

68885

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GLUKOZLA BESLENEN KESİKLİ REAKTÖRLERDE
ORGANİK YÜKLEMENİN AYRIŞMA KİNETİĞİ
VE KALICI ÜRÜN OLUŞUMU ÜZERİNE ETKİSİ

DOKTORA TEZİ

Çevre Y.Müh. Seval Kutlu AKAL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20 Ekim 1997

Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Aralık 1997

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Hasan Ali SAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Yılmaz MUSLU

Prof.Dr. Hasan Zuhuri SARIKAYA

Prof.Dr. Ferruh ERTÜRK

Prof.Dr. Ahmet Mete SAATÇI

[Signature] 20.10.1997

[Signature] 18.12.1997

[Signature] 22.12.97

[Signature] 18.12.1997

[Signature] 18.12.1997

ARALIK -1997

ÖNSÖZ

Ülkemizde büyük bir kullanım alanına sahip olan sularımız evsel ve endüstriyel kaynaklı atıklar ile sürekli olarak kirlenmekte, doğal verimlilik ve özelliklerini yitirmektedirler. Bu olumsuz evre önlem alınmadığı takdirde, büyük boyutlu ekonomik ve çevre sağlığı sorunlarına yol açacaktır.

Bu nedenle, çevre kirlenmesini önlemeye yönelik her türlü çalışmanın mutlaka desteklenmesi gerekir. Bu doktora çalışması da biyolojik arıtma konusu esas alınarak bazı noktaların aydınlatılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın yürütülmesi ve yönlendirilmesindeki değerli katkıları, çalışma boyunca gösterdiği ilgi, teşvik ve desteği sebebiyle Sayın Hocam Prof . Dr. Hasan Ali San'a şükranlarımı arz ederim. Çalışmanın gerçekleştirildiği U.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarının Yöneticisi ve aynı zamanda Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hüseyin Savaş Başkaya'ya gösterdiği hoşgörü, verdiği destek ve sabrından dolayı teşekkür ederim. Hava Harp Okulu Bilgi İşlem Şube Müdürü Bnb. Turhan Gürgür ve BİM Personeline , Araş.Gör. Fehiman Çiner'e, Araş.Gör. Süreyya Meriç'e, Doç.Dr.Cumali Kınacı'ya, Araş.Gör. Gülen Eremektar'a ve Müzeyyen Özel'e teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde katkısı bulunan tüm arkadaşlarıma da teşekkürü borç bilirim.

Her zaman verdikleri moral ve destekten dolayı sevgili Annem'e, Babam'a , biricik kızkardeşime ve sevgili Özgür'e ayrıca teşekkür ederim .

Ekim, 1997

Seval Kutlu AKAL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No.</u>
ÖNSÖZ	ii
SEMBOL LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
BÖLÜM 2 BİYOLOJİK ARITMANIN TANIMI VE PRENSİPLERİ ...	3
2.1 Giriş	3
2.2 Aktif Çamur Sistemi	3
2.3 Aktif Çamur Sisteminde Sübstrat Giderimi, Biyolojik Çoğalma ve İnert Ürün Oluşumu	4
2.3.1 Sübstrat Giderimi	4
2.3.2 Çoğalma Mekanizması	9
2.4 Oksijen Tüketimi ve Oksijen Tüketimi Hızı	14
2.4.1 Oksijen Tüketimi	14
2.4.2 Oksijen Tüketim Hızı	14
2.5 Aktif Çamur Sisteminde Ürün Oluşumu	16
2.5.1 Aktif Çamurda Ürün Oluşumu Kinetiği	32
2.6 $F/M(=S_0/X_0)$ Oranı	41
BÖLÜM 3 AKTİF ÇAMUR SİSTEMİNDE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	47
3.1 Sübstrat Ölçüm Yöntemleri	47
3.1.1 Karbonhidrat Tayin Yöntemi (Anthrone Testi)	51
3.2 Biyokütle Ölçüm Yöntemleri	54
3.2.1 Biyokütle Ölçümünde Kullanılan Metodlar	54
3.3 Kinetik Sabitlerin Hesabına Ait Çalışmalar	56

	<u>Sayfa No.</u>
BÖLÜM 4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	64
4.1 Materyal ve Metod	64
4.1.1 Kolorimetrik Antrone Metodu ile Glukoz Ölçümü	68
4.1.1.1 Deneyin Yapılışı	70
BÖLÜM 5 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	93
5.1 Biyokütle Dönüşüm Oranı (Y) nın Hesabı	93
5.2 Maksimum Özgül Çoğalma Hızı (μ_m) ve Doygunluk Sabiti (K_S) nin Hesabı	94
5.3 Kinetik Katsayıların F/M Oranlarına Göre Değişimi	99
5.3.1 K_S 'in F/M Oranlarına Göre Değişiminin İncelenmesi	100
5.3.2 μ_m Değerlerinin F/M Oranlarına Göre Değişiminin İncelenmesi	102
5.3.3 Y Biyolojik Dönüşüm Oranı F/M'e Göre Değişimlerinin İncelenmesi	103
5.4 Kalıcı Ürün (S_R) Konsantrasyonunun Belirlenmesi	110
5.4.1 Kalıcı Ürün Konsantrasyonu (S_R) nun F/M Oranına Göre Değişiminin İncelenmesi	114
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	119
KAYNAKLAR	122
EKLER	129
ÖZGEÇMİŞ	215

SEMBOL LİSTESİ

A,B	: S_R için S_0 ' a göre değişimi veren denklem sabitleri	
F, S	: Sübstrat konsantrasyonu	M/L^3
K_i	: Enzim inhibitör kompleksinin disosiasyon sabiti	M/L^3
K_S	: Yarı doyumluk sabiti	M/L^3
M, X	: Mikroorganizma konsantrasyonu	M/L^3
P	: Oluşan ürün konsantrasyonu	M/L^3
q	: Spesifik sübstrat giderim hızı	$1/T$
R	: Korelasyon katsayısı	
S_I	: Çözünmüş inert organik madde konsantrasyonu	M/L^3
S_0	:Başlangıç sübstrat konsantrasyonu	M/L^3
S_p	: Çözünmüş metabolik ürün konsantrasyonu	M/L^3
S_R	: Kalıcı (inert) ürün konsantrasyonu	M/L^3
S_S	: Çözünmüş sübstrat konsantrasyonu	M/L^3
S_T	:Toplam çözünmüş organik madde konsantrasyonu	M/L^3
SS	: Standard sapma değeri	
X_0	: Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonu	M/L^3
Y	: Biyolojik dönüşüm oranı	
α, β	: Y için X_0 'a göre değişimini veren denklem sabitleri	
θ_c	: Çamur yaşı	T
μ	: Özgül çoğalma hızı	$1/T$
μ_m	: Maksimum özgül çoğalma hızı	$1/T$

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No.</u>
Şekil 2.1 Sübstrat giderim mekanizmasının şematik gösterilişi.	5
Şekil 2.2 On (10) bileşenli bir sübstrat modelinin heterojen bir kültür ile ayrıştırılması.	8
Şekil 2.3 Başlangıç sübstrat konsantrasyonunun kesikli reaktörlerdeki mikrobiyal gelişmenin hızı ve toplam etkilerini gösteren idealize eğriler.	10
Şekil 2.4 Spesifik çoğalma hızı μ ile sübstrat konsantrasyonu arasındaki ilişki.	11
Şekil 2.5 Monod ve Tiessier modellerinin karşılaştırılması.	12
Şekil 2.6 Monod ve Haldane çoğalma hızı eşitliklerinin karşılaştırılması.	13
Şekil 2.7 Kalıcı ürün konsantrasyonunun giriş sübstrat konsantrasyonuna göre değişimi.	19
Şekil 2.8 Sürekli sistemlerde elde edilen en düşük çıkış KOI'nin giriş KOI ile ilişkisi.	19
Şekil 2.9 İnorganik tuzlar ve 1000 mg/L Glukoz/gün (çamur atmadan) beslenen havalandırmalı kesikli reaktördeki 1-150 günler arasındaki biyokütle, çözünmüş KOI ve çözünmüş karbonhidrat konsantrasyonları.	22
Şekil 2.10 İnorganik tuzlar ve 1000 mg/L glukoz/gün (çamur atmadan) beslenen havalandırmalı kesikli reaktörlerdeki 151-300 günler arasındaki biyokütle, çözünmüş KOI ve çözünmüş karbonhidrat konsantrasyonları.	23
Şekil 2.11 İnorganik tuzlar ve 1000 mg/l glukoz/gün beslenen havalandırmalı kesikli reaktördeki 300-450 günler arasındaki biyokütle, çözünmüş KOI ve çözünmüş karbonhidrat konsantrasyonları.	23

Şekil 2.12	İnorganik tuzlar ve 1000 mg/L glukoz/gün beslenen havalandırılmalı kesikli reaktördeki 451-613 günler arasındaki biyokütle, çözünmüş KOI ve çözünmüş karbonhidrat konsantrasyonları.	24
Şekil 2.13	Peyniraltı suyun'da inert KOI'nin belirlenmesi.	26
Şekil 2.14	Genel deşarj'da inert KOI'nin belirlenmesi.	26
Şekil 2.15	Az miktarda aşı ile gerçekleştirilen deneylerde glukoz giderimi ve KOI giderimi arasındaki fark.	28
Şekil 2.16	Kesikli bir deneyde glukoz giderimi sırasında ara ürün oluşumu.	29
Şekil 2.17	Glukoz giderimi sırasında alfa-hidroksi asitlerin üretilmesi.	31
Şekil 2.18	Spesifik ürün oluşumu hızının $1/\theta_c$ ile değişimi.	34
Şekil 2.19	P/S_o değerlerinin θ_c ile değişimi.	37
Şekil 2.20	Standard parametrelerde tahmini değerleri.	38
Şekil 2.21	$F/M=0.25$ 'te basit sübstratların kesikli sistemde giderimi.	43
Şekil 2.22	$F/M=1.1$ 'de basit sübstratların kesikli sistemde giderimi.	43
Şekil 2.23	$F/M=0.65$ 'de 5 sabit sübstratın kesikli sistemde giderimi.	44
Şekil 2.24	Farklı F/M oranlarında karışık kültürler için KOI eşdeğeri cinsinden glukoz giderimi.	45
Şekil 2.25	Farklı F/M oranlarında karışık kültürler için KOI eşdeğeri cinsinden aniline giderimi.	45
Şekil 2.26	Y_{obs} ve F/M oranı arasındaki bağıntı.	46
Şekil 3.1	Bir atıksudaki toplam KOI'nin bölümleri.	49
Şekil 3.2	Bir arıtma tesisi çıkışında çözünmüş KOI'nin bölümleri.	50

Şekil 3.3	Kolorimetrik anthrone metodunda glukozun dalga boyunda değişimi.	52
Şekil 3.4	Kolorimetrik Anthrone metodunda dalga boyu yoğunluk değişimi.	53
Şekil 3.5	Kolorimetrik Anthrone metodunda kaynama süresinin etkisi.	53
Şekil 3.6	Aktif çamur sisteminde uçucu askıda katı maddelerin fraksiyonları.	54
Şekil 3.7	(3.10) eşitliği yardımıyla sübstrat giderimi modellemesinin regresyon doğrusu.	60
Şekil 3.8	Reynolds ve Yang metoduna göre Y ve K_d değerlerinin regresyon doğrusu.	61
Şekil 3.9	Kesikli sistemde zamana bağlı konsantrasyon değişimleri.	62
Şekil 4.1	Deneysel çalışmanın yürütüldüğü kesikli dörtlü reaktör seti.	65
Şekil 4.2	$F/M (=S_o / X_o)=0.2$ ($S_o=100$ mg KOI/L, $X_o=500$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.	72
Şekil 4.3	$F/M = 0.25$ ($S_o=100$ mg KOI/L, $X_o=400$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.	72
Şekil 4.4	$F/M = 0.3$ ($S_o=100$ mg KOI/L, $X_o=300$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.	73
Şekil 4.5	$F/M = 0.5$ ($S_o=100$ mg KOI/L, $X_o=200$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.	73
Şekil 4.6	$F/M = 1$ ($S_o=100$ mg KOI/L, $X_o=100$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.	74
Şekil 4.7	$F/M = 0.4$ ($S_o=200$ mg KOI/L, $X_o=500$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.	74
Şekil 4.8	$F/M = 0.5$ ($S_o=200$ mg KOI/L, $X_o=400$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.	75
Şekil 4.9	$F/M = 0.67$ ($S_o=200$ mg KOI/L, $X_o=300$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.	75

