işleminden sonra kurutulan nişasta sütü ya elenerek kuru nişasta haline getirilir ya da yüksek sıcaklıkta HCL ile proses edilip soğutularak dekstrin oluşturulur. İçine elde edilmek istenen ürünün cinsine bağlı olarak HOCl ve/veya asit ve/veya kostik eklenen nişasta sütü vakum filtre ve kurutucuya yönlendirilerek tekstil ve kağıt endüstrilerinde kullanılan modifiye nişasta üretilmiş olur.

Sözü edilen üretim şemasında oluşan vakum filtre filtratları atıksu olarak deşarj edilir.

Asidifikasyon, mekanik ayrırşma ve enzim tanklarını içeren glukoz rafinerisinin ilk adımları, nişasta sütünün mekanik ve kimyasal ayrırşması için gerçekleştirilir. Kullanılan enzimleri inaktive etmek ve olası safsızlıklardan sistemi arındırmak amaçları doğrultusunda glukoz (precoat) tankına NaOH ve perlit eklenir. Ayrırşma sırasında bazı çözünmeyen maddeler birikebileceğinden, enzim kullanımından sonra tank içeriği bir filtrasyon işleminden geçirilir. Daha sonraki aktif karbon ünitesinde ise enzimler ayrılır. Bu adımları izleyen filtrasyon, deminerilizasyon ve evaporasyon işlemleri glukoz üretiminin son aşamalarıdır.

Glukoz rafinerisinin atıksuları, soğutucu kaynaklı kondensatlar, aktif karbonun temizleme suları ve demineralizasyonda kullanılan temizleme suları olarak sıralanabilir.

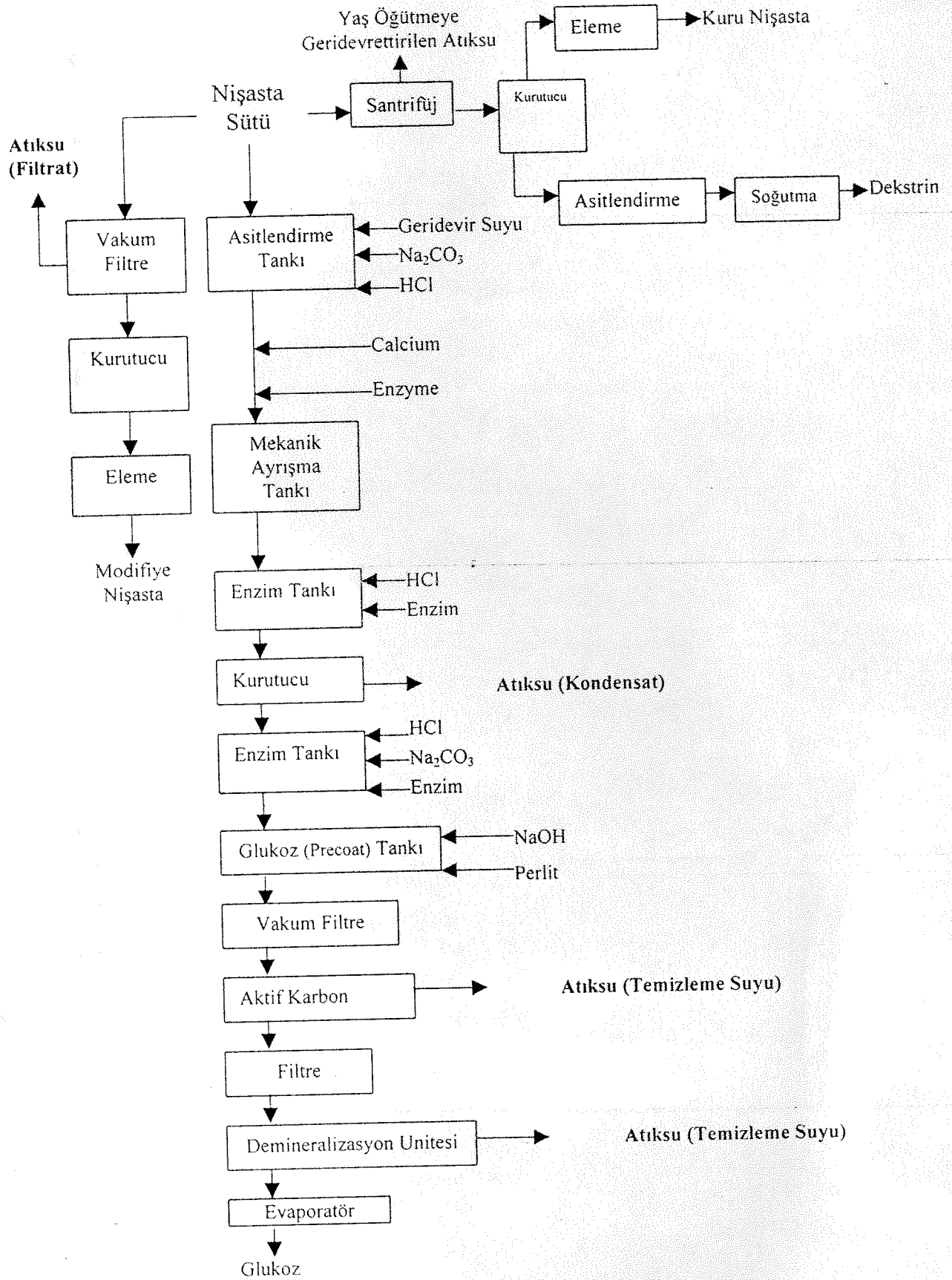
2.4.3. Ayrık Akım Atıksu Karakterizasyonu ve Kirlenme Profilleri

İncelenen tesiste üretim proseslerine ilişkin veriler sunulurken kaynakları belirlenmiş olan yedi farklı proses atıksuyu bulunmaktadır. Sözkonusu proses atıksularının yanısıra, tesiste proses suyu hazırlamak için kullanılan ters ozmos ünitesi temizleme suları da atıksulara karırştırıldığından genel deşarj içinde yer almaktadır. Ters ozmos ünitesi temizleme suları yaklaşık 75 m³/gün debiye sahiptirler.

Tablo 2.2’de incelenen tesisin ayrık akım atıksu karakterizasyonu verilmektedir.

Kaynak bazlı atıksu karakterizasyonu ile genel deşarjdan elde edilen verilerin uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Genel deşarj bulgularına göre, toplam KOİ değerinin %79’u çözünmüş KOİ’den oluşmaktadır. Genel deşarj analiz sonuçları literatürle uyumludur. Blanchard (1992), BOİ₅ değerinin yaklaşık olarak KOİ parametresinin %70’i düzeyinde olduğunu rapor etmektedir.

Tesise ait kirlenme profili Tablo 2.3’te verilmiştir. İncelenen endüstride birbirini izleyen iki aşamalı bir üretim gerçekleştirildiğine daha önce değinilmişti. İlk aşama olan yaş öğütmede üretilen nişasta sütü, ikinci aşamada hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle birinci aşama için prosese giren mısırın tonu başına oluşan ürünleri (ve dolayısı ile birim yükleri) belirlemek olasıdır. Ancak ikinci aşama için yükler ürünlere bağlı olarak tanımlanabilir. Bu çerçevede yaş öğütme aşamasında, prosese giren mısırın tonu başına 0.475 m³ atıksu üretildiği saptanmıştır (veya 0.686 m³/m³ üretilen nişasta sütü). Öte yandan prosese giren mısırın tonu başına 3.36 kg KOİ (veya 4.87 kg KOİ/m³ nişasta sütü) oluşmaktadır.



Şekil 2.17. Nişasta Türevleri Üretimi Akım Şeması

Tablo 2.2. Ayırık Akım Atıksu Karakterizasyonu

Atıksu Kaynakları	Parametreler						
	KOl (mg/l)	BOİ ₅ (mg/l)	TKN (mg/l)	T.P (mg/l)	AKM (mg/l)	pH	
Ayrık Akımlar							
Proses Atıksuları							
<i>Yaş Öğütme</i>							
•Evaporatör Kondensatı	5800	4050	205	95	100	2.5	
•Evaporatör Yıkama Suları	30000	11500	700	295	110	3.2	
<i>Modifiye Nişasta Üretimi</i>							
•Vakum Filtre Filtratı	1400	510	65	20	125	6.6	
<i>Glukoz Rafinerisi</i>							
•Soğutucu Kondensatı	400	250	45	10	<10	2.5	
•Aktif Karbon Temizleme Suları	1350	650	50	20	300	3.3	
•Demineralizasyon Temizleme Suları	6000	4200	215	190	2000	10.3	
Proses-Dışı Atıksular							
•Ters Ozmos Temizleme Suları	50	15	25	5	30	7.9	
Genel Deşarj	Toplam	4850	3000	174	125	650	5.2
	Çözünmüş	3850	2700				
Blanchard, 1992			1000-3000			500	
May, 1994			1000-2000				