- Şekil 4.10 $F/M = 1$ ($S_o=200$ mg KOI/L, $X_o=200$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 76
- Şekil 4.11 $F/M = 2$ ($S_o=200$ mg KOI/L, $X_o=100$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 76
- Şekil 4.12 $F/M = 0.6$ ($S_o=300$ mg KOI/L, $X_o=500$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 77
- Şekil 4.13 $F/M = 0.75$ ($S_o=300$ mg KOI/L, $X_o=400$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 77
- Şekil 4.14 $F/M = 1$ ($S_o=300$ mg KOI/L, $X_o=300$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 78
- Şekil 4.15 $F/M = 1.5$ ($S_o=300$ mg KOI/L, $X_o=200$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 78
- Şekil 4.16 $F/M = 3$ ($S_o=300$ mg KOI/L, $X_o=100$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 79
- Şekil 4.17 $F/M = 0.8$ ($S_o=400$ mg KOI/L, $X_o=500$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 79
- Şekil 4.18 $F/M = 1$ ($S_o=400$ mg KOI/L, $X_o=400$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 80
- Şekil 4.19 $F/M = 1.3$ ($S_o=400$ mg KOI/L, $X_o=300$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 80
- Şekil 4.20 $F/M = 2$ ($S_o=400$ mg KOI/L, $X_o=200$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 81
- Şekil 4.21 $F/M = 4$ ($S_o=400$ mg KOI/L, $X_o=100$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 81
- Şekil 4.22 $F/M = 1$ ($S_o=500$ mg KOI/L, $X_o=500$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 82
- Şekil 4.23 $F/M = 1.25$ ($S_o=500$ mg KOI/L, $X_o=400$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 82

- Şekil 4.24 $F/M = 1.67$ ($S_0=500$ mg KOI/L, $X_0=300$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 83
- Şekil 4.25 $F/M = 2.5$ ($S_0=500$ mg KOI/L, $X_0=200$ mg MLSS/L) olan reaktör için S,C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 83
- Şekil 4.26 $F/M = 5$ ($S_0=500$ mg KOI/L, $X_0=100$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi. 84
- Şekil 4.27 $S_0=100$ mg KOI/L ve, $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 1, 0.5, 0.33, 0.25 ve 0.2 olan reaktörlerde, S sübstrat konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 85
- Şekil 4.28 $S_0=100$ mg KOI/L (sabit) ve; $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M ($=S_0 / X_0$) oranları 1, 0.5, 0.33, 0.25 ve 0.2 olan reaktörlerde, X mikroorganizma konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 85
- Şekil 4.29 $S_0=100$ mg KOI/Lve, $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 1, 0.5, 0.33, 0.25 ve 0.2 olan reaktörlerde, C glukoz konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 86
- Şekil 4.30 $S_0=200$ mg KOI/Lve, $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 2, 1, 0.67, 0.5 ve 0.4 olan reaktörlerde, S sübstrat konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 86
- Şekil 4.31 $S_0=200$ mg KOI/Lve, $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 2, 1, 0.67, 0.5 ve 0.4 olan reaktörlerde,X mikroorganizma konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 87
- Şekil 4.32 $S_0=200$ mg KOI/Lve, $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 2, 1, 0.67, 0.5 ve 0.4 olan reaktörlerde, C glukoz konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 87
- Şekil 4.33 $S_0=300$ mg KOI/Lve, $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 3, 1.5, 1, 0.75 ve 0.6 olan reaktörlerde, S sübstrat konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 88

- Şekil 4.34 $S_o=300$ mg KOI/Lve, $X_o=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 3, 1.5, 1, 0.75 ve 0.6 olan reaktörlerde, C glukoz konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 88
- Şekil 4.35 $S_o=300$ mg KOI/Lve, $X_o=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 3, 1.5, 1, 0.75 ve 0.6 olan reaktörlerde, X mikroorganizma konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 89
- Şekil 4.36 $S_o=400$ mg KOI/Lve, $X_o=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 4, 2, 1.33, 1 ve 0.8 olan reaktörlerde, S sübstrat konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 89
- Şekil 4.37 $S_o=400$ mg KOI/Lve, $X_o=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 4, 2, 1.33, 1 ve 0.8 olan reaktörlerde, X mikroorganizma konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 90
- Şekil 4.38 $S_o=400$ mg KOI/Lve, $X_o=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 4, 2, 1.33, 1 ve 0.8 olan reaktörlerde, C glukoz konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 90
- Şekil 4.39 $S_o=500$ mg KOI/Lve, $X_o=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 5, 2.5, 1.67, 1.25 ve 1 olan reaktörlerde, S sübstrat konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 91
- Şekil 4.40 $S_o=500$ mg KOI/Lve, $X_o=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 5, 2.5, 1.67, 1.25 ve 1 olan reaktörlerde, C glukoz konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 91
- Şekil 4.41 $S_o=500$ mg KOI/Lve, $X_o=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 5, 2.5, 1.67, 1.25 ve 1 olan reaktörlerde, X mikroorganizma konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 92
- Şekil 5.1 $S_o=100$ mgKOI/L, $X_o=100$ mgMLSS/L olan reaktör için Y'nin hesabı. 94

	<u>Sayfa No.</u>
Şekil 5.2 K_s değerlerinin F/M oranına göre değişimi.	100
Şekil 5.3 μ_m değerlerinin F/M oranına göre değişimi .	102
Şekil 5.4 Y değerlerinin F/M oranına göre değişimleri.	104
Şekil 5.5 Sabit X_0 grupları için $Y, \frac{\mu_m}{Y}, \frac{\mu_m}{Y.K_s}, \frac{1}{Y.K_s}, Y.K_s$ değerlerinin değişimleri.	105
Şekil 5.6 Sabit S_0 grupları için $Y, \frac{\mu_m}{Y}, \frac{\mu_m}{Y.K_s}, \frac{1}{Y.K_s}, Y.K_s$ değerlerinin değişimleri.	106
Şekil 5.7 (5.25) denklemindeki α ve β değerlerinin X_0 başlangıç konsantrasyonları göre değişimi.	107
Şekil 5.8 (5.25) denklemindeki $\alpha.\beta$ ve $\alpha^{1.3}.\beta$ değerlerinin X_0 başlangıç konsantrasyonlarına göre değişimi.	108
Şekil 5.9 Y' nin (5.24 ve 5.29)' dan hesaplanan değerlerinin deneysel değerlerle birlikte F/M' e göre değişimi.	109
Şekil 5.10 $S_0=100$ mg KOI/Lve, $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 1, 0.5, 0.33, 0.25 ve 0.2 olan reaktörlerde, S_R kalıcı ürün konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.	111
Şekil 5.11 $S_0=200$ mg KOI/Lve, $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 2, 1, 0.67, 0.5 ve 0.4 olan reaktörlerde, S_R kalıcı ürün konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.	111
Şekil 5.12 $S_0=300$ mg KOI/Lve, $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 3, 1.5, 1, 0.75 ve 0.6 olan reaktörlerde, S_R kalıcı ürün konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.	112
Şekil 5.13 $S_0=400$ mg KOI/Lve, $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 4, 2, 1.33, 1 ve 0.8 olan reaktörlerde, S_R kalıcı ürün konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.	112

- Şekil 5.14 $S_o=500$ mg KOI/Lve, $X_o=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 5, 2.5, 1.67, 1.25 ve 1 olan reaktörlerde, S_R kalıcı ürün konsantrasyonlarının zamana göre değişimi. 113
- Şekil 5.15 Kalıcı ürün konsantrasyonunun F/M oranına göre değişimi. 115
- Şekil 5.16 (5.32) denklemine göre hesaplanan A ve B denklem sabitlerinin S_o 'a göre değişimi. 116

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Asetatın oksidasyonunda karbon dengesi	17
Tablo 2.2 Kesikli reaktör deney sonuçları	18
Tablo 2.3 Sürekli sistemlerden elde edilen deney sonuçları	20
Tablo 2.4 Kesikli reaktörde havalandırma hacmi başına eklenen besin elementlerinin (nütrient) bileşimi	22
Tablo 2.5 Endüstriyel atık suların kalıcı çözünmüş KOI değerleri	24
Tablo 2.6 Arıtılabilirlik çalışmasında kullanılan tekstil atık sularının karakteristikleri	27
Tablo 3.1 Glukoz ile ilgili çoğalma sabitleri	57
Tablo 3.2 Glukozun çoğalma sabitleri	57
Tablo 3.3 Yüksek ve düşük F/M oranlarında çoğalma sabitleri	58
Tablo 3.4 Glukozun kültürlerde spesipik bozunma hızı	63
Tablo 4.1 Glukoz ile ilgili genel bilgiler	65
Tablo 4.2 A ve B çözeltilerinin içerikleri	65
Tablo 4.3 Glukoz ve biyokütlenin seçilen başlangıç konsantasyonları için tasarlanan reaktörlerde S_0/X_0 ve de F/M oranları	67
Tablo 4.4 Kesikli sistemler için analiz sonuçları tablosu	69
Tablo 4.5 Dönüşüm faktörü hesabı	71
Tablo 5.1 Gates-Marlar (5.17) ve (5.16) denklemlerinin sonuçlarını karşılaştırmak için kullanılan reaktör muhteviyatının analiz sonuçları	97
Tablo 5.2 (5.16) Denklemi ile (5.17) denkleminin sonuçlarının karşılaştırılması	98
Tablo 5.3 (5.16) Nolu denklemine göre en küçük kareler metodu ile hesaplanmış kinetik sabitlerin F/M oranına göre değişimi	101

Tablo 5.4 (5.25) ifadesinde muhtelif X_0 konsantrasyonları için denklem sabitlerinin değerleri.	107
Tablo 5.5 23 adet reaktörün S_0 ve X_0 giriş şartlarında kinetik katsayılarının ölçülen ve hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.	117
Tablo 5.6 (5.31) ifadesinde S_0 'ın fonksiyonu olarak değişen denklem sabitlerinin değerleri.	118



ÖZET

Bu çalışmada, glukoz ile beslenen kesikli reaktörlerde başlangıç mikroorganizma (X_0) ve sübstrat (S_0) konsantrasyonunun kalıcı ürün (S_R) oluşumuna etkisi incelenmiş, kinetik sabitlerin hesaplanmasında yeni bir integral denklem önerilmiş, ayrıca kinetik sabitlerin $F/M (=S_0/X_0)$ oranlarıyla değiştiği gözlenmiştir.

Birinci bölümde, aktif çamur sistemlerinin tasarımında giriş mikroorganizma ve sübstrat konsantrasyonları arasındaki oranın önemi vurgulanmış ve bu oranın kinetik parametreler ve kalıcı ürün üzerindeki etkisi belirtilerek çalışmanın amaç ve kapsamı açıklanmıştır.

İkinci bölümde, aktif çamur sisteminde sübstrat giderimi, çoğalma mekanizmaları, F/M oranı ve ürün oluşumu ile ilgili genel bilgiler verilmiş, özellikle ürün oluşumu üzerinde durularak, literatürde bu konuda yapılan çalışmalar değerlendirilmiş, mevcut eşitlik ve ifadeler açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, aktif çamur sisteminde ölçüm yöntemleri ele alınmış, sübstrat, biyokütle ve karbonhidrat (glukoz) ölçümleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Kinetik sabitlerin hesabına ait çalışmalardan bahsedilerek, glukoz ile ilgili kinetik sabitlerin değerleri tablolar halinde verilmiştir.

Dördüncü bölümde, S_0 ve X_0 başlangıç konsantrasyonlarının kalıcı ürün konsantrasyonunun değişimine etkisi incelenmek amacıyla yapılan deneysel çalışmalardan bahsedilmiştir. Materyal ve uygulanan metod tanıtılarak, farklı F/M oranları ile beslenen reaktörlere ait $S(KOI)$, $X(Biyokütle)$, $C(Glukoz)$, $S_R(Kalıcı Ürün)$ değerlerinin analiz sonuçlarının zamana göre değişimleri grafikler halinde verilmiştir.

Beşinci bölümde, farklı F/M oranına sahip reaktör muhteviyatı analiz sonuçlarının literatür sonuçları ile uyumluluğunu karşılaştırmak amacıyla kinetik katsayıların belirlenmesi için yeni bir integral denklem elde edilmiştir. Denklemin en küçük kareler metodu kullanılarak çözümünden kinetik katsayıların değerleri belirlenmiş ve bu katsayıların F/M oranına göre değişimlerini veren eşitlikler tesbit edilmiştir. Ayrıca, ölçülen ve yeni denklemler yardımıyla hesaplanan parametre değerlerinin karşılaştırması tablo üzerinde gösterilmiştir.

Altıncı ve son bölümde, çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler özetlenmiştir.

SUMMARY

THE EFFECT OF ORGANIC LOADING ON BIODEGRADATION KINETICS AND RESIDUAL PRODUCT FORMATION IN GLUCOSE FED BATCH REACTORS

Most of substances causing water pollution are organic in nature. These substances are biologically reduced, stabilized by microorganisms and become harmless for environment. Organics are converted into inorganic food elements, as a result of biological activities. Activated sludge system is a process whose aim is to remove organic matters in aerobic conditions.

The most important parameter affecting on system performance and activity is the ratio between S substrate concentration and X microorganism concentration, that is S/X. While microorganisms decomposing organic substances, and synthesizing new cells they produce new products that can not be completely decomposed (inert).

The aim of this study is to investigate whether it is possible or not to develop a mathematical model that can be used for estimation of inert product formation in the active sludge system with the aid of experimental studies depending on different S_0/X_0 ratios of initial substrate and biomass concentrations.

Before laboratory studies, an extensive review of literature studies about the nondegradable microbial product formation was examined, as a result of this review choosing the system of batch reactors was thought as the best way for experimental studies.

Experimental studies were carried out in twenty five reactors consisting of a set of five reactors fed with glucose; each containing 100 mg/L, 200 mg/L, 300mg/L, 400 mg/L and 500 mg/L initial COD (S_0) concentrations respectively for each of 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L and 500 mg/L initial microorganisms (X_0) concentrations.

The experimentation matrix of organic loadings for those reactors are given in Table 1.

Batch reactors were fed by glucose solutions. Since theoretical oxygen demand of glucose is 1.0667 gO₂ per gram of pure glucose. Theoretically 93.75 mg glucose equals to 100 mg COD. Therefore multiplies of 93.75 mg were added to each of the mentioned reactors in order to satisfy necessary initial COD concentrations.

To provide mineral substances (Nitrogen and Phosphorus need of reactor environment) solutions of A and B whose combinations are given in Table 2 were added (10 ml from each) into 1000 mg COD/L of substrate solution.

Table1. The experimentation matrix of organic loadings $F/M(=S_0/X_0)$ for established 25 reactors.

Glucose S_0	100 mg COD/L	200 mg COD/L	300 mg COD/L	400 mg COD/L	500 mg COD/L
X_0 Biomass					
100 mg/L	1	2	3	4	5
200 mg/L	0.50	1	1.50	2	2.50
300 mg/L	0.333	0.666	1	1.333	1.666
400 mg/L	0.25	0.50	0.75	1	1.25
500 mg/L	0.20	0.40	0.60	0.80	1

Table 2. Contents of mineral salt solutions A and B.

Solution A	K ₂ HPO ₄ , 320 g/L KH ₂ PO ₄ , 160 g/L NH ₄ Cl, 120 g/L
Solution B	MgSO ₄ .7H ₂ O, 15 g/L FeSO ₄ .7H ₂ O, 0.5 g/L ZnSO ₄ .7H ₂ O, 0.5 g/L MnSO ₄ .3H ₂ O, 0.5 g/L CaCl ₂ , 2g/L

The experimentation program was set in July 1995 and went on almost two years until the studies were completed in April 1997.

Each reactor with two liter reaction volumes run twice in order to prevent any unexpected change in environmental and analytical circumstances.

Reactors were acclimated about two weeks to their loading conditions before sampling procedures. Experiments were conducted at room tempratures (20 ° C). Reactors were kept in water bath in winter conditions to preserve constant temperature.

Reactors were fed with glucose for the last time for sampling. Thirty mililiter sample was withdrawn for analyses of biomass (X), glucose (C) and COD (S) for 15 min, 30 min, 60, 90, 120, 240, 300 minutes (and so on) until glucose concentrations reach to the value of zero. Analytical procedures given in: "American Standard Methods for Examination of Waters and Wastewaters" were followed. Glucose was determined by the colorimetric anthrone method. The principle of glucose measument depends

on treatment of saccarides with anthrone (9 - 10 dihidro - 9 keto anthracene) in strong acidic conditions (98 % H_2SO_4 with a dencity of 1.84 g/ml). Absorbance readings of standard glucose solutions and samples were done at 620 nm wave length on a Lapospec model spectrophotometer. Daily COD analyses were continued for about ten to thirty days in order to trace the course of residual microbial product (S_R). Water losses due to evaporation inducing from aeration were compensated by aerated distilled water before each daily sampling procedure.

The results of S (COD), X (Biomass), C (Glucose) and S_R (residual product) values, from each reactors, together with the Food/Microorganism ratio are given as in Table 3 are presented in Figure 1.

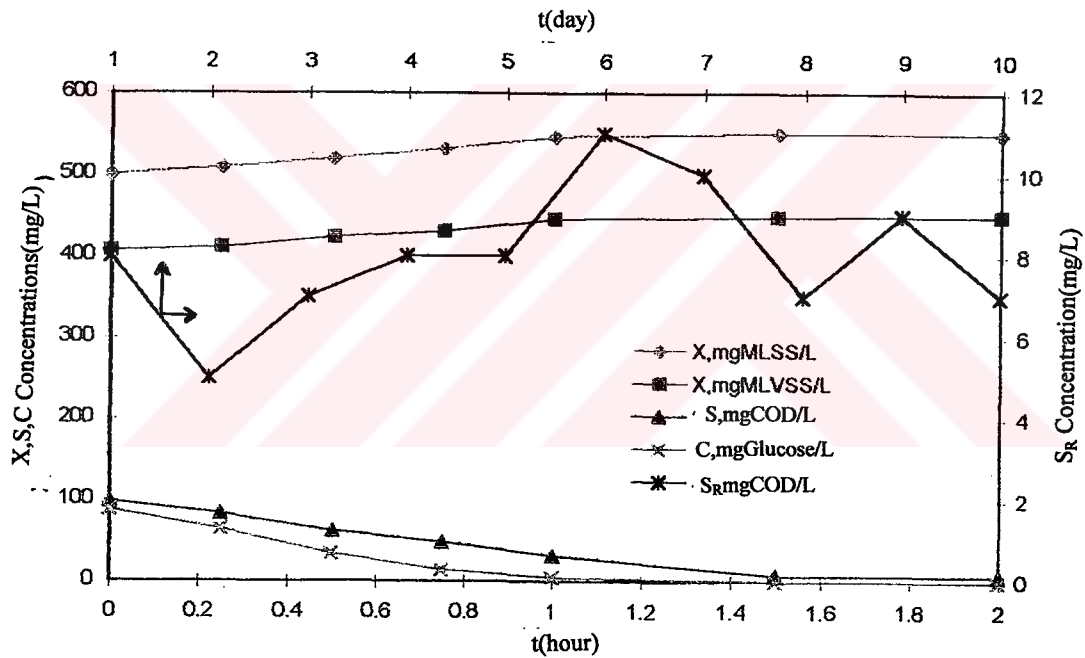


Figure 1. The results of S(COD), X(Biomass), C(Glucose) and S_R (residual product) values ($F/M=100/500$ mgCOD/mgMLSS).

Although the purpose of this study was to investigate the effect of initial biomass and substrate concentrations on the amount of residual microbial product (S_R) produced, kinetic coefficients were also determined by Integral equation:

$$\ln \frac{S}{S_0} = A \cdot \ln \left(1 + \frac{Y}{X_0} (S_0 - S) \right) - B \cdot t \quad (1)$$

resulting from definition of biological yield, growth rate and substrate utilization rate of Monod.

Where;

$$A = 1 + \frac{a}{Y.K_s}; \quad (A > 0, A > 1, A > B, a > 0) \quad (2)$$

$$B = \frac{a.\mu_m}{Y.K_s}; \quad (B > 0, a > 0) \quad (3)$$

$$X_o + Y.S_o = a \quad (4)$$

- S = substrate concentration, (M/L³)
S_o = initial substrate concentration (M/L³)
μ_m = maximum specific growth rate (1/T)
K_s = half saturation concentration for substrate (M/L³)
Y = yield coefficient
t = time
X_o = initial biomass concentration (M/L³)

Y/X_o is a prerequisite parameter in the above equation for determination of μ_m and K_s from a set of t and S values, however standard deviation of estimated S values from measured ones are not so much sensitive to biological yield coefficient (Y). Therefore, biological yield of each reactor was calculated by dividing the over all formed biomass (ΔX) to the quantity of consumed substrate (ΔS) in the logarithmic growth region.

Although numerical values of kinetic coefficients are in harmony with the given ones in the literature, K_s saturation coefficients and μ_m maximum specific growth rates increases with increasing F/M ratios respectively as;

$$K_s = 11.368 (F/M)^{0.48} + 7.428, \quad (R=0.988; \text{SD}=\pm 0.12) \quad (5)$$

and;

$$\mu_m = 5.8 (F/M)^{0.753} + 0.762 \quad (R=0.959; \text{SD}=\pm 0.15) \quad (6)$$

for μ_m values of F/M ≤ 1; with F/M=400/300=1.333 and F/M=400/200=2, consisting of sixteen points,

and;

$$\mu_m = 3.066.\ln\left(\frac{F}{M}\right) + 3.301 ; \quad (R=0.975; \text{SD}=\pm 0.086) \quad (7)$$

for μ_m values of F/M > 1, consisting of six (or seven) points.

Table 3. The result of S (COD), X (Biomass), C (Glucose) and S_R (Residual product) values ($F/M=S_0/X_0=100/500$ mg COD/mg MLSS).

t (hour)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgCOD/L)	C (mgGlucose/L)	S_R (mgCOD/L)	t (day)
	500	406	98	88	6	1
0.25	508	410	83	64	5	2
0.5	519	423	62	34	7	3
0.75	531	430	48	14	8	4
1	546	445	32	5	8	5
1.5	551	448	7	0	11	6
2	550	450	7	0	10	7
					7	8
					9	9
					6	10

However yield coefficients slowly decrease with increasing F/M ratios as ;

$$Y = 0.546 e^{-0.034 (F/M)} ; \quad (R=0.5708; \quad SD=\pm 0.00393) \quad (8)$$

Soluble residual microbial concentration S_R values of twenty five reactors change as a function of F/M as follows;

$$S_R = \frac{161.7(F / M)^{1.39}}{2.2015 + (F / M)^{1.39}} ; \quad (R = 0.997, \quad SD = \mp 0.527) \quad (9)$$

These studies showed that;

- 1) It is observed that all generally parameters affected the F/M (Food/Microorganism) ratios.
- 2) Equation 1 was obtained from the integration of substrate removal and microbial growth equations. When this equation was fitted to experimental data using the MATHCAD programme, it was observed that there was a good correlation.
- 3) The kinetic coefficients such as K_s , μ_m , Y and S_R parameters, that were found by the solution of equation 1 using the least squares method were expressed in terms of Food/Microorganism (F/M) ratio.
- 4) It is observed that reactors having same F/M ratios had same soluble microbial residual product (S_R) concentrations.
- 5) Moreover, S_R which consumed at a ratio approximately 2 % - 5 % of S_R during the ten days test period and decomposition period was also longer at high F/M ratios.
- 6) After decomposable part of S_R was formed, a small amount of inert product is formed in the reactor.
- 7) The concentrations of inert product which were measured after the 10th day were equal to the values of COD which were measured at the end of 24 hours when glucose was completely used up.
- 8) It was observed that more inert product existed in the reactors which had high S_o concentrations, and it was determined that the inert product increased gradually with the increasing of F/M ratio.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ

Su kirlenmesine sebep olan maddelerin büyük bir kısmı organik orjinlidir. Bu maddeler mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak indirgenerek stabil ve zararsız hale getirilmektedir. Organik maddelerin bu şekilde değişikliğe uğramasına ayrışma veya çürüme denir. Bütün bu olaylarda organik maddelerin esas unsuru olan C, N, S gibi besin maddeleri (nütrientler) devamlı olarak bir değişime maruz kalır. Biyolojik faaliyetler sonucu organik maddeler inorganik besin elementlerine döner. Aktif çamur sistemi oksijenli ortamda organik maddelerin giderimini amaçlayan bir proses olup, bu sistemlerin tasarımında göz önüne alınması gereken pek çok parametre bulunmaktadır.

Bunlardan en önemlisi S sübstrat konsantrasyonu ile X mikroorganizma konsantrasyonu arasındaki S / X oranıdır. Mikroorganizmalar bir taraftan organik maddeleri biyolojik olarak ayrıştırırken, bir taraftan da ortamda ayrıştırılamayan (inert) yeni ürünler oluşturur.

Bu konuda yapılan bazı araştırmalarda, ürün oluşumunun S / X oranına bağlı olduğu gözlenmiştir. İnert ürün oluşumu konusunda son yıllarda hem deneysel hem de matematiksel model oluşturulması bakımından yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Çünkü bu konu, arıtma sistemlerinin performansları ve organik madde giderim verimleri üzerinde etkili olmaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda çıkış suyunda oluşan inert ürün miktarlarının değişimini S / X oranı ile veya S ve X ile birleştiren matematik bir modele rastlanamamıştır.

1.2 ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Bu çalışmanın amacı, aktif çamur sistemlerinde farklı S / X oranlarında çözünmüş kalıcı (inert) ürün oluşumunun deneysel çalışmalar yardımıyla incelenerek, ürün oluşumuna bağlı olarak çıkış çözünmüş KOI konsantrasyonunun hesaplanmasında kullanılabilecek bir matematik modelin geliştirilmesinin mümkün olup olmadığını araştırmaktır.