Tablo 2.3. Kirlenme Profili

Atıksu Kaynakları	Debi, Q		KOİ	
	m ³ /gün	m ³ /ton ürün veya hammadde	mg/l	m ³ /kg ürün veya hammadde
<i>Yaş Öğütme</i>				
•Evaporatör Kondensatı	180	0.45 m ³ /ton mısır (0.65 m ³ /m ³ nişasta sütü)	5800	2.61kg/ton mısır (3.78kg/m ³ nişasta sütü)
•Evaporatör Yıkama Suları	10	0.025 m ³ /ton mısır (0.036m ³ /m ³ nişasta sütü)	30000	0.75kg/ton mısır (1.09kg/m ³ nişasta sütü)
<i>Modifiye Nişasta Üretimi</i>				
•Vakum Filtre Filtratı	25	1.25 m ³ /ton modifiye nişasta	1400	1.75kg/ton modifiye nişasta
<i>Glukoz Rafinerisi</i>				
•Soğutucu Kondensatı	25	0.208 m ³ /ton glukoz	400	0.08 kg/ton glukoz
•Aktif Karbon Temizleme Suları	15	0.125 m ³ /ton glukoz	1350	0.17 kg/ton glukoz
•Demineralizasyon Temizleme Suları	170	1.42 m ³ /ton glukoz	6000	8.5 kg/ton glukoz

Tablo 2.2. Ayrık Akım Atıksu Karakterizasyonu

Atıksu Kaynakları	Parametreler						
	KOI (mg/l)	BOİ ₅ (mg/l)	TKN (mg/l)	T.P (mg/l)	AKM (mg/l)	pH	
Ayrık Akımlar							
Proses Atıksuları							
<i>Yaş Öğütme</i>							
•Evaporatör Kondensatı	5800	4050	205	95	100	2.5	
•Evaporatör Yıkama Suları	30000	11500	700	295	110	3.2	
<i>Modifiye Nişasta Üretimi</i>							
•Vakum Filtre Filtratı	1400	510	65	20	125	6.6	
<i>Glukoz Rafinerisi</i>							
•Soğutucu Kondensatı	400	250	45	10	<10	2.5	
•Aktif Karbon Temizleme Suları	1350	650	50	20	300	3.3	
•Demineralizasyon Temizleme Suları	6000	4200	215	190	2000	10.3	
Proses-Dışı Atıksular							
•Ters Ozmos Temizleme Suları	50	15	25	5	30	7.9	
Genel Deşarj	Toplam	4850	3000	174	125	650	5.2
	Çözülmüş	3850	2700				
Blanchard, 1992			1000-3000		500		
May, 1994			1000-2000				

Tablo 2.3. Kirlenme Profili

Atıksu Kaynakları	Debi, Q		KOİ	
	m ³ /gün	m ³ /ton ürün veya hammadde	mg/l	m ³ /kg ürün veya hammadde
<i>Yaş Öğütme</i>				
•Evaporatör Kondensatı	180	0.45 m ³ /ton mısır (0.65 m ³ /m ³ nişasta sütü)	5800	2.61kg/ton mısır (3.78kg/m ³ nişasta sütü)
•Evaporatör Yıkama Suları	10	0.025 m ³ /ton mısır (0.036m ³ /m ³ nişasta sütü)	30000	0.75kg/ton mısır (1.09kg/m ³ nişasta sütü)
<i>Modifiye Nişasta Üretimi</i>				
•Vakum Filtre Filtratı	25	1.25 m ³ /ton modifiye nişasta	1400	1.75kg/ton modifiye nişasta
<i>Glukoz Rafinerisi</i>				
•Soğutucu Kondensatı	25	0.208 m ³ /ton glukoz	400	0.08 kg/ton glukoz
•Aktif Karbon Temizleme Suları	15	0.125 m ³ /ton glukoz	1350	0.17 kg/ton glukoz
•Demineralizasyon Temizleme Suları	170	1.42 m ³ /ton glukoz	6000	8.5 kg/ton glukoz

2.4.4. Konvansiyonel Atıksu Karakterizasyonu

İncelenen tesisten 6 aylık bir süre boyunca elde edilen atıksu numuneleri üzerinde yürütülen konvansiyonel atıksu karakterizasyonuna ait veriler Tablo 2.4'te sunulmaktadır.

Tablo 2.4. Konvansiyonel Atıksu Karakterizasyonu

Parametre	Set I	Set II	Set III	Set IV	Set V	Set VI	Ortalama
Toplam KOİ (mg.l ⁻¹)	4680	3580	3320	5065	2670	3535	3800
Çözünmüş KOİ (mg.l ⁻¹)	4150	2870	2800	4330	2110	3125	3230
BOİ ₅ (mg.l ⁻¹)	S	2270	2775	3345	S	S	2800
AKM (mg.l ⁻¹)	405	550	390	280	235	520	400
UAKM (mg.l ⁻¹)	305	455	240	240	190	460	315
TKN (mg.l ⁻¹)	66	143	65	52	84	95	84
NH ₄ -N (mg.l ⁻¹)	S	S	35	10	S	S	23
TP (mg.l ⁻¹)	31	28	22	22	62	35	33
pH	4.2	5.9	6.3	3.9	6.8	6.2	-
Sıcaklık (°C)	30	32	32	32	32	32	32

S: saptanmadı

Tablodan da görüldüğü gibi, sözkonusu atıksu yaklaşık % 85'i çözünmüş niteliğe sahip, 3800 mg/l ortalama toplam KOİ içeriği ile karakterize edilebilir. Atıksuyun BOİ₅/KOİ oranı 0.73'dür. Diğer endüstriyel atıksular ve evsel atıksu ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek düzeyde olan bu oran atıksuyun biyolojik ayrışabilirliğinin bir göstergesidir. Öte yandan, atıksu aerobik biyolojik arıtım için yetersiz miktarda azot ve fosfor içermektedir.

2.4.5. Arıtılabilirlik Deneyleri

Yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi atıksularının arıtımında en uygun arıtma teknolojisinin aerobik veya anaerobik proseslerden hangisi olduğuna karar vermeden önce, farklı koşullarda bu atıksuların inert KOİ içeriklerini ve oluşacak inert metabolik ürün düzeylerini saptamak gereklidir. Bu çerçevede arıtılabilirlik çalışmalarının iki bölümde ele alınmasının sağlıklı sonuçlar vereceği öngörülmüştür. İlk adımda aerobik ve anaerobik koşullar için inert KOİ bileşenleri belirlenmiştir. İlk adımdan elde edilecek deneysel sonuçlar uyarınca ise arıtılabilirlik çalışması anaerobik veya aerobik arıtılabilirlik yönünde detaylandırılacaktır.

2.4.5.1. Aerobik ve Anaerobik Şartlar Altında Elde Edilen İnert KOİ Bileşenleri

Aerobik ve anaerobik şartlar altında inert KOİ bileşenlerinin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen deney sonuçları Tablo 2.5'te özetlenmektedir. Tablo 2.6'da ise sözü edilen her iki koşul altında da inert KOİ bileşenlerinin değerleri ortaya konmaktadır. Farklı koşullar altında inert KOİ bileşenlerinin saptanmasına ait literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Germirli ve diğ., 1993a; Eremektar ve diğ., 1998; İnce ve diğ., 1998).

Tablo 2.5. Aerobik ve Anaerobik Koşullarda Gerçekleştirilen İnert KOİ Deney Sonuçları

Numune		Reaktör I Atıksu ile Besleme (KOİ, mg.l ⁻¹)		Reaktör II Süzülmüş Atıksu ile Besleme (KOİ, mg.l ⁻¹)	
Test		C _T	S _T	C _T	S _T
Set 1	Numune	4680	4150	-	-
	Deney Başlangıcı	2300	2000	2100	2050
<i>Aerobik İnert</i>	Deney Sonu	425	200	300	180
<i>KOİ Deneyi</i>	Süre (saat)	600	600	600	600
Set 1	Numune	4680	4150	-	-
	Deney Başlangıcı	3700	3150	3200	3100
<i>Anaerobik İnert</i>	Deney Sonu	1200	500	800	485
<i>KOİ Deneyi</i>	Süre (saat)	960	960	960	960
Set 3	Numune	3320	2870	-	-
	Deney Başlangıcı	3320	2870	2900	2800
<i>Aerobik İnert</i>	Deney Sonu	510	300	370	275
<i>KOİ Deneyi</i>	Süre (saat)	1050	1050	1050	1050

Tablo 2.6. İnert KOİ Deneyinin Değerlendirilmesi (KOİ, mg l⁻¹)