Laboratuvar çalışmalarına başlamadan önce geniş bir literatür araştırması ile çözünmüş ürün oluşumu konusunda yapılmış çalışmalar derlenerek incelenmiş ve bu bilgiler ışığında deneysel çalışmalar için batch (kesikli) reaktörlerin kullanılması uygun bulunmuştur. Deneylerde besin maddesi olarak glukoz kullanılarak, değişik S ve X konsantrasyonları için farklı S/X oranlarında 25 bileşenli bir reaktörler matrisi oluşturulacak ve bütün reaktörlerde düzenli olarak S, X ve glukoz konsantrasyonları ölçülüp, bunların zamana göre değişimlerini gösteren grafikler incelenecektir. Bu veriler yardımıyla giriş mikroorganizma ve sübstrat konsantrasyonlarının kinetik parametreler üzerinde etkisi araştırılacak ve inert ürün (S_R) konsantrasyonu için bir matematik modelin geliştirilmesinin mümkün olup olmadığı araştırılacaktır.

BÖLÜM 2

BİYOLOJİK ARITMANIN TANIMI VE PRENSİPLERİ

2.1 GİRİŞ

Biyolojik arıtma sistemleri, oksijenin durumuna göre aerobik ve anaerobik olarak mikroorganizmalar yardımıyla organik maddelerin ortamdan giderildiği sistemlerdir. Oksijenli ve oksijensiz olarak da sınıflandırılan bu sistemler kullanılan mikroorganizmaların sistemdeki durumuna göre süspanse ve sabit film prosesleri olarak da nitelenebilirler. Sabit film prosesleri bu çalışmanın kapsamı dışında bulunduğundan bunlardan bahsedilmeyecektir.

2.2 AKTİF ÇAMUR SİSTEMİ

Biyolojik arıtma sistemlerinden biri olan aktif çamur sistemi, atıksu içerisinde mevcut çözünmüş ve kolloid halindeki organik maddelerin sistemdeki değişik mikroorganizma türleri tarafından kısmen karbondioksit ile su ve diğer ürünlere, kısmen de yumaklaşabilir biyolojik çamur şeklindeki biyokütleyle dönüştürüldüğü proseslerdir. Proses esnasında mikroorganizmalar organik maddeleri yeni hücre sentezlemek ve enerji elde etmek için kullanırlar ve sonuç olarak hızla çoğalırlar. Proses, mekanik arıtma işleminden geçen atıksuyun havalandırılması esasına dayanır.

Aktif çamur tesisi, genel anlamda bir havalandırma havuzu ile meydana gelen çamurun çöktürüldüğü bir çökeltim tankından ibarettir. Aktif çamur proseslerinde reaktördeki mikroorganizmalar muhtelif bakteri türleri ve bu bakterilerle beslenen protozoa, rotifer gibi daha yüksek kademedeki türlerden oluşan heterojen bir

topluluktur. Ortam içindeki organizma topluluğunun çoğalma ve sübstratın giderilme mekanizmaları veya süreçleri de oldukça karmaşıktır.

Bu çalışmada, aerobik koşullarda sadece karbonlu organik maddelerin giderilmesi ile ilgilenildiği için nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayları kapsam dışında bırakılmıştır.

2.3 AKTİF ÇAMUR SİSTEMİNDE SÜBSTRAT GİDERİMİ, BİYOLOJİK ÇOĞALMA VE İNERT ÜRÜN OLUŞUMU

2.3.1 Sübstrat Giderimi

Aktif çamur prosesinde sübstrat gideriminin mekanizması üç süreç içerisinde gerçekleşir. Bunlar:

- 1 . Hücrenin sübstrat molekülü ile karşılaşması ,
- 2 . Molekülün hücre içine taşınması ,
- 3 . Hücre içinde sübstratın ayrıştırılması ve metabolizma ürünlerine dönüştürülmesidir.

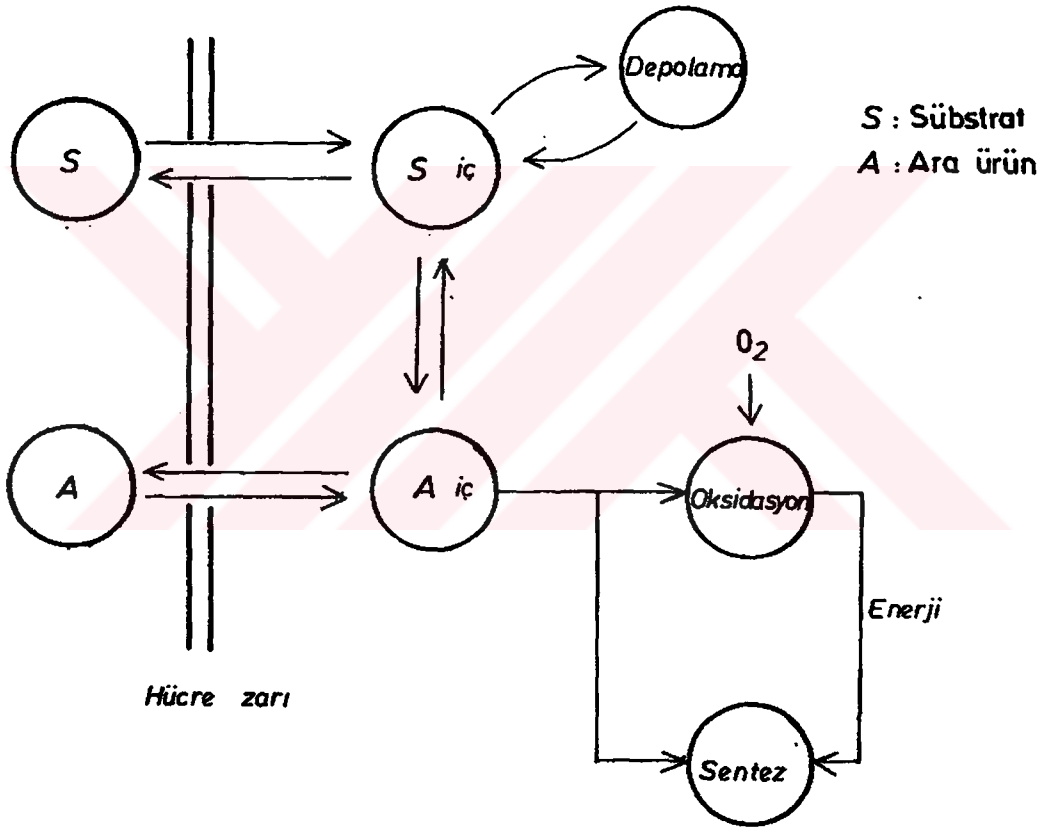
Sübstrat ya çözünmüş halde veya partiküller (kolloidal) halde bulunur (Ekama ve Marais, 1984).

Sübstrat giderimi ile ilgili ilk çalışmalar Arden ve Lockett (1914) tarafından Manchester’da başlatılmış, bugüne kadar geçen periyod içerisinde model ve proses tanım mekanizmaları oldukça gelişmiştir (Monod,1949; Lawrence Mc Carty, 1970).

Daigger ve Grady (1982) sübstratın hücre içine taşınması sırasında dışardan hücre içine taşınım hızı ve içerden dışarıya taşınım hızı arasındaki farkın sübstratın hücre içine net taşınım hızına eşit olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, glukoz gibi karbonhidratlar hücre içerisinde derhal reaksiyona girdiklerinden bu hipotez glukoz

için geçersizdir. Bu yüzden net taşınım hızı sadece hücre içine taşınım hızına eşit olur.

Süstrat giderim mekanizmasının Şekil 2.1'deki şemasında görüldüğü gibi süstrat (S) hücre içine alındıktan sonra ($S_{iç}$) metabolitik ara ürünlere ($P_{iç}$) dönüştürülür ve bir kısmı da depolanır. Bu esnada ürünlerden (P) bir kısmının hücre dışına taşınımı da söz konusu olabilir. Hücre içindeki metabolik ara ürünlerin bir kısmı enerji elde etmek amacıyla oksitlenirken diğer kısmı yeni hücre sentezlemek amacıyla kullanılır.



Şekil 2.1 Süstrat giderim mekanizmasının şematik gösterilişi (Artan,1987).

Bazı araştırmacılar yaptıkları deneysel gözlemlere dayanarak çözünmüş süstratın biyokütle tarafından fiziksel adsorbsiyonunun önemli olmadığını savunurken (Eckhoff ve Jenkins, 1967), bazıları (Roberts ve Kempton, 1971) bunun ancak süstratın başlangıçtaki hızlı gideriminde önemli olduğunu savunmuşlardır.

Monod (1949)'a göre saf kültür ile sübstrat giderimi sıfırcı mertebededir. Wuhrmann (1955), Wilzen (1964), Eckenfelder (1964), Carlson ve Polkowski (1962), Dawning (1966) gibi birçok araştırmacılar da karışık kültür ile sübstrat gideriminin sıfırcı mertebeden olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Monod (1957), Hamilton ve Dawes (1959) sübstratların saf kültürler ile Zallinger ve arkadaşları (1964), Gaudy ve arkadaşları (1963) ise karışık kültür ile giderilebildiğini gözlemişlerdir (Tischler ve Eckenfelder 1968).

Çevre Mühendisliğinde atıksularda bulunan sübstrat çok bileşenli olabildiği için bunların giderimi konusunda farklı görüşler ileri sürülmüştür. Bunlardan Eckenfelder Jr. ve Tischler (1968), yaptıkları araştırmada bileşik sübstratın toplam giderim hızının gerçekte bütün bileşiklerin lineer giderim hızlarının toplamından ibaret olduğunu belirtmişlerdir. Bir sübstrat hücre içine, tek sübstratın arıtım oranını tanımlayan Monod eşitliğine göre aktarılır. Monod'a göre saf bir sübstratın ayrışma hızı aşağıdaki diferansiyel denklemlerle verilir.

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{\mu_m \cdot X}{Y} \cdot \frac{S}{K_s + S} \quad (2.1)$$

Burada;

μ_m = maksimum spesifik çoğalma hızı (1/gün),

K_s = yarı doygunluk sabiti (1 / gün),

Y = dönüşüm oranı,

S = hız kısıtlayıcı sübstrat konsantrasyonu (mg/L),

X = biyokütle miktarını yansıtan askıda (MLSS) veya uçucu askıda (MLVSS) katı madde konsantrasyonudur.

Başlangıçta $0.2 < S_0 / X_0 < 2$ tutulduğunda veya arıtma süresince reaktörde X nisbeten sabit kaldığından sübstratın arıtım oranı da sabit kalmaktadır. Bu şartlarda X yerine $\bar{X}$ (ortalama) konularak (2.1) denklemi integre edilirse denklem (2.2) elde edilir.

$$K_s \cdot \ln(S_o / S) + S_o - S = \frac{\mu_m X}{Y} \cdot t \quad (2.2)$$

Burada , S_o = başlangıç sübstrat konsantrasyonu (mg/L) olup , S_o değerine göre oldukça düşük olan K_s değerleri için logaritmik terim ihmal edilebilmektedir.

S_o/X_o oranının 2 değerinden büyük olması halinde biyokütle etkinliği X , sübstrat kullanım periyodu boyunca yükselmekte ve (2.1) denklemini Gates ve Marlar (1968) tarafından (2.3) denkleminde verilen şekle dönüşmektedir.

$$\frac{1}{t} \ln \frac{S}{S_o} = \left[1 + \frac{X_o / Y + S_o}{K_s} \right] \left[\ln \left(1 + \left(\frac{Y}{X_o} (S_o - S) \right) \right) \right] - \frac{\mu_m}{K_s} \left(\frac{X_o}{Y} + S_o \right) \quad (2.3)$$

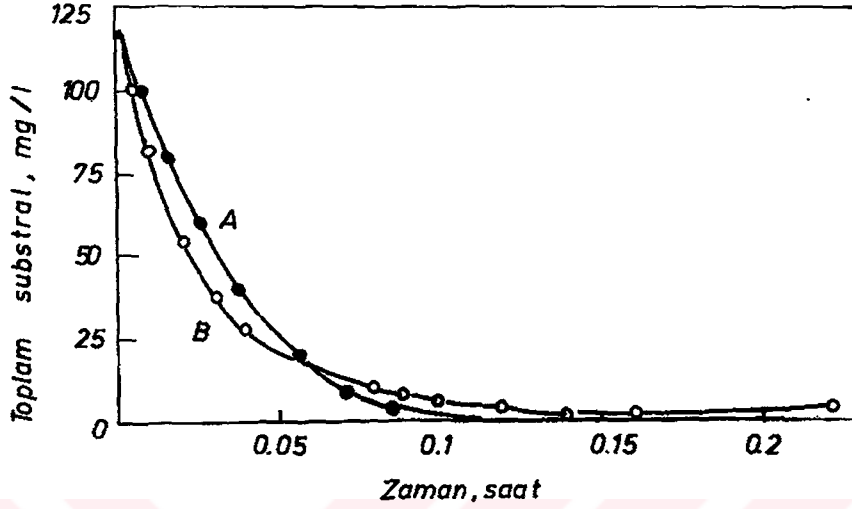
Bu eşitliklerin düşük başlangıç sübstrat konsantrasyonlarında da uygulanabileceği kabul edilebilir. Ancak bu durum sadece düşük çamur yaşına sahip çok yüksek yüklemelerde söz konusudur. Speece ve arkadaşları (1973)'nin yapmış oldukları çalışmalar da bunu doğrulamaktadır. Bu denklemlerdeki maksimum spesifik çoğalma hızı μ_m ve K_s değerleri karışık kültürler için ortalama değerler olup karıştırılan sübstrat sistemlerindeki herhangi bir kültür değişimi bu sabitlerin değerlerini de değiştirecektir (Chudoba ve arkadaşları, 1973).

$S_o/X_o < 2$ olan kesikli sistemlerde yapılan çalışmalar sonucunda tekli sübstratlar lineer olarak giderilirken biyokütle artış hızının da sabit olduğu belirtilmiştir (Chudoba , 1985).

Wuhrman (1956) , Tischler ve Eckenfelder (1968) tarafından çoklu sübstratların eş zamanlı veya ardışık olarak hücre içine aktarıldıkları ve çözeltiden arıtıldıkları doğrulanmıştır.

Çoklu sübstrat sistemleri ile ilgili incelemeler yapan Jones (1973), Monod ve 1. mertebe kinetiklerini karşılaştırarak birinci mertebe kinetiğinin çoklu sübstrat sistemleri için Monod kinetiğine göre daha doğru bir yaklaşım olduğunu belirtmiştir.

Bu amaçla rastgele seçtiği 10 adet bileşenden oluşan bir sübstrat modelinin heterojen bir mikroorganizma kültürü ile ayrışmasının sonuçlarını Şekil 2.2’de vermiştir.



Şekil 2.2 On (10) Bileşenli bir sübstrat modelinin heterojen bir kültür ile ayrıştırılması (Jones,1973).

Şekil 2.2’de A eğrisi tek sübstrat değişimini gösterirken, B eğrisi çoklu sübstrat mikrobiyal sistemi için değişimi göstermektedir. Buna göre B eğrisi birinci derece kinetiğine daha iyi bir yaklaşım sağlamış ve Monod kinetiğinin çoklu sübstrat sistemleri için doğru olmadığı sonucuna varılmıştır.

Dold (1980), Grady ve arkadaşları (1989) ise sentez için mikroorganizmalar tarafından absorblanabilen kolay ayrılan çözünmüş haldeki sübstratların ortalama giderim hızının Monod ifadesine uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Sübstratın bir başka çeşidi de partiküler sübstrattır. Partiküler sübstratlar metabolize edildiklerinde sıra ile;

- 1 . Adsorbsiyon ve depolama,
- 2 . Kompleks organik moleküllerin enzimler yardımı ile hücre duvarından geçecek kadar basit moleküllere parçalanması,
- 3 . Adsorbsiyon ve sentez olayları , meydana gelir (Dold ve arkadaşları,1980).

Partiküler sübstratın reaksiyon hızı çok düşüktür. Çünkü partiküler sübstratın giderimi esnasında bunların hücre dışında daha küçük moleküllere hidrolizi, kısıtlayıcı unsurdur.

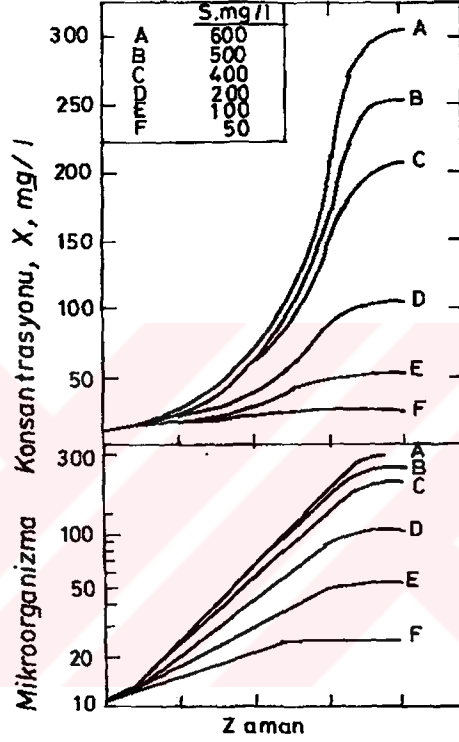
Somiya ve arkadaşları (1980 a) tarafından yapılan çalışmalarda şehir atıksu arıtma tesisinin ön arıtma çıkışındaki partiküler organik madde miktarının toplam organik madde miktarının yarısına eşit olduğu belirtilmiştir. Yaklaşık 6 saatlik havalandırmayla partiküler KOI'nin % 97'si, çözünür KOI'nin ise % 82'si giderilmiş, ancak 21 saatlik uzun havalandırmadan sonra partiküler KOI'nin % 80'i parçalanmayarak aktif çamur içinde kalmıştır (Somiya ve arkadaşları, 1980 b). Bu durum partiküler organik maddelerin aktif çamur tarafından aniden tutulduğunu fakat oldukça yavaş ayrıştığını göstermektedir.

IAWPRC çalışma grubu tarafından önerilen aktif çamur modeli biyolojik arıtma sistemlerinin modellemesi ve planlaması konusunda temel bir yaklaşımı temsil etmektedir. Çalışma grubu modeli ve Dold ve Marais (1986) tarafından yapılan öneriler ile adsorbsiyon ve hidroliz kavramlarında değişiklik getirilmiştir (Griffiths, 1993). Bu modelde, partiküler madde çamur fazında tutulmaktadır. Çamur fazındaki partiküler sübstratın, mikroorganizma kütlesi tarafından salgılanan hücre dışı enzimlerle hidroliz edilerek kolay ayrışan sübstrat halinde sıvı kütlesi içine verildiği kabul edilmektedir. Hidroliz sonucunda ortaya çıkan kolay ayrışan sübstrat, giriş akımından gelen sübstratla beraber sentez amacıyla kullanılır.

2.3.2 Çoğalma Mekanizması

Heterotrofik organizmalar şartlar sağlandığında organik maddeleri yeni biyokütle sentezinde ve sentez için gerekli olan enerji temininde kullanarak çoğalma olayını gerçekleştirirler. Bir başka ifadeyle çoğalma, hücre dışı sübstratın hücre içine alınarak bir kısmının enerji elde etmek amacıyla oksitlenmesi diğer kısmının da hücrenin bütün bileşenlerinin uygun oranlarda sentezlenmesi için kullanılmasıdır.

Çoğalma mekanizması giriş sübstrat ve biyokütle konsantrasyonlarına bağlıdır. Öyle ki, sabit başlangıç biyokütle ve değişken başlangıç sübstrat konsantrasyonlarında mikroorganizma konsantrasyonunun zamanla değişimi de farklılıklar gösterebilmektedir. Şekil 2.3’de aynı başlangıç biyokütle konsantrasyonları için farklı mikroorganizma konsantrasyonunun zamanla değişimi görülmektedir (Artan,1987).



Şekil 2.3 Başlangıç sübstrat konsantrasyonunun kesikli reaktörlerdeki mikrobiyal gelişmenin hızı ve toplam etkilerini gösteren idealize eğriler.

Şekil 2.3’e göre yüksek sübstrat konsantrasyonlarında eğrilerin eğimlerinin arttığı görülmektedir. Eğriler zamana bağlı olarak belirli maksimum değerlere ulaşmaktadırlar.

Ortamdaki organizma topluluğunun çoğalma ve sübstratın giderilme mekanizmaları oldukça kompleks proseslerdir. Bu konuda en çok kabul gören modellerden biri Monod modelidir.

$$\frac{dX}{dt} = \mu \cdot X \quad (2.4)$$

Burada;

X = t anındaki hücre konsantrasyonu (mg/l),

μ = çoğalma hızı katsayısı (1/gün) dır .

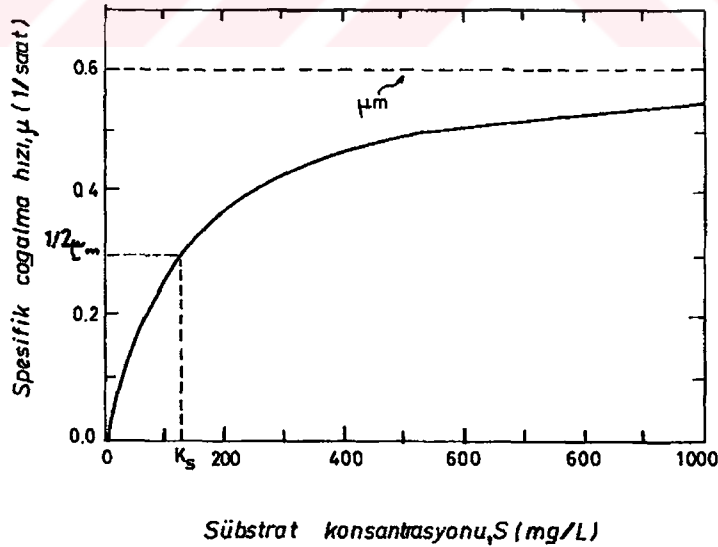
(2.4) denklemine göre bakteriyel çoğalmanın reaksiyon hızı canlı hücre konsantrasyonuna göre birinci dereceden bir bağıntı şeklindedir.

Spesifik çoğalma hızı ise;

$$\mu = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} = \mu_m \frac{S}{K_s + S} \quad (2.5)$$

denklemleri ifade edilir.

Şekil 2.4'de spesifik çoğalma hızı ile sübstrat konsantrasyonu arasındaki ilişkinin grafiği verilmiştir.



Şekil 2.4 Spesifik çoğalma hızı μ ile sübstrat konsantrasyonu arasındaki ilişki.

Spesifik çoğalma hızı ile sübstrat arasındaki ilişkiyi gösteren bir diğer eşitlik ise denklem (2.6) ile verilen Tiessier denklemidir.

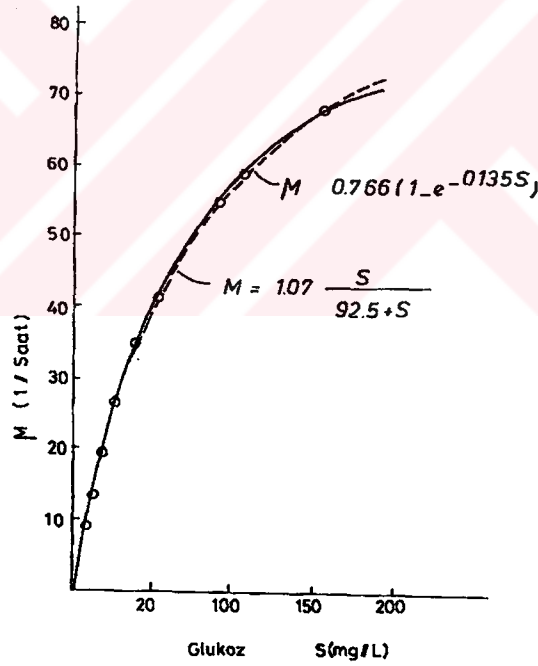
$$\mu = \mu_m \cdot (1 - e^{-K \cdot T^s}) \quad (2.6)$$

Spesifik çoğalma hızının Monod ve Tiessier denklemlerine göre sübstrat konsantrasyonu ile değişimi Şekil 2.5’de görülmektedir.

Denklem (2.4) ile (2.5) birleştirilirse, mikroorganizma konsantrasyonunun zamana göre değişimini veren;

$$\frac{dX}{dt} = \mu_m \frac{S \cdot X}{K_s + S} \quad (2.7)$$

ifadesi elde edilir.



Şekil 2.5 Monod ve Tiessier modellerinin karşılaştırılması (Rozich,1992).

Sübstratın biyolojik olarak ayrıştırılması sonucunda meydana gelen ürünlerin ortamda oluşturacağı inhibisyon etkisi Levenspiel (1980) tarafından incelenerek Monod denklemi (2.8) şekline dönüştürülmüştür.

$$\mu = \mu_m \left(1 - \frac{P}{P^*}\right)^n \cdot \frac{S}{K_s + S} \quad (2.8)$$

Burada ;

P = oluşan ürün konsantrasyonu (mg /L),

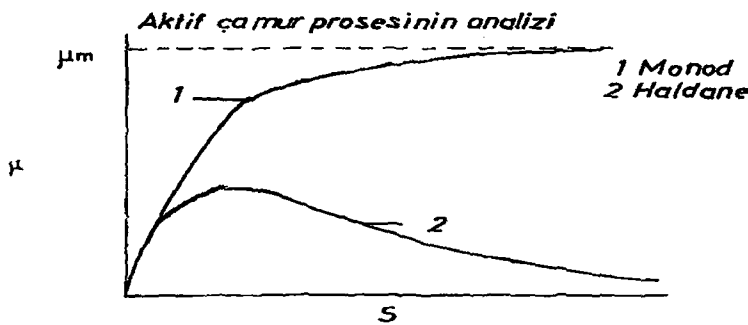
P^* = engelleyici ürünün gelişmeyi durduracağı sınır konsantrasyonu (mg /L)dur.

Süstrat inhibisyonu olması halinde Haldane, Monod modelini denklem (2.9) şeklinde ifade etmiştir.