Parametre	Set 1		Set 3
	Aerobik Şartlar Altında	Anaerobik Şartlar Altında	Aerobik Şartlar Altında
<i>Numunenin KOİ Değeri, C_{T0}</i>	4680	4680	3320
<i>Seyrelme Oranı</i>	0.49	0.79	-
$C_{T1}-S_{T1}=X_{P1}+X_{I0}$	225	700	210
$C_{T2}-S_{T2}=X_{P2}$	120	315	95
$\Delta C_{T1}=C_{T0}-C_{T1}$	1875	2500	2810
$\Delta C_{T2}=S_{T0}-C_{T2}$	1700	2350	2500
$X_{P1}=X_{P2}(\Delta C_{T1}/\Delta C_{T2})$	132	335	107
$X_{I0}=(C_{T1}-S_{T1})-X_{P1}$	93	365	103
$S_{T1}-S_{T2}=S_{P1}-S_{P2}$	20	15	25
$S_{P1}=(S_{T1}-S_{T2})/[1-(\Delta C_{T2}/\Delta C_{T1})]$	200	250	233
$S_{I0}=S_{T1}-S_{P1}$	0	250	67
Numunedeki Çözünmüş İnert KOİ, S _{I0}	0	316	67
Çözünmüş İnert Microbiyal Ürünler, S _P	407	316	233
Numunedeki Partiküler İnert KOİ, X _{I0}	189	462	103
Partiküler İnert Microbiyal Ürünler, X _P	269	424	107

Set 1 için paralel şekilde aerobik ve anaerobik koşullar altında yürütülen inert KOİ belirleme deneyleri, sözü edilen koşullardan hangisinin istenilen çıkış KOİ düzeyini tutturacağına dair bilgi verdiği için önem taşımaktadır. Tablo 2.6'da görüldüğü gibi aerobik deney sonucunda numunenin çözünmüş inert KOİ içermediği saptanmış ($S_{10}=0$) ve sistemde 407 mg/l çözünmüş inert mikrobiyal ürün oluşumu S_p belirlenmiştir.

Öte yandan aynı atıksu numunesi üzerinde yürütülen anaerobik inert KOİ belirleme deneyleri bu numunenin 316 mg/l inert KOİ içerdiğini göstermektedir. Bunun yanı sıra 316 mg/l düzeyinde çözünmüş mikrobiyal ürün, S_p oluşumu da gözlemlenmiştir. Diğer bir değiş ile, atıksuda başlangıçta bulunan 316 mg l⁻¹'lik inert KOİ çözünmüş mikrobiyal ürünlerin oluşumu nedeniyle potansiyel olarak 632 mg l⁻¹'ye çıkmaktadır. Bu çerçevede aerobik şartlar altında %9 düzeyinde elde edilen toplam çözünmüş inert KOİ oranı (S_R/C_{T0}), anaerobik koşullar söz konusu olduğunda % 14'e yükselmektedir.

Tablo 2.6'da sunulduğu gibi aynı deneyin Set 3 için aerobik şartlar altında yürütülmesi sonucu ise inert KOİ bileşenlerine ait $S_{10} = 67$ mg l⁻¹ ve $S_p = 233$ mg l⁻¹ değerleri elde edilmiştir. Böylelikle, atıksuda bulunan 67 mg l⁻¹ lik inert çözünmüş KOİ, aerobik biyolojik arıtmada üretilen inert metabolik ürünler nedeniyle 300 mg l⁻¹'ye çıkmıştır. Bu sonuçlar Set 1 için pratikte ihmal edilebilir düzeyde S_{10} bulunduğunu gösteren verileri desteklemektedir.

Arıtılabilirlik çalışmasının ilk aşamasında saptanan ve yukarıda özetlenen bulgular değerlendirildiğinde, incelenen mısır yaş öğütme endüstrisi atıksularının anaerobik koşullar altında, aerobik şartlara göre daha yüksek çözünmüş inert KOİ bileşenlerine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Bu noktadan hareket edilerek sonraki deneysel çalışmanın aerobik koşullar altında gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Dolayısı ile deneysel çalışma aerobik şartlar altında tüm KOİ bileşenlerinin belirlenmesi ve kinetik ve stokiyometrik katsayıların saptanması üzerine odaklanarak devam ettirilmiştir.

2.4.5.2. KOİ Bileşenlerinin Saptanması

Aktif çamur modellemesindeki son gelişmeler atıksularda bulunan tüm KOİ bileşenlerinin saptanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Atıksuda belirlenen kolay ayrışabilir KOİ S_{S0} ; hızlı hidroliz olabilen KOİ S_{H0} ; yavaş ayrışabilir KOİ X_{S0} ; çözünmüş inert KOİ S_{10} ve partiküler inert KOİ X_{10} 'dan oluşan KOİ bileşenleri Tablo 2.7'de verilmektedir. Gerçekleştirilen deneylere ait ayrıntılı veriler Ekler bölümünde sunulmaktadır.

Tablo 2.7. İncelenen Atıksudaki KOİ Bileşenleri

Set	C_{T0} (mg l ⁻¹)	S_{T0} (mg l ⁻¹)	S_{S0} (mg l ⁻¹)	S_{10} (mg l ⁻¹)	S_{H0} (mg l ⁻¹)	X_{S0} (mg l ⁻¹)	X_{10} (mg l ⁻¹)	S_{S0}/C_{T0} %	S_{10}/C_{T0} %	S_{H0}/C_{T0} %	X_{S0}/C_{T0} %	X_{10}/C_{T0} %
1	4680	4150	3420	0	730	341	189	73	0	16	7	4
2	3580	2870	1722	33	1115	390	320	48	1	31	11	9
3	3320	2800	S	67	S	417	103	-	2	-	13	3
4	5065	4330	2304	0	2026	502	233	45	0	40	10	5
5	2670	2110	565	0	1545	450	110	21	0	58	17	4
6	3535	3125	1480	0	1645	247	163	42	0	46	7	5

S: saptanmadı

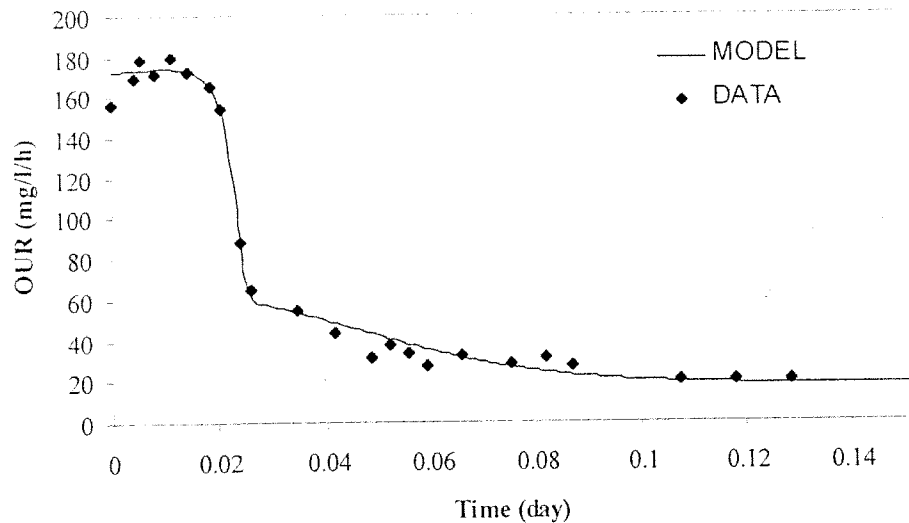
Tabloda sunulan veriler atıksuyun büyük oranda çözünmüş ve biyolojik olarak ayrışabilir nitelikte olduğunu göstermektedir. Atıksuda çözünmüş inert KOİ bulunmamaktadır ve atıksu sadece %5'lik partiküler inert KOİ içeriğine sahiptir. Tüm KOİ bileşenleri içinde toplam KOİ'nin %45'ini oluşturan kolay ayrışabilir KOİ en yüksek olandır. Kolay hidroliz olabilen

KOI bileşeni ise toplam KOI'nin yaklaşık %39'unu kapsamaktadır. Öte yandan yavaş ayrışabilir partiküler KOI %11 düzeyindedir.

2.4.5.3. Kinetik ve Stokiyometrik Katsayılar

Bu çalışmada daha önce sözedilen çok bileşenli aktif çamur içsel solunum modeli kullanılmıştır (Orhon and Artan, 1994). İncelenen tesis atıksularında modelin işletilmesi için $\hat{\mu}_H$, K_S , b_H , k_h , K_X , Y_H , f_{EX} ve f_{ES} den oluşan 8 adet kinetik ve stokiyometrik katsayının doğru olarak saptanması gerekmektedir. Beş ayrı set halinde yürütülen deneysel çalışma sonucu $\hat{\mu}_H$ için 3.1 gün^{-1} , Y_H için $0.77 \text{ g hücre KOI'si/g KOI}$ ve b_H için 0.11 gün^{-1} değeri elde edilmiştir. Deneylere ait detaylar Ek bölümünde sunulmaktadır. İnert KOI deneyleri; 0.10 'a karşılık gelen $f_{ES} = Y_{SP}/Y_H$ değerlerini ve $Y_{SP} = S_P/C_S$ oranının 0.08 olduğunu göstermektedir. f_{EX} için ise 0.2 değeri uyarlanmıştır.