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S + S^2 / K_i} \quad (2.9)$$

Burada, K_i = enzim inhibitör kompleksinin disosiasyon sabiti (mg /L)dir.

Monod ve Haldane yaklaşımları Rozich (1992) tarafından Şekil 2.6'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.6 Monod ve Haldane çoğalma hızı eşitliklerinin karşılaştırılması (Rozich, 1992).

Şekil 2.6'ya göre Monod denkleminin geçerli olduğu sistemlerde düşük süstrat konsantrasyonlarında spesifik çoğalma hızı artmaktadır. Süstrat konsantrasyonu yükseltildiğinde spesifik büyüme hızı maksimum değerine ulaşmakta ancak, süstrat konsantrasyonu bu değerin üzerine çıkartıldığında spesifik büyüme hızı azalmaktadır. Bu ise süstrat inhibisyonu durumunu yansıtmaktadır.

2.4 OKSİJEN TÜKETİMİ VE OKSİJEN TÜKETİMİ HIZI

2.4.1 Oksijen Tüketimi

Aktif çamur sistemlerinde oksijen kapasiteleri, oksijen tüketimi ve tüketim hızı kavramları büyük öneme sahiptir. Özellikle aerobik koşulların sürekli olarak sağlanmasının gerektiği biyolojik atıksu arıtımında ve biyoteknolojide etkin bir rol oynar. Enerji maliyetlerinin artması kararlı ve sabit arıtma kalite gereksinimleri, değişik çalışma koşulları altında optimum süreç şartlarını sağlamak için gelişmiş kontrol stratejilerine ihtiyaç duyulur.

2.4.2 Oksijen Tüketim Hızı

Mikroorganizmaların oksijen tüketim hızı şeklinde tanımlanan (OTH) kavramı giriş yüklemesine ve mikroorganizma büyüme hızına bağlıdır. Atıksularda mikroorganizmaların metabolik aktivitelerinde artış söz konusu olacağından oksijen tüketiminde de yükselme görülecektir. Organik yükleme arttıkça daha yüksek biyolojik ayrışma nedeniyle bakteriyel büyüme de hızlanır. Fakat mikroorganizma sayısındaki artış ani olmadığından birim organizma başına düşen OTH belirli bir OTH şeklinde artar. Böylece eğer, mikroorganizma konsantrasyonu sabit kalırsa havalandırma bölümündeki OTH değişimleri direkt olarak atıksuyun KOI değişimini yansıtır.

Havalandırma bölümündeki çözünmüş oksijen miktarı 0.5 mg/L ile 3.5 mg/L arasında tutulduğu sürece OTH'ın oksijen konsantrasyonundan etkilenmediği Kalinske (1971) tarafından bulunmuştur.

Organik yüklemelerin değişik değerlerinde, değişimin çok az olması durumunda bile spesifik oksijen tüketimi hızı (SOTH) değerinin çok fazla değiştiğini bulan Duggan ve Cleasby (1976), çıkış suyu kalitesi ile OTH arasında korelasyon olmadığını ifade

etmişlerdir. Ayrıca, çözünmüş oksijen değerinin 0.6 mg/L değerinden küçük olması durumunda sübstrat giderim veriminde azalma görülmüştür.

Duggan ve Cleasby (1976)'e göre giriş kalitesindeki bir değişim OTH tarafından yansıtıldığı halde, OTH'daki değişimler girişteki sistem üzerinde değişiklik meydana getirmez.

Benefield (1975)'e göre OTH'deki değişimlerin giriş yüklemesindeki en ufak değişmeyi anında yansıtması bu parametrenin bir avantajıdır. Giriş sübstrat konsantrasyonundaki artış, OTH'de de artışa sebep olur.

Otomatik olarak verilerin toplanması için en yaygın metod, elektrolitik respirometredir. Respirometre kullanarak Doglido (1979), Oshima ve arkadaşları (1981) ve Gaudy (1987) kinetik verileri elde etmek için çalışmalar yapmışlardır.

Oksijen ihtiyacı (O_u) herhangi bir zamanda,

$$O_u = (S_{s0} - S_s) - (X - X_0) - (S_p - S_{p0}) \quad (2.10)$$

denkleminde hesaplanabilir.

Burada;

S_{s0} = biyolojik ayrışmanın başlangıcındaki sübstrat konsantrasyonu(mg/L),

S_{p0} = biyolojik ayrışmanın başlangıcındaki ürün konsantrasyonu(mg/L),

X_0 = biyolojik ayrışmanın başlangıcındaki biyokütle konsantrasyonu(mg/L),

S_s = t anındaki sübstrat konsantrasyonu(mg/L),

S_p = t anındaki ürün konsantrasyonu(mg/L),

X = t anındaki biyokütle konsantrasyonu(mg/L)dur.

OTH'ın kontrol parametresi olarak kullanılmasına karşı çıkan araştırmacılar da mevcuttur. Bu araştırmacılar Sherrard ve Edwards (1982), büyük boyutlu bir

arıtma tesisinde çıkış kalitesi ve OTH 'ı incelemişler ve çıkış suyu kalitesinde küçük oynamalara karşılık OTH'larda büyük değişiklikler olabileceği sonucuna varmışlardır. Giriş akımının kalite ve miktar olarak çok değişken olduğu durumlarda özellikle SOTH'nın kontrol parametresi olarak kullanılamayacağını belirtmişlerdir.

Benefield (1975), OTH kullanımını desteklemekle birlikte yoğun laboratuvar çalışması ve operatör dikkati gerektirmesi ve matematik yorumlama zorlukları nedeniyle OTH'ın dezavantajları üzerinde durmuştur. Bunun neticesinde aktif çamur sisteminde OTH'ın kontrol parametresi olarak kullanılmasına ilişkin ortak fikir oluşmamıştır. Bu yüzden, Chandra ve arkadaşları (1987), BOI şişe yöntemi kullanımı ve OTH geçerliliğini belirlemek için laboratuvar seviyesinde aktif çamur üniteleri ve OTH'ı ölçmek için uygun cihazlar kullanarak OTH hakkında ek bilgiler toplamak için çalışmalar yürütmüşlerdir. Bu araştırmacılar OTH'ın aktif çamurda proses kontrol parametresi olarak kullanımının detaylı olarak incelenmesi sonucunda KOI olarak ölçülen çıkış kalitesi ile OTH arasında ne denge durumunda ne de şok yükleme koşullarında iyi bir korelasyon olmadığı sonucuna varmışlardır.

2.5 AKTİF ÇAMUR SİSTEMİNDE ÜRÜN OLUŞUMU

Ürün oluşumu konusunda yapılan ilk çalışmalardan biri Gaffney ve Heukelekian (1961)' in deneysel çalışmalarıdır. Bu araştırmacılar, Warburg respirometresini kullanarak yaptıkları asetatın oksidasyonu ile ilgili deneylerde, bakiye organiklerin belirli bir değerden sonra daha fazla oksitlenmelerinin mümkün olmadığını göstermişlerdir. Deney sonuçlarına göre asetat, %72-78 oranında CO₂ ve H₂O ya dönüşerek oksitlenirken, % 13-15'i yeni hücre protoplazmasına dönüşmüş, % 11-12'i ise ayrılmayarak sistemde bakiye organik madde olarak kalmıştır. Bu çalışma sonuçları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Asetatın oksidasyonunda karbon dengesi
(Gaffney ve Heukelekian, 1961).

	Giriş Konsantrasyonu	
	1000 mg/L	10.000 mg/L
	Asetat	Asetat
Başlangıçtaki KOI (mg/L)	1035	10500
Nihai BOI (mg/L)	808	7600
Kalan toplam KOI (mg/L)	269	2900
Süzüntü KOI (mg/L)	114	1300
Partiküler KOI (mg/L)	155	1600

Yukarıdaki bileşenlerin
KOI cinsinden %si

BOI	78	72.3
Süzüntü	11	12.4
Biyokütle	13.5-15	15.2
Toplam	102.5-104	99.9

Bazı araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda organik maddelerin biyolojik olarak ayrıştırılması sırasında, bir miktar organik maddenin biyolojik olarak ayrışmadan kaldığını belirtmişlerdir. Bu konuda Chudoba'nın (1967) yaptığı çok sayıda kesikli deney sonuçları tablo halinde Tablo 2.2 ' de özetlenmiştir.

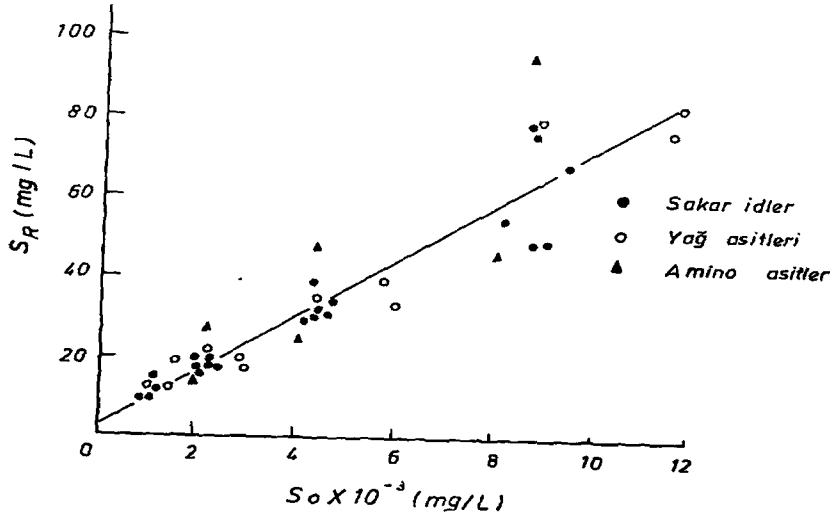
Chudoba'nın (1967) kesikli deneyler sonunda elde ettiği kalıcı ürün değerlerinin giriş sübstrat konsantrasyonuna göre değişimi Şekil 2.7'de verilmiştir. Buna göre elde edilebilen en düşük KOI'nin başlangıç KOI ile ilişkisinin matematiksel değişimi yaklaşık olarak,

$$S_R = 0.00712 S_0 + 2.69 \quad (2.11)$$

şeklinde lineer olduğu belirtilmiştir.

Tablo 2.2 Kesikli reaktör deney sonuçları (Chudoba, 1967).

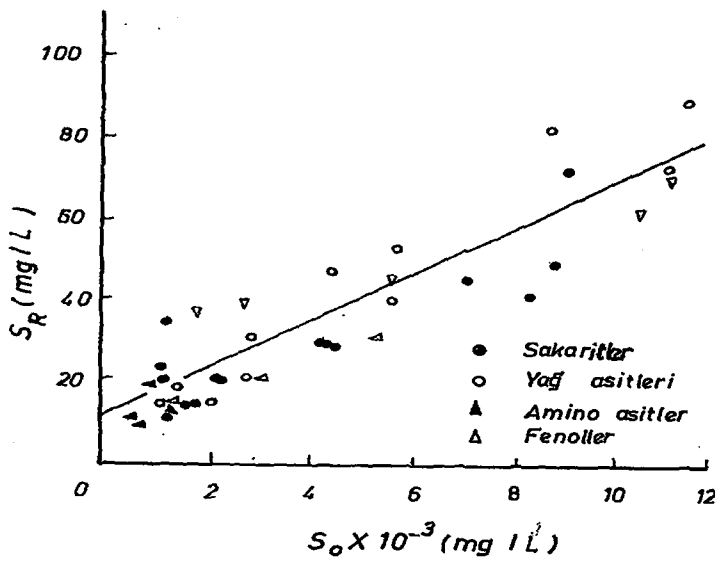
Bileşik	Başlangıç KOI (S_0) mg / L	Başlangıç MLSS(X_0) mg/L	Deney Süresi Saat	Kalan BOI ₅ mg / L	Kalan KOI (S_R) mg/L
Gliserin	1132	876	24	3.0	14.5
	2264	1000	24	3.0	20.0
	4528	820	32	3.5	31.0
	9056	2260	45	4.4	50.0
Sorbitol	1170	3364	3	1.3	9.3
	2340	3380	4.5	2.3	17.2
	4680	3428	7.5	5.2	34.2
	9360	4008	11	7.7	69.5
Glukoz	1088	880	8.5	1.9	9.3
	2176	1147	13	1.7	16.0
	4352	1234	28	5.5	30.0
	8704	1883	47	5.0	50.0
Sorboz	1092	2686	4.5	2.5	10.5
	2184	3340	5.5	4.5	20.2
	4368	3180	8.5	3.2	38.9
	8736	4084	15	5.4	80.0
Laktoz	1028	1272	5	2.6	9.8
	2056	1834	6	3.8	17.5
	4112	2860	6.5	3.5	29.6
	8224	4450	10	5.5	56.0
Sakkaroz	1092	2400	2	3.6	9.6
	2184	3516	3	3.2	16.2
	4368	3772	5	3.5	31.0
	8736	6372	18	5.5	77.0



Şekil 2.7 Kalıcı ürün konsantrasyonunun giriş sübstrat konsantrasyonuna göre değişimi (Chudoba, 1967).

Gene Chudoba ve arkadaşları (1968 a,b) kesikli deneyler dışında sürekli sistemlerde de giriş sübstrat konsantrasyonu ile kalan organik madde KOI (S_R) arasındaki ilişkiyi incelemişler, Tablo 2.3 'deki deney sonuçlarını vermişlerdir.

Chudoba (1968 a) tarafından sürekli sistemlerde elde edilen en düşük çıkış KOI'nin giriş KOI ile ilişkisi Şekil 2.8' de işaretlenerek verilmiştir.



Şekil 2.8 Sürekli sistemlerde elde edilen en düşük çıkış KOI'nin giriş KOI ile ilişkisi (Chudoba, 1968 a).

Tablo 2.3. Sürekli Sistemlerden Elde Edilen Deney Sonuçları
(Chudoba, 1968 a).

Bileşik	Girişteki KOI (S ₀) mg/L	Ortalama Bekletme Süresi - θ Saat	Ortalama Tam Karışımındaki MLSS-X mg/ L	Kalan BOI ₅ mg/L	Kalan KOI mg/L	X θ g gün/m ³
Gliserin	1132	12	4600	6.2	34.2	2300
	2264	24	11900	2.7	20.0	1900
	4528	51	44100	2.9	29.8	8710
	9056	97	3500	2.0	71.0	14145
Glukoz	1088	12	1190	5.3	20.1	595
	2176	25	4410	0.5	14.5	4593
	4362	50	3320	3.3	28.8	6917
	8704	99	3990	1.8	49.0	16458
Laktoz	1028	13	1040	2.9	22.1	563
	2056	24	3220	0.6	20.6	3220
	4112	48	3350	3.0	29.8	6700
	8224	98	4100	3.5	41.2	16741
Asetik Asit	1103	12	1410	4.8	14.1	705
	2206	25	2350	1.0	26.0	2448
	4412	47	2170	1.6	48.1	4250
	8824	93	2630	1.6	81.0	10191
Butirik Asit	1390	12	1160	4.1	19.0	580
	2780	27	2110	2.1	21.0	2370
	5560	44	4340	4.1	39.4	7960
	11120	90	2440	4.0	72.6	9150
Valerik Asit	1447	12	4630	2.5	14.1	2315
	2894	24	4630	2.5	31.0	4630
	5788	44	4460	3.2	53.8	8180
	11576	90	4640	2.9	88.1	17400

Tablo 2.3'deki bütün sübstratlar için bu ilişkinin;

$$S_R = 0.0056 S_0 + 12.53 \quad (2.12)$$

denklemini yardımıyla tanımlanabileceği ileri sürülmüştür.

Kolay ayrışan organik maddelerin ayrışması sırasında ayrışmadan kalan maddeleri Eckhoff ve Jenkins (1967), sübstrat metabolizması sırasında oluşan metabolik son ürünler olarak tanımlanmışlardır. Araştırmacılar aynı zamanda aktif çamur çıkışındaki inert KOI miktarlarını da hesaplamışlardır.

Chudoba (1985)' ya göre aktif çamur sisteminde inert ürünler üç şekilde oluşur:

- 1 . Mikroorganizmaların çevreleri ile etkileşimleri sonucunda salgıladıkları bileşikler,
- 2 . Sübstrat metabolizması ve bakteriyel çoğalma sonucunda üretilen bileşikler,
- 3 . Mikroorganizmaların ayrışması ve hücre erimesi sonucunda oluşan bileşiklerdir.

Rittmann ve arkadaşları (1987) ise ürün oluşumunu iki sınıfa ayırmışlardır:

- 1 . Çoğalma ile orantılı olarak ürün oluşumu.
- 2 . Çoğalmadan bağımsız olarak ürün oluşumu.

Bu araştırmacılara göre birincisinde çözünmüş ürün oluşumu, sübstrat metabolizmasına bağlı olan hücre çoğalma hızıyla doğrudan orantılıdır. Çoğalma ile orantılı çözünmüş ürün oluşumu kinetiği sübstrat kullanım hızına veya hücre çoğalma hızına bağlı olarak tanımlanabilir. İkinci tip oluşumda ise; hücre konsantrasyonu ile orantılı, ancak çoğalma hızından bağımsız olarak tanımlanır.

Artan (1987) tarafından yapılan model çalışmasında, aktif çamur sistemlerindeki normal bekletme süreleri içinde ayrıştırılamayacak kadar yavaş ayrışan ürünler biyolojik olarak inert kabul edilmiş ve çözünmüş kalıcı ürün (S_p) olarak isimlendirilmiştir. S_p üretimini Chudoba'nın yukarıda belirttiği ikinci ve üçüncü maddelere benzer şekilde hidroliz ve çoğalma mekanizmaları ile orantılı olmak üzere iki şekilde modellemiştir. Artan, çözünmüş inert ürün oluşumunu da hesaba katan bir aktif çamur modeli geliştirerek, S_p 'nin çıkış çözünmüş KOI'si üzerindeki etkisini incelemiştir. S_p üretiminin reaktördeki aktif biyokütle miktarı ile orantılı olduğu ($X_A\theta$) ve Chudoba (1985)'nin de belirttiği gibi giriş çözünmüş organik madde (S_0) ve çamur yaşı (θ_c) ile değiştiğini bulmuştur.

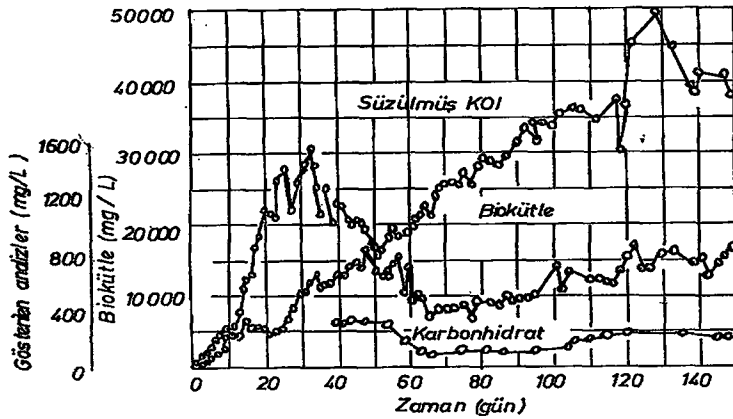
Gaudy ve Blachly (1985) inert KOI'nin biyolojik arıtılabilirliği üzerine deneysel pek çok çalışma yapmışlar, inert KOI'nin yapısını ve uzun süre içindeki değişimini tesbit etmek için, kesikli bir reaktörü düzenli olarak glukozla besleyerek KOI, karbonhidrat

ve biyokütlelerin zamanla değişimini izlemişlerdir. Çalışmada kullanılan reaktörlerin besleme şekli Tablo 2.4' de verilmiştir.

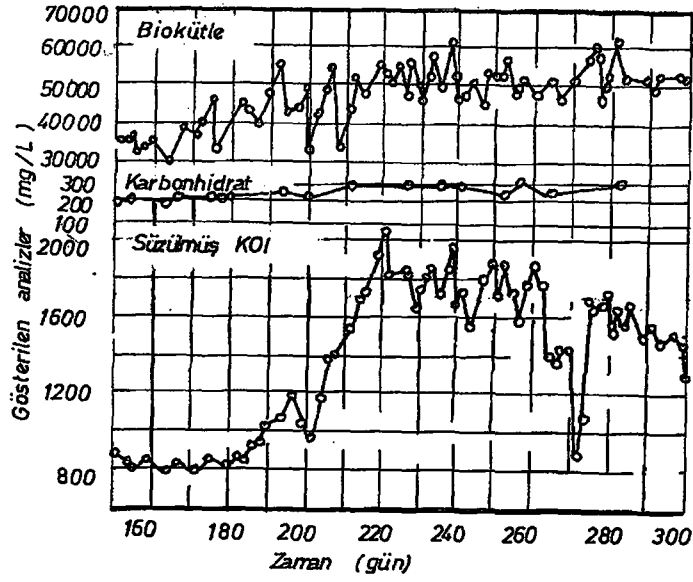
Tablo 2.4. Kesikli reaktörde havalandırma hacmi başına eklenen besin elementlerinin (nütrient) bileşimi (Gaudy ve Blachly,1985).

Glukoz	1000	mg / L
(NH ₄) ₂ SO ₄	500	mg / L
MgSO ₄ 7 H ₂ O	100	mg / L
CaCl ₂	5.0	mg / L
MnSO ₄ H ₂ O	10	mg / L
FeCl ₃ 6H ₂ O	0.5	mg / L
1 M fosfat Tampon, PH = 7.2	5	ml
Distile Su	Hacmi Tamamlamak için	

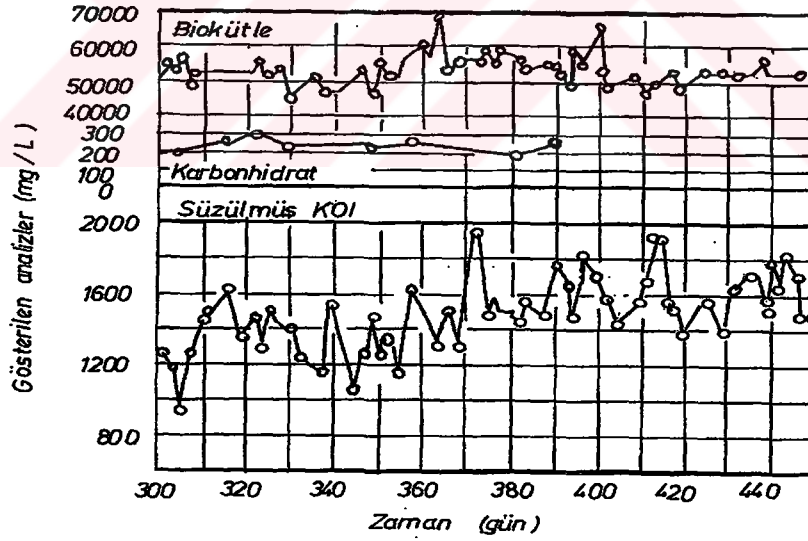
Bu çalışmalar 613 gün sürmüştür, bu süre zarfında biyokütle ve KOI değişimleri Şekil 2.9, Şekil 2.10, Şekil 2.11, ve Şekil 2.12 ile verilmiştir. Gaudy ve Blachly deneysel çalışmalarında 1. ve 143. günler arasında Tablo 2.4 de verilen besin elementlerinin tamamını, 144. ve 363. günler arasında sadece glukozu ve amonyum sülfatı, 364. ve 613. günler arasında ise sadece glukozu her gün havalandırma hacmine ilave etmişlerdir.



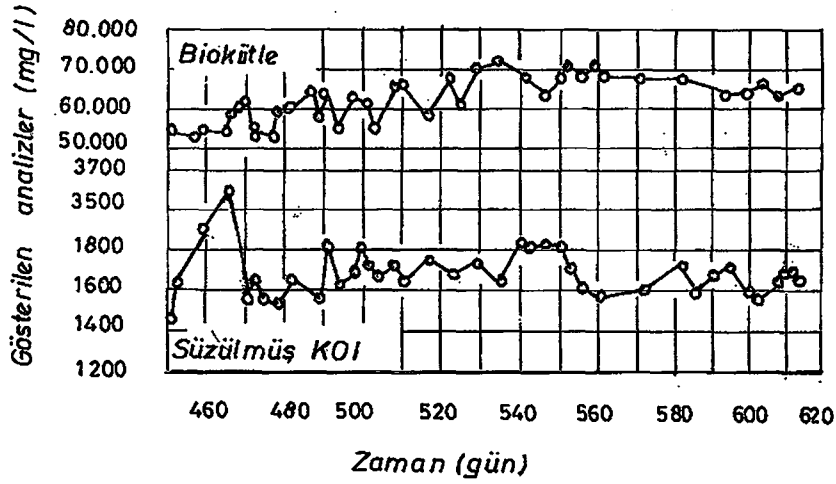
Şekil 2.9. İnorganik tuzlar ve 1000 mg /L glukoz/gün (çamur atmadan) beslenen havalandırılmalı kesikli reaktördeki 1-150 günler arasındaki biyokütle, çözünmüş KOI ve çözünmüş karbonhidrat konsantrasyonları (Gaudy, Blanchly, 1985).



Şekil 2.10 İnorganik tuzlar ve 1000 mg/L glukoz /gün (çamur atmadan) beslenen havalandırılmalı kesikli reaktörlerdeki 151 - 300 günler arasındaki biyokütle, çözünmüş KOI ve çözünmüş karbonhidrat konsantrasyonları (Gaudy, Blanchly, 1985).



Şekil 2.11 İnorganik tuzlar ve 1000 mg/L glukoz/gün beslenen havalandırılmalı kesikli reaktördeki 300-450 günler arasındaki biyokütle, çözünmüş KOI ve çözünmüş karbonhidrat konsantrasyonları (Gaudy, Blanchly, 1985).