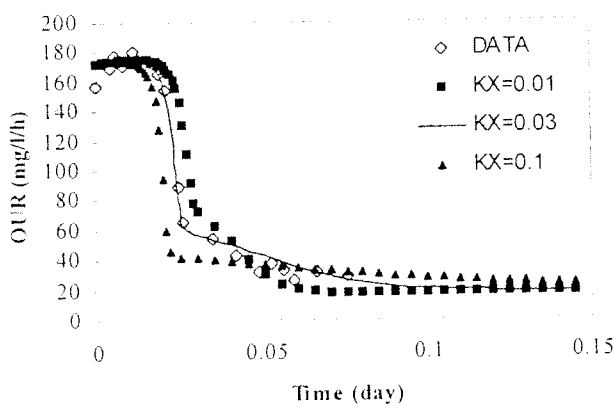
5 farklı atıksu numunesi için elde edilen oksijen tüketim hızı (OTH) profilleri, saptanan kinetik ve stokiyometrik katsayılar kullanılarak model kalibrasyonuna tabi tutulmuştur. OTH profilleri esas olarak hidroliz için en uygun hidroliz hız sabitlerinin bulunması açısından kalibre edilmiştir. Atıksuyun ayrışmasının tekli hidroliz mekanizmasına göre davrandığı belirlenmiştir. Maksimum spesifik hidroliz hızı, $k_h = 1.9 \text{ gün}^{-1}$, ve hidroliz yarı doyumluk sabiti $K_X = 0.03 \text{ g KOI(g hücre KOI'si)}^{-1}$ değerleri için deneysel OTH profillerine en uygun eğrilerin elde edildiği gözlemlenmiştir. Sözüedilen hidroliz katsayıları literatürde nişastanın hidrolizi için verilen değer aralığı ile uyumludur (San Pedro ve diğerleri, 1994). Yarı doyumluk katsayısı, $K_S = 7 \text{ mg l}^{-1}$ olarak saptanmıştır. Birinci setin OTH profili üzerinde model simülasyonu ve k_h and K_X için, hassasiyet analizi Şekil 2.18 ve 2.19'da sunulmaktadır.



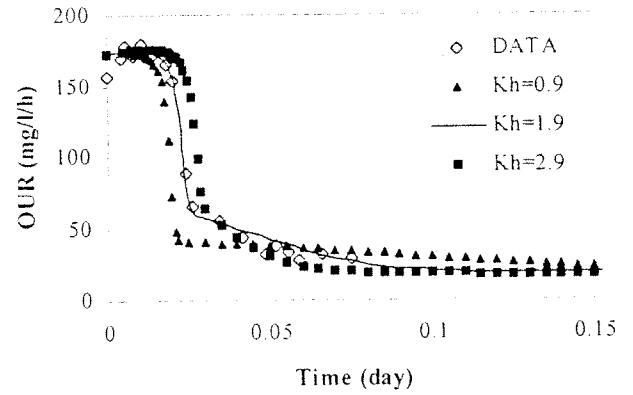
Şekil 2.18. OTH profili Model Simülasyonu

Şekil 2.19 a'da görüldüğü gibi ilk aşamada maksimum spesifik hidroliz hızı k_h , 1.9 gün^{-1} değerinde sabit tutulurken; hidroliz yarı doyumluk katsayısı, K_X 0.01 , 0.03 , $0.1 \text{ g KOI (g hücre KOI'si)}^{-1}$ aralığında değiştirilmiş ve sonuçta deneysel OTH profiline en uygun K_X 'in $0.03 \text{ g KOI (g hücre KOI'si)}^{-1}$ değeri olduğu onaylanmıştır. Öte yandan benzer bir sağlama Şekil 2.19 b'den izlenebileceği üzere maksimum spesifik hidroliz hızı k_h üzerinde de

gerçekleştirilmiştir. Bu defa hidroliz yarı doygunluk katsayısı, K_X , 0.03 g KOİ (g hücre KOİ'si)⁻¹ değerinde sabit tutulmuş ve maksimum spesifik hidroliz hızı k_h 0.09, 1.9, 2.9 gün⁻¹ aralığında değiştirilmiştir. Elde edilen sonuç maksimum spesifik hidroliz hızı, k_h değerinin 1.9 gün⁻¹ olması gereğini ortaya koymuş ve daha önce saptanan bu katsayı değerini sağlamıştır.



(a)



(b)

Şekil 2.19. Hidroliz Katsayıları Tahmininin Hassasiyeti

- (a) Hidroliz Yarı Doygunluk Katsayısı, K_X [$k_h=1.9$ gün⁻¹, $K_X=0.01, 0.03, 0.1$ g KOİ (g hücre KOİ'si)⁻¹]
(b) Maksimum Spesifik Hidroliz Hızı, k_h [$K_X=0.03$ g KOİ (g hücre KOİ'si)⁻¹; $k_h=0.09, 1.9, 2.9$ gün⁻¹]

BÖLÜM 3: SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İlk aşamada mısır tanelerinden mısır özü, lif, gluten ve nişasta sütü; bunu izleyen ikinci aşamada ise, ilk aşamada elde edilen nişasta sütünden glukoz, modifiye nişasta ürünleri, kuru nişasta ve dekstrin üretimi yapan bir yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi atıksularının arıtılabilirliğinin incelendiği bu araştırma çalışmasında aşağıda özetlenen sonuçlara varılmıştır.

- İncelenen endüstriyel atıksu, %85'i çözünmüş formda olmak üzere yaklaşık 4000 mg/l KOİ içeriğine sahip kuvvetli nitelikli bir atıksudur. Benzer endüstriyel atıksular ve evsel atıksulardan çok daha yüksek düzeyde saptanan BOİ₅/KOİ oranının ortalama 0.73 değerini alması, atıksuyun biyolojik olarak ayrışabileceğinin bir göstergesidir.
- Sözüedilen atıksular yüksek organik madde içerdiklerinden biyolojik prosesler kullanılarak arıtılırlar. Ancak arıtımın aerobik veya anaerobik sistemlerden hangisinin uygulanması ile gerçekleştirilmesi gerektiği, atıksuda varolan inert organik madde ve biyolojik arıtım sırasında ortama bırakılan inert nitelikli metabolik ürün düzeylerinin aerobik ve anaerobik koşullar altında saptanması ve elde edilen sonuçların deşarj standartları doğrultusunda değerlendirilmesiyle ortaya konabilir. Bu çerçevede gerçekleştirilen deneysel çalışmada aerobik biyolojik arıtma sonucunda atıksuyun %9 oranında çözünmüş inert KOİ içerdiği belirlenmiştir. Oluşan inert KOİ'nin tümünün aerobik arıtım sırasında üretilen metabolik ürünlerden meydana geldiği ve atıksuda başlangıçta inert nitelikli organik madde bulunmadığı tesbit edilmiştir. Öte yandan anaerobik arıtım sonucu atıksuyun toplam KOİ'sinin %14'e varan düzeylerde inert KOİ olarak çıkış atıksuyunda bulunduğu gözlemlenmiştir. Yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi atıksuları üzerinde ilk defa yürütülen bu araştırma verileri uyarınca, arıtılmış atıksu KOİ kalitesi açısından aerobik arıtmanın anaerobik arıtmaya göre daha iyi sonuç verdiği kanıtlanmıştır.
- Aerobik arıtma sistemleri içinde yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi atıksularının arıtımında yaygın kullanıma sahip olan aktif çamur sistemlerinin tasarımı, yeni çevre biyoteknolojisi anlayışı doğrultusunda çok bileşenli modeller yardımıyla gerçekleştirilmekte, böylelikle hem yüksek arıtma verimleri sağlanmakta, hem de tesislerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri azaltılmaktadır. Diğer yandan doğru tasarım ve işletme, ancak doğru şekillendirilmiş kavramsal yaklaşıma dayalı sağlıklı belirlenmiş atıksu karakterizasyonu ve kinetik ve stokiyometrik katsayılara ve tüm bunlar üzerine kurulu modellemeye bağlı olarak yürütülebilir. Çok bileşenli modellemede, kinetik ve stokiyometrik büyüklükler ve arıtılabilirlik esaslı; inert, kolay ayrışabilir, yavaş ayrışabilir, çözünmüş ve partiküler organik madde bileşenlerini içeren detaylı bir atıksu karakterizasyonu girdisi sağlanmalıdır. Bu noktadan hareketle, incelenen yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi atıksularının aerobik koşullar altında çoğu çözünmüş formda yüksek düzeyde biyolojik olarak ayrışabilir organik maddeleri içerdiği belirlenmiştir. Diğer endüstriyel atıksulardan farklı olarak bu atıksuların kolay ayrışabilir KOİ ve hızlı hidroliz olan KOİ bileşenleri, toplam KOİ'nin %90'nını oluşturmaktadır. Proses kinetiğine ilişkin deneysel sonuçlar tipik değerler ortaya koymaktadır. Substrat kullanımında yavaş ayrışabilir KOİ'nin hidrolizi hız kısıtlayıcıdır. Yavaş ayrışabilir KOİ'nin hidrolizinin nişastanın hidrolizi için verilen değerlere uyumlu olduğu saptanmıştır ve bu değer 1.9 gün⁻¹lük k_h ile karakterize edilebilir. Atıksuyun yüksek

düzeyde ayrışabilir niteliğine rağmen, aerobik arıtma çıkışının KOİ içeriğinin yüksek olması arıtım sırasında üretilen inert metabolik ürünlerden kaynaklanmaktadır.

- Benzer deneysel çalışmaların biyolojik olarak arıtılması düşünülen diğer endüstriyel atıksulara da uygulanarak, belirlenecek arıtma alternatiflerine ilişkin sağlıklı bir veri tabanının oluşturulması önerilmektedir. Bu çalışmada uygulanan ve doğruluğu uluslararası bilimsel platformlarda kanıtlanmış deneysel yöntemlerle elde edilecek endüstriyel atıksulara yönelik böylesi bir veri tabanının ortaya konması arıtma tesislerinin doğru tasarımı ve verimli şekilde işletilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- BLANCHARD P. H., *Technology of Corn Wet Milling*, Industrial Chemistry Library, Vol. 4, Elsevier, (1992), Pp: 535.
- DOLD P. L., Ekama G. A., Marais G. v. R., A General model for the Activated Sludge Process, *Prog. Wat. Technol.*, 12, 47-77, (1980).
- EKAMA G. A., Dold P. L. and Marais G. v. R., Procedures for Determining Influent COD Fractions and the Maximum Specific Growth Rate of Heterotrophs in Activated Sludge Systems, *Wat. Sci. Tech.* 18, 6, 91-114, (1986).
- EREMEKTAR G., Germirli Babuna F. and Orhon D., Inert COD fractions in two-stage treatment of a pulp and paper mill effluent, *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 72, 7, (1998).
- FUCHS C. B. and Wendling T. E., Corn Starch Wastewater and the Anaerobic Fluidized Bed: A Perfect Match. Proc. 1993 Food Ind. Env. Conf., Georgia Inst. of Tech., Atlanta, Ga., (1993), Pp: 149
- FUCHS, C. B. and Wendling T. E., The Anaerobic Fluidized Bed: Direct Operating Experience, Proc. 1994 Food Ind. Env. Conf., Ga. Tech. Res. Inst., Atlanta, Ga., (1994), Pp: 47.
- GERMIRLI F., Orhon D. and Artan N., Assessment of the Initial Inert Soluble COD in Industrial Wastewaters, *Wat. Sci. Tech.* 23, 4-6, 1077-1086, (1991).
- GERMIRLI F., Bortone G., Orhon D. and Tilche A., Fate of residuals in nitrification-denitrification treatment of piggery wastewaters, *Biores. Tech.*, 45, 205, (1993a).
- GERMIRLI F., Orhon D., Artan N., Ubay E. and Görgün E., Effect of two-stage treatment on the biological treatability of strong industrial wastewaters, *Wat. Sci. Tech.*, 28, 145, (1993b).
- GERMIRLI BABUNA F., Orhon D., Ubay Çokgör E., Insel G., Yapraklı B., Modelling of Activated Sludge for Textile Wastewaters, *Wat. Sci. Tech.*, 38, 4-5, 9-17, (1998a).
- GERMIRLI BABUNA F., Ince O., Orhon D. and Şimşek A., Assessment of inert COD in pulp and paper mill wastewater under anaerobic conditions, *Wat. Res.*, 32, 11, 3490-3494, (1998).
- GERMIRLI BABUNA F., Soyhan B., Eremektar G., Orhon D., Evaluation of Treatability for Two Textile Mill Effluents, *Wat. Sci. Tech.*, 40, 1, 145-152, (1999).
- HENZE M., Nitrate versus Oxygen Utilization Rates in Wastewater and Activated Sludge, *Wat. Sci. Tech.* 18, 6, 115-122, (1986).
- HENZE M., Grady C. P. L. Jr., Gujer W., Marais G. v. R. and Matsuo T., Activated Sludge Model No.1, IAWPRC Scientific and Technical Report No. 1, IAWPRC, London. (1987)
- HENZE M., Characterization of Wastewater for Modelling of Activated Sludge Processes, *Wat. Sci. Tech.*, 25, 6, 1-15, (1992).
- HOWGRAVE-GRAHAM A. R., Isherwood H. I. and Wallis F. M., Evaluation of two upflow anaerobic digesters purifying industrial wastewaters high in organic matter, *Wat. Sci. Tech.*, 29, 9, 225-229, (1994).
- INCE O., Germirli Babuna F., Kasapgil B. and Anderson G. K., Experimental determination of the inert COD fraction of a brewery wastewater under anaerobic conditions, *Environ. Tech.*, 19, 437, (1998).

ISO, *Water Quality-Determination of the Chemical Oxygen Demand*, Ref. No. ISO 6060, (1986).

KAPPELER J. and Gujer W., Estimation of Kinetic Parameters of Heterotrophic Biomass Under Aerobic Conditions and Characterization of Wastewater for Activated Sludge Modelling, *Wat. Sci. Tech.*, 25, 6, 125-139, (1992).

LANTING J. and Jordan J. A., Operating Experience with a New Anaerobic Expanded Bed Wastewater Treatment Process at a Grain Processing Plant, Proc. 51st Ind. Waste Conf., Purdue Univ., West Lafayette, Indiana, USA, (1996), Pp: 333.

MAY, J. B., Wet milling: process and products, in *Corn Chemistry and Technology*, ed: S. A. Watson and P.E. Ramstad, American Association of Cereal Chemists Inc., St Paul, Minnesota, USA, (1994), Pp: 377.

METCALF and Eddy, *Wastewater Engineering- Treatment Disposal Reuse*, Mc Graw Hill, New York, (1981).

MIDDLEBROOKS E. J., *Industrial Pollution Control, Volume 1: Agro Industries*, John Willey and Sons Inc., (1979), Pp: 445.

NEMEROW N. L. and Dasgupta A., *Industrial and Hazardous Waste Treatment*, Environmental Engineering Series, (1991), Pp: 743.

ORHON D. and Artan N., *Modelling of Activated Sludge Systems*, Technomic Press, Lancaster, PA. (1994), Pp: 589.

ORHON D., Artan N. and Ateş E., A Description of Three Methods for the Determination of the Initial Inert Particulate Chemical Oxygen Demand of Wastewater, *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 61, 73-80, (1994a).

ORHON D., Sözen S. and Ubay E., Assessment of Nitrification-Denitrification Potential of Istanbul Domestic Wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, 30, 6, 21-30, (1994 b).

REICHERT P., AQUASIM-A tool for simulation and data analysis for aquatic systems, *Wat. Sci. Tech.*, 30, 2, 21-30, (1994)

SAN PEDRO D.C., Mino T. and Matsuo T., Evaluation of the rate of hydrolysis of slowly biodegradable COD (SBCD) using starch as substrate under anaerobic, anoxic and aerobic conditions, *Wat. Sci. Tech.*, 30, 11, 191-199, (1994)

SÖZEN, S., *Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon Kinetiğinin Deneysel Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, İ.T.Ü, (1995).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edn, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA, (1998).

UBAY ÇOKGÖR E. *Respirometric evaluation of process kinetic and stoichiometry for aerobic systems*, Ph.D. Thesis, Istanbul Technical University, (1997).

WATSON S. A. and Ramstad P. E., *Corn Chemistry and Technology*, Chapter 12, American Association of Cereal Chemists, Inc., (1994), Pp: 605.

EKLER

A. 1 KOİ BİLEŞENLERİNİN BELİRLENMESİ

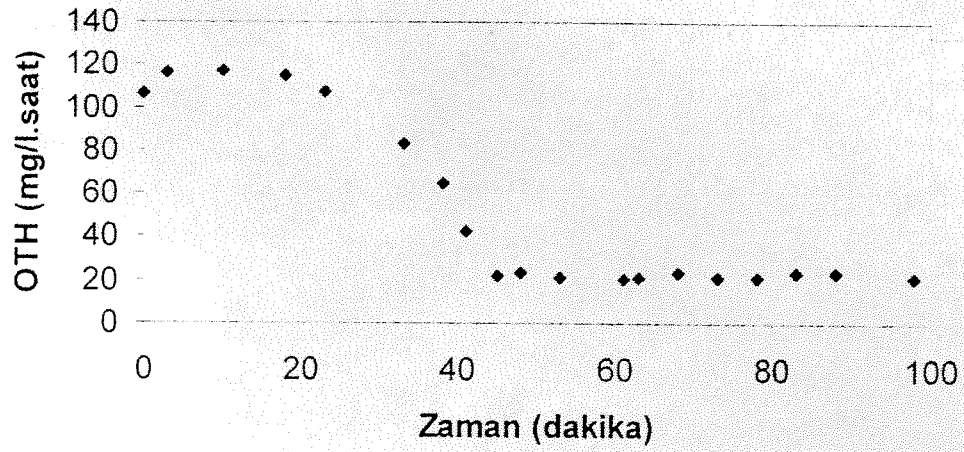
A.1.1 Kolay Ayırılabilir KOİ Bileşeninin (S_{S0}) Belirlenmesi

[NUMUNE 4]

Islak mısır endüstrisi atıksuyu numunesinden 100 ml alınarak hazırlanan reaktöre 3 ml besi maddesi çözeltisi ve nitrifikasyon inhibitörü eklenmiş, reaktör 100 ml aşı çamuru ilave edilerek çalıştırılmıştır. Deneysel olarak elde edilen OTH değerleri Tablo A.1'de ve OTH-zaman grafiği Şekil A.1'de verilmiştir.

Tablo A.1 Deneysel OTH sonuçları
(NUMUNE 4)

Zaman (dakika)	OTH (mg/l.sa)
0	106.2
3	116.4
10	117
18	115.2
23	107.4
33	82.8
38	64.8
41	42.6
45	22.2
48	23.4
53	21.6
61	20.4
63	21.6
68	23.4
73	21
78	21
83	23.4
88	23.4
98	21.6



Şekil A.1 OTH'nın Zamanla Değişimi
(NUMUNE 4)

OTH grafiğinden ilk 45 dakika için hesaplanan oksijen tüketimi : $\Delta O = 53 \text{ mg/l'}$ dir.

Bu durumda kolay ayrışabilir KOİ, S_5 , aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$S_{50} = \frac{\Delta O}{1 - Y_H} = \frac{53}{1 - 0,77} = 230.4 \text{ mg /l}$$

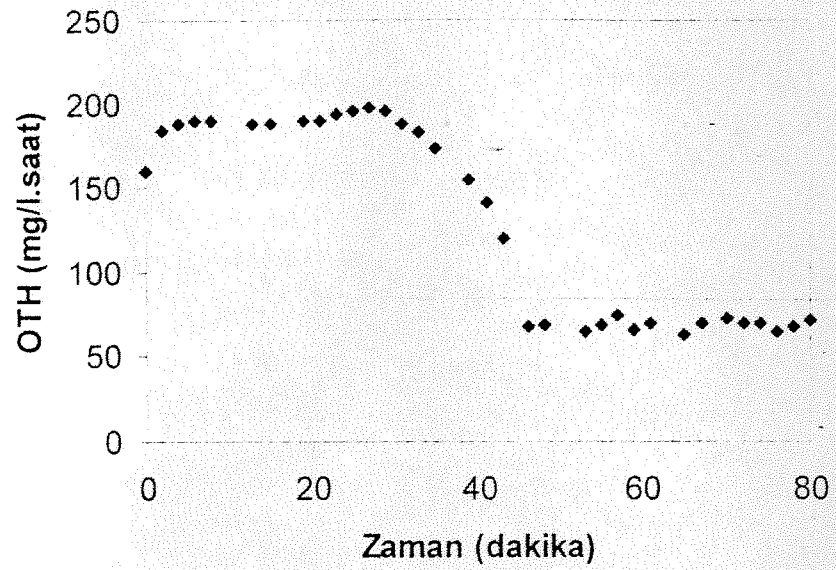
Gerekli hacim düzeltmeleri yapıldığında 5065 mg/l'lik KOİ'ye sahip atıksuyun kolay ayrışabilir KOİ'si 2304 mg/l olarak hesaplanmıştır.

[NUMUNE 6]

Toplam KOİ değeri 3535mg/l olan atıksu numesinden 250 ml alınarak hazırlanan reaktöre 15 ml besi maddesi çözeltisi ve nitrifikasyon inhibitörü eklenmiş, reaktör 200 ml aşı çamuru ilave edilerek çalıştırılmıştır. Deneysel olarak elde edilen OTH değerleri Tablo A.2'de ve OTH-zaman grafiği Şekil A.2'de verilmiştir.

Tablo A.2 Deneysel OTH sonuçları
(NUMUNE 6)

Zaman (dakika)	OTH (mg/l.saad)
0	159.6
2	184.2
4	188.1
6	189.6
8	190.2
13	187.8
15	188.4
19	190.2
21	189.6
23	194
25	196.2
27	197.4
29	196.2
31	187.8
33	183.6
35	173.4
39	155.4
41	141.6
43	120.6
46	67.8
48	68.4
53	64.8
55	69
57	75
59	65.7
61	70.2
65	63
67	69.9
70	72.6
72	70.2
74	69.3
76	64.8
78	67.5
80	72



Şekil A.2 OTH'nın Zamanla Değişimi
(NUMUNE 6)

OTH grafiğinden ilk 46 dakika için hesaplanan oksijen tüketimi : $\Delta O = 85 \text{ mg/l'}$ dir.

Bu durumda kolay ayrışabilir KOİ, S_S , aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$S_{S0} = \frac{\Delta O}{1 - Y_H} = \frac{85}{1 - 0,77} = 370 \text{ mg /l}$$

Gerekli hacim düzeltmeleri yapıldığında 3535 mg /l'lik KOİ'ye sahip atıksuyun kolay ayrışabilir KOİ'si 1480 mg/l olarak hesaplanmıştır.

A.1.2 İnert KOİ Bileşenlerinin (S_{II} ve X_{II}) ile Oluşan Metabolik Ürün Fraksiyonlarının (f_{ES} ve f_{EX}) Belirlenmesi

[NUMUNE 6] ile yürütülen inert KOİ deneylerine ait KOİ sonuçları Tablo A.3'de özetlenmiştir.

Tablo A.3 İnert KOİ Bileşenlerinin Belirlenmesi Deneyi Sonuçları (NUMUNE 6)

KOİ (mg/l)	Ham Atıksu Reaktörü	Süzülmüş Atıksu Reaktörü	Glikoz Reaktörü
Toplam KOİ (C_{TI})	3407	-	-
Süzülmüş KOİ (S_{TI})	3012	3012	1066
Nihai Toplam KOİ ($S_T + X_T$)	495	275	-
Nihai Süzülmüş KOİ (S_T)	325	175	140

Bu sonuçlara göre elde edilen KOİ bileşenleri aşağıdaki gibidir:

$$C_{TI} = 3407 \text{ mg/l}$$

$$S_{TI} = 3012 \text{ mg/l}$$

$$S_{GI} = 1066 \text{ mg/l}$$

$$(C_T)_I = 495 \text{ mg/l}$$

$$(S_T)_I = 325 \text{ mg/l}$$

$$(C_T)_2 = 275 \text{ mg/l}$$

$$(S_T)_2 = 175 \text{ mg/l}$$

$$(S_P)_G = 140 \text{ mg/l}$$

S_{II} ve f_{ES}

Çözünmüş inert KOİ içermeyen glikoz reaktöründe, kalan çözünmüş KOİ, yalnızca çözünmüş metabolik ürünlerin KOİ'sini, $(S_P)_G$, yansıtacağından, f_{ES} stokiyometrik sabiti aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir:

$$f_{ES} = \frac{1}{Y_H} \frac{(S_P)_G}{S_{GI}} = \frac{140}{0.77 * 1066} = 0.17$$

Bu deney sonuçları ile çözünmüş inert KOİ, S_{II} , aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

Çözünmüş inert KOİ,

$$S_{II} = \frac{(S_T)_2 - f_{ES} Y_H S_{TI}}{(1 - f_{ES} Y_H)} = \frac{175 - 0.13 * 3012}{1 - 0.13} \cong 0$$

f_{EX}

f_{EX} stokiyometrik parametresi de aşağıdaki denklem yardımı ile bulunur.

$$(X_P)_2 = (C_T)_2 - (S_T)_2 = 275 - 175 = 100 \text{ mg/l}$$

$$S_{SI} = S_{TI} - S_{II} = 3012 - 0 = 3012 \text{ mg/l}$$

$$Y_{XP} = 100 / 3012 = 0.03$$

$$f_{EX} = Y_{XP} / Y_H = 0.03 / 0.77 = 0.04$$

X_{II}

$$(X_T)_I = (C_T)_I - (S_T)_I = 495 - 325 = 170 \text{ mg/l}$$

$$X_{II} = \frac{(X_T)_I - f_{EX} Y_H (C_{TI} - S_{II})}{(1 - f_{EX} Y_H)} = \frac{170 - 0.03 * (3407 - 3012)}{(1 - 0.03)}$$

$$X_{II} = 158 / 0.97 = 163 \text{ mg/l}$$

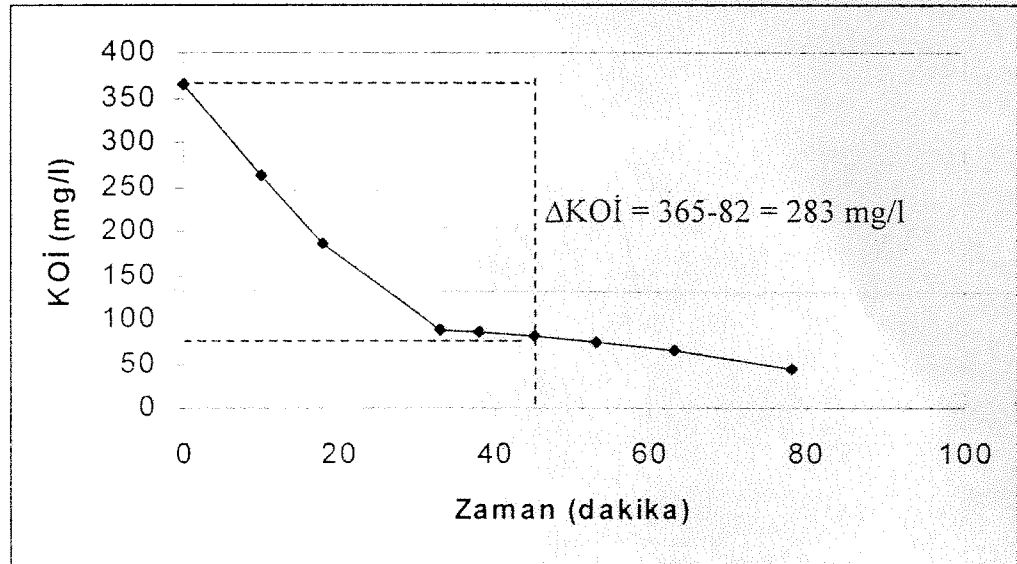
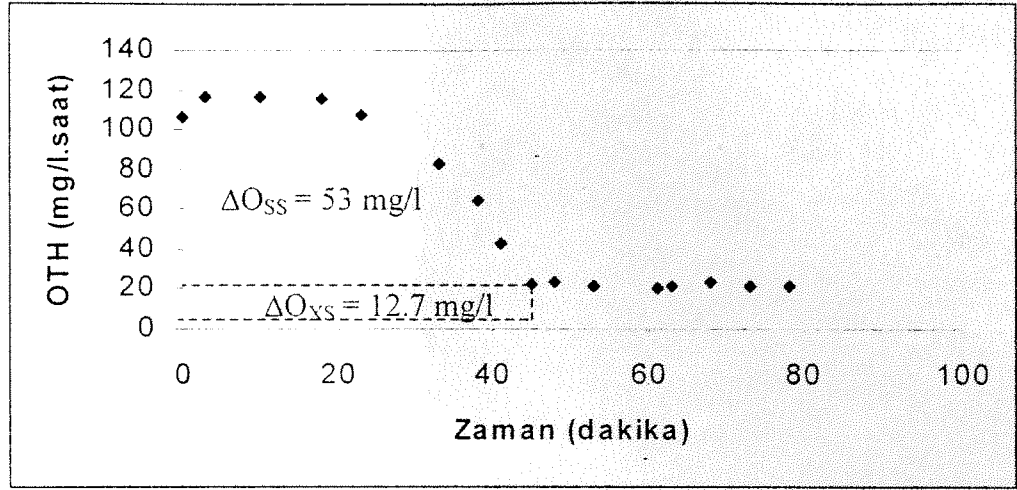
A.2 KİNETİK VE STOKİYOMETRİK KATSAYILARIN BELİRLENMESİ

A.2.1 Y_H 'ın Belirlenmesi

Heterotrofik dönüşüm oranı Y_H 'ın, bulunması için, atıksuda kolay ayrışabilen organik maddenin (S_S) belirlenmesi sırasında ölçülen OTH ve süzölmüş KOİ değeri kulanılır. OTH ve süzölmüş KOİ değeriinin zamana göre değışimi sırasıyla Tablo A.4 ile Şekil A.3 a ve A.3 b'de verilmektedir.

Tablo A.4 Deneysel OTH ve KOİ sonuçları
(NUMUNE 4)

Zaman (dakika)	OTH (mg/l/saat)	KOİ (mg/l)
0	106.2	365
3	116.4	
10	117	262
18	115.2	185
23	107.4	
33	82.8	89
38	64.8	87
41	42.6	
45	22.2	82
48	23.4	
53	21.6	74
61	20.4	
63	21.6	64
68	23.4	
73	21	
78	21	45



Şekil A.3 Y_H Belirlenmesi (NUMUNE 4)

a) OTH Profili b) Süzülmüş KOİ Profili

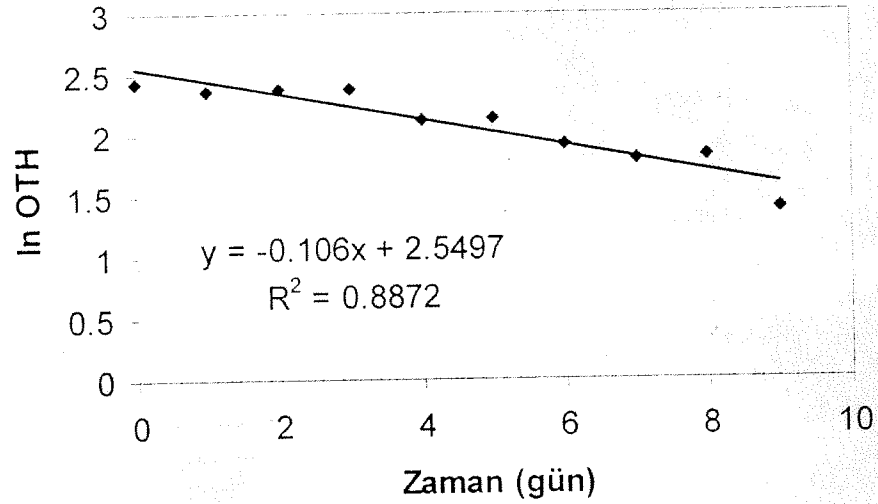
Bu grafiklerdeki , ΔO_{ss} , ΔO_{xs} ve $\Delta KOİ$ değerleri $Y_H = 1 - \frac{\Delta O_{ss} + \Delta O_{xs}}{\Delta KOİ}$ bağıntısında yerine konulduğunda $Y_H = 0.77$ gKOİ/gKOİ olarak bulunmuştur.

A.2.2 b_H 'ın Belirlenmesi

İçsel solunum hızının belirlenmesi için zamana karşı ölçülen OTH değerleri kullanılır. Bu OTH değerlerinin (Tablo A.5) logaritmaları alınarak zaman göre grafiği çizilirse, bu grafiğin eğimi b_H değerir. Bu grafik Şekil A.4'de verilmiştir.

Tablo A.5 Deneysel OTH sonuçları
(NUMUNE 3)

Zaman (gün)	OTH (mg/l/saat)	$\ln [OTH_t/OTH_0]$
0	11.4	2.433613
1	10.6	2.360854
2	10.8	2.379546
3	10.8	2.379546
4	8.3	2.116256
5	8.5	2.140066
6	6.8	1.916923
7	6	1.791759
8	6.2	1.824549
9	4	1.386294



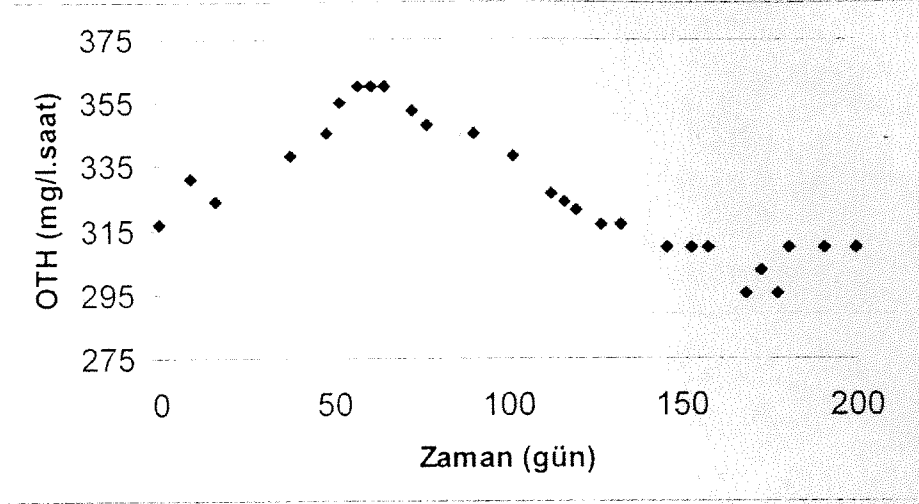
Şekil A.4 b_H 'ın Belirlenmesi
(NUMUNE 3)

A.3 $\hat{\mu}_H$ 'ın Belirlenmesi

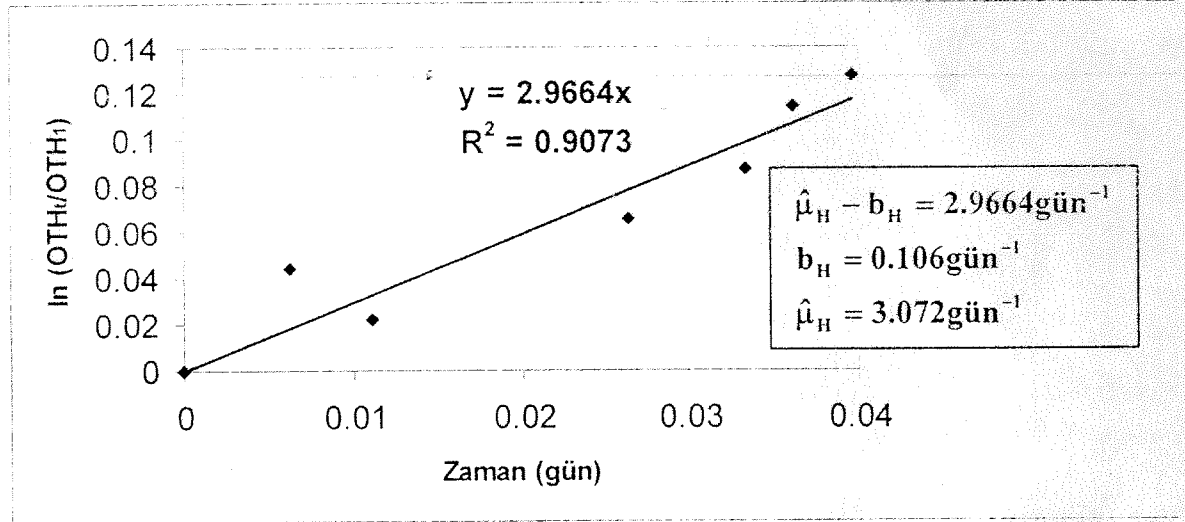
$\hat{\mu}_H$ 'ın belirlenmesi için OTH'ın zamanla değişimini gösteren Şekil A.5'deki grafik kullanılır. Ölçülen OTH değerleri (Tablo A.6) kullanılarak deney başlangıcında maksimum hızla oluşan çoğalma ile artan OTH değerleri için çizilen $\ln(\frac{OTH_t}{OTH_0})$ 'ın zamana göre değişimini veren grafiğin (Şekil A.6) eğimi ($\hat{\mu}_H - b_H$)'tır.

Tablo A.6 Deneysel OTH sonuçları
(NUMUNE 5)

Zaman (gün)	OTH (mg/l/saat)	$\ln [OTH_t/OTH_0]$
0	13.2	0
9	13.8	0.044451763
16	13.5	0.022472856
38	14.1	0.065957968
48	14.4	0.087011377
52	14.8	0.114410351
57	15	0.127833372
61	15	
65	15	
73	14.7	
77	14.5	
91	14.4	
102	14.1	
113	13.6	
117	13.5	
120	13.4	
127	13.2	
133	13.2	
146	12.9	
153	12.9	
158	12.9	
169	12.3	
173	12.6	
178	12.3	
181	12.9	
191	12.9	
200	12.9	



Şekil A.5 OTH grafiği
(NUMUNE 5)



Şekil A.6 $\mu_H - b_H$ 'in Belirlenmesi
(NUMUNE 5)

Şekil A.6'da da görüldüğü gibi grafiğin eğimi 2.9664 gün^{-1} $\mu_H - b_H$ değerini verir. μ_H ve b_H 'in belirlenebilmesi için deneysel olarak elde edilen b_H değeri 0.106 gün^{-1} olduğundan, $\mu_H = 3.1 \text{ gün}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU

1. Proje No: YDABÇAG-100Y051	2. Rapor Tarihi: 18 / 01 / 2002
3. Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 1 / 08 / 2000 - 1 / 08 / 2001	
4. Projenin Adı: Yaş Yöntemle Mısır Öğütme Atıksularının Arıtılabilirliği	
5. Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Proje Yürütücüsü: Doç. Dr. Gülen Eremektar Yardımcı Araştırmacılar: Özlem Karahan-Gül, Prof. Dr. Fatoş Germirli-Babuna, Dr. Süleyman Övez, Prof. Dr. Derin Orhon, Hakan Dulkadiroğlu, Hıjlal Üner	
6. Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 80626 Maslak, İstanbul	
7. Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: -	
8. Özet (Abstract): Yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi yüksek düzeyde kirlenici içeren atıksular ürettiğinden, çevre kirliliği açısından önemli endüstriler kapsamındadır. Bu araştırma çalışmasında ilk aşamada mısır tanelerinden mısır özü, lif, gluten ve nişasta sütü; ikinci aşamada ise ilk aşamada elde edilen nişasta sütünden glukoz, modifiye nişasta ürünleri, kuru nişasta ve dekstrin üretimi yapan bir endüstri atıksularının arıtılabilirliği incelenmiştir. Günümüzde çevre biyoteknolojisi anlayışı atılım içerisinde. Bu yeni gelişim özellikle çok bileşenli modelleme yaklaşımları ve buna bağlı atıksu karakterizasyonu ve arıtılabilirlik kavramlarında kendini göstermektedir. Evsel atıksular için tanımlanmış ve denenmiş olan yeni biyoteknoloji yaklaşımları bu çalışma kapsamında, yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi atıksularına uygulanmıştır. Atıksular genellikle biyolojik arıtılabilirlik açısından miktarda çok geniş aralıkta değişen organik maddeleri içerir. Özellikle yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi gibi endüstriyel kaynaklı atıksularda, atıksu karakterizasyonunun doğru olarak yapılması, diğer bir deyişle substrat bileşenlerinin sağlıklı saptanması, biyolojik arıtılabilirlik sonuçlarının yanlış yorumlanmasına yol açacağından büyük önem taşır. Yüksek organik madde içeren yaş yöntemle mısır öğütme endüstrisi atıksuları anaerobik sistemler ve aerobik aktif çamur prosesleri kullanılarak arıtılırlar. Aerobik ve anaerobik sistemlerden hangisinin arıtmada daha iyi sonuç vereceğinin irdelenmesi deşarj standartlarının sağlanmasında öncelik kazanmaktadır. Bu açıdan atıksuda varolan inert organik madde ve biyolojik arıtım sırasında ortama bırakılan inert nitelikli metabolik ürünlerin düzeylerinin aerobik ve anaerobik koşullar altında saptanması sistem seçiminde etkin olacaktır. Öte yandan, biyoteknoloji alanındaki son kavramsal gelişmelere göre, aktif çamur arıtma tesisi verimlerinin öngörülmesinde inert ve yavaş ayrışan substrat bileşenlerinin miktarlarının saptanması, kolay ayrışabilir substratın kinetiğinden daha önemli hale gelmiştir. Bu gelişmeler modelleme anlayışına da yansımaktadır. Arıtma kinetiğinin substrat ve biyokütleden oluşan iki bileşenli matematik modeller ile ifade edilmesi son yıllarda geçerliliğini yitirmiştir. Günümüzde yeni çok bileşenli modelleme yaklaşımları uygulanmaktadır. Yeni yaklaşıma göre atıksu karakterizasyonunun inert, yavaş ayrışan (yavaş ve hızlı hidroliz olabilen) ve hızlı ayrışan organik madde bileşenlerini içermesi ve tasarımı kullanılacak stokiyometrik ve kinetik parametrelerin doğru belirlenmesi gerekmektedir. Bu çerçevede projenin amacı sözüedilen endüstriden kaynaklanan atıksu örneklerinde; proses profili, konvansiyonel atıksu karakterizasyonu ve kirlenme profilinin çıkarılmasının yanısıra, aerobik ve anaerobik koşullar altında atıksuda varolan inert organik madde ve biyolojik arıtım sırasında ortama bırakılan inert nitelikli metabolik ürünlerin düzeylerinin saptanması; çok bileşenli aktif çamur modellemesine olanak tanıyacak karakterizasyon yaklaşımı içinde, inert, yavaş ve hızlı ayrışan organik madde bileşenlerinin ve kinetik ve stokiyometrik katsayıların deneysel yöntemlerle ve karbon giderimine yönelik bilgisayar destekli modelleme aracılığı ile saptanmasını içermektedir. Çalışma sonuçları incelenen endüstride çevre kirliliği kontrolü açısından alınacak önlemlere ışık tutacak niteliktedir. Anahtar Kelimeler: Aktif Çamur Sistemleri, Yaş Yöntemle Mısır Öğütme Endüstrisi, Atıksu, Biyolojik Arıtılabilirlik, Modelleme.	
9. Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler:	
G. Eremektar, Ö. Karahan-Gül, F. Germirli-Babuna, H. Üner, S. Övez, D. Orhon, "Biological Treatability of a Corn Wet Mill Effluent", Proceedings of 5 th International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries, IWA, Agro 2001, 377-384, 16-18 Kasım 2001, Shiga, Japonya. (bu tebliğ ayrıca Water Science & Technology dergisinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir)	
10. Bilim Dalı:	ISIC Kodu:
Doçentlik B. Dalı Kodu:	
Uzmanlık Alanı Kodu:	
11. Dağıtım (*)	☐ Sınırlı ☒ Sınırsız
12. Raporun Gizlilik Durumu:	☐ Gizli ☒ Gizli Değil