Şekil 2.12 İnorganik tuzlar ve 1000 mg/L glukoz/gün beslenen havalandırmalı kesikli reaktördeki 451-613 günler arasındaki biyokütle, çözünmüş KOI ve çözünmüş karbonhidrat konsantrasyonları (Gaudy, Blanchly, 1985).

Gaudy ve Blachly (1989) kesikli ve sürekli sistemlerde yaptıkları arıtılabilirlik çalışmalarında inert KOI'nin biyolojik arıtma proseslerinde biyolojik olarak ayrıştırılamayacağını söylemişler fakat uzun vadede inert kısmın % 90'dan fazlasının metabolize edilebileceğini belirtmişlerdir.

Germirli ve arkadaşları (1991), girişteki çözünmüş KOI'yi saptamak amacıyla toplam çözünmüş KOI konsantrasyonları 1000 mg/L ile 9300 mg/L arasında değişen kağıt, mezbaha, antibiyotik, tekstil ve süt endüstrileri atıksuları üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmalarda kademeli ve karşılaştırmalı yöntemler uygulanmış ve iki yöntemin karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen deneysel sonuçlar Tablo 2.5' de özetlenmiştir.

Tablo 2 . 5 Endüstriyel atıksuların kalıcı çözünmüş KOI'leri (Germirli, 1991).

Kategori	Çözünmüş KOI S_0 , mg / L	Kalıcı Çözünmüş KOI S_I mg / L	S_I / S_0
Kağıt	3340	196	1.059
Mezbaha	1990	110	0.055
Antibiyotik	9300	2500*	0.27
Tekstil	1000	190	0.19
Süt	1570	0	-

(*) Aklımasyon problemlerinden dolayı çok yüksek

Germirli ve arkadaşları (1991) atıksularda çözünmüş inert KOI içeriğinin belirlenmesi amacı ile deneysel yöntemler geliştirmişlerdir. Çalışmalarında, atıksuların inert çözünmüş KOI fraksiyonlarının belirlenmesi için önerilen iki farklı metod ile endüstriyel atıksu karakterizasyonuna inert çözünmüş sübstrat kavramını getirmişlerdir. Kesikli deneylerden elde edilen çözünmüş KOI profilleri, çözünmüş metabolik ürün oluşumu nedeniyle salınımlar göstermekte ve literatürde belirtilen çözünmüş inert KOI fraksiyonlarının zamandan bağımsız olarak saptanmasının hatalara yol açacağını göstermektedir. Çünkü, zamanla ölçülen çözünmüş KOI konsantrasyonları önemli ölçüde değişime uğramaktadır. İzlenen KOI profillerinde en az iki minimum KOI değerine ulaşılmaktadır. İlk minimum değeri, çözünmüş metabolik ürün girişi nedeniyle değişken yapıya sahiptir. Atıksuların nihai KOI değerlerinin, ilk minimum KOI değerlerinden daha düşük olması, metabolik ürünlerin büyük bir kısmının daha uzun reaksiyon sürelerinde ayrışabilir karakterde olabilecekleri ihtimali ile açıklanabilir. Bu aynı zamanda, kademeli metoddan ilk minimum değerlerle bulunan S_I konsantrasyonunun, nihai değerlerle bulunana göre daha yüksek olmasını da açıklar; ilk minimumdan elde edilen S_I değerinin içinde kesikli reaksiyon sürdükçe ayrışabilir nitelik kazanacak olan metabolik ürünlerin bulunabileceğini göstermektedir.

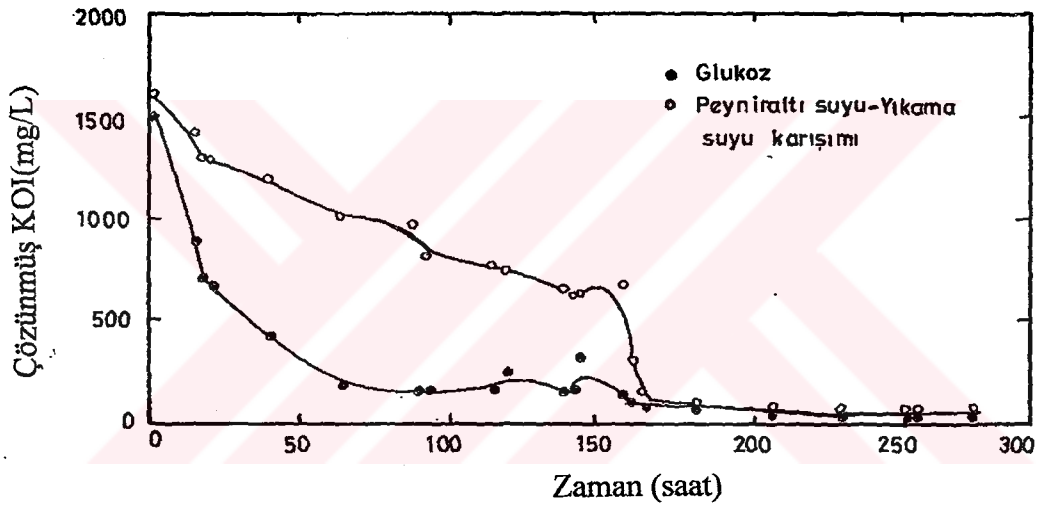
Karşılaştırmalı metod, kademeli metoda göre daha kolay deneysel prosedür içerir, ancak yüksek KOI konsantrasyonlarında aklımasyon ve sübstrat inhibisyonu problemlerinden dolayı daha hatalı sonuçlar verebilir.

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

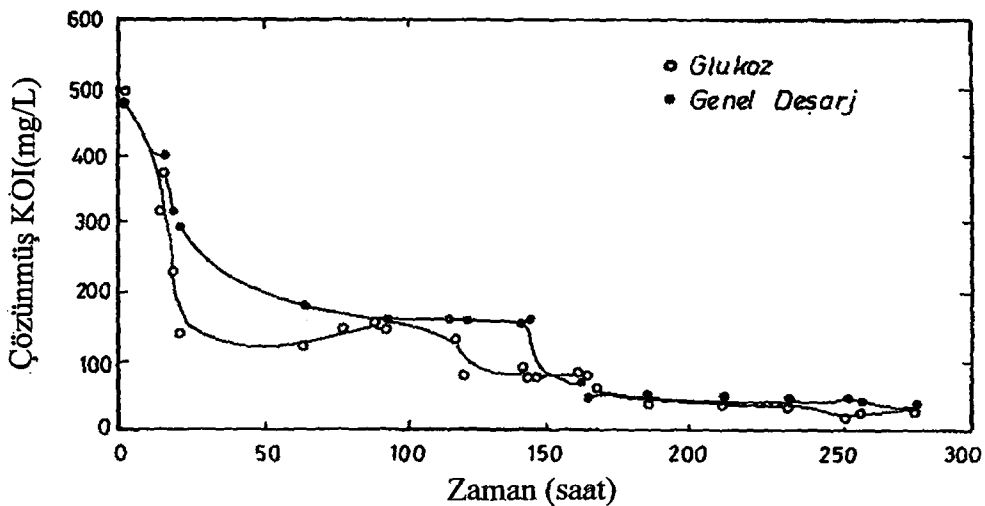
Germirli ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ayrıca, farklı giriş konsantrasyonlarında kesikli reaktörlere beslenen glukozun ayrışması sırasında sisteme salınan metabolik ürünlerden kaynaklanan ilgi çekici veriler elde edilmiştir. Söz konusu verilerin belirli bir eğilim göstermemesi metabolik ürünlerin yapı ve üretimlerinin, çalışmada tamamı ile değişik karakterde endüstriyel atıksulara aklime edilmiş,

dolayısı ile birbirinden farklı, mikroorganizma kültürleri tarafından yönlendirildiği sonucunu getirmektedir.

Görgün ve Orhon (1991), içerisinde peynir altı suyu bulunan atıksuların biyolojik arıtılabilirliğinin incelenmesi amacıyla çok sayıda deneysel çalışmalar yapmışlar, bu atıksu için inert KOI, S_I ve S_P fraksiyonlarının belirlenmesinde Germirli (1990) tarafından geliştirilen karşılaştırmalı yöntemi kullanmışlardır. Deney sonuçlarından elde edilen grafikler Şekil 2.13 ve Şekil 2.14’da gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Peyniraltı suyun'da inert KOI'nin belirlenmesi(Görgün ve Orhon,1991).



Şekil 2.14 Genel deşarj'da inert KOI'nin belirlenmesi (Görgün ve Orhon,1991).

Şekil 2.13 ve 2.14'e göre incelenen atıksuda başlangıçta inert fraksiyon bulunmadığını, ancak girişteki ayrışabilir KOI'nin yaklaşık %6-7' sinin kalıcı mikrobiyel ürüne dönüştüğünü belirtmişlerdir.

Orhon ve arkadaşları (1992) inert KOI'nin tekstil atıksularının biyolojik arıtılabilirliğine etkilerini incelemişler, üç farklı tekstil atıksuyu üzerinde deneyler yapmışlardır. Bu atıksuların karakteristikleri Tablo 2.6' da verilmiştir.

Tablo 2.6. Arıtılabilirlik çalışmasında kullanılan tekstil atıksularının karakteristikleri (Orhon ve arkadaşları, 1992).

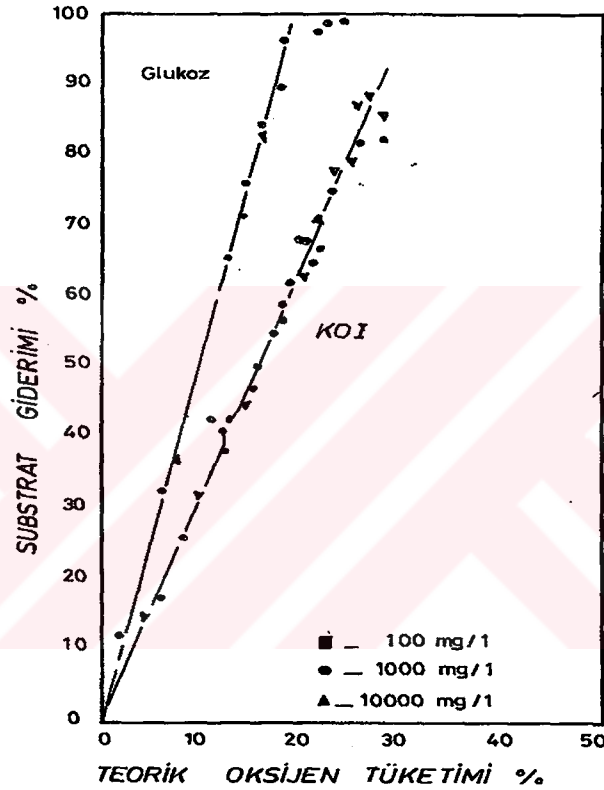
Parametre	Tesis No: 1 (Dokunmuş Kumaş)	Tesis No : 2 (Örgü Kumaş)	Tesis No : 3 (Örgü Kumaş)
Toplam KOI, C_{TO}	1240	885	981
Çözünmüş KOI, S_{TO}	1176	800	535
Çözünmüş BOI_5 ,	680	422	170
TKN,	144	23	40
Toplam P,	2.2	16	14
pH	12.2	7.2	7.85

Orhon ve arkadaşları (1992) yukarıdaki çalışmalardan şu sonuçları elde etmişlerdir:

- 1 . Çalışmada incelenen üç tekstil endüstrisi atıksuları için, konsantrasyonları 88-17mg/L arasında değişen çözünmüş inert (S_I) KOI oluşturmaktadır.
- 2 . Partiküler inert KOI'nin deneysel olarak saptanmasına yarayan bir metod tanımlanmış ve sonuçlar, girişteki partiküler KOI'nin % 16'sının biyolojik olarak ayrışmadığını göstermiştir.
- 3 . Kalıcı KOI deneylerinin ve biyolojik arıtılabilirlik çalışmalarının sonuçları arasında uyum bulunmaktadır. Bu da çıkış suyu KOI'sini düşük organik yüklemelerde bile toplam artık KOI olarak tanımlanan değerlerin altına düşürülemeyeceğini göstermektedir.

Çözünmüş metabolik ürünler (S_p), yüksek molekül ağırlıklı çok çeşitli bileşiklerden oluşur. S_p 'nin bir kısmı, sübstrat kullanım hızı ile orantılı olarak meydana gelirken, bir kısmı da aktif biyokütle konsantrasyonu ile orantılı olarak oluşur (Rittman ve

arkadaşları, 1987). Mc Whorter ve Heukelekian (1964), çeşitli glukoz ve aşı konsantrasyonlarında yaptıkları deneylerde glukoz giderimi tamamlandığı zaman, aşı konsantrasyonuna bağlı olmaksızın, teorik oksijen kullanımının % 18'inin gerçekleşmiş olduğunu göstermişlerdir. Bu konuda yapılan deneysel çalışmalarda KOI ve Glukoz olarak ölçülen sübstrat giderimleri ile teorik oksijen ihtiyacının %' si olarak oksijen tüketimi Şekil 2.15 ile verilmiştir.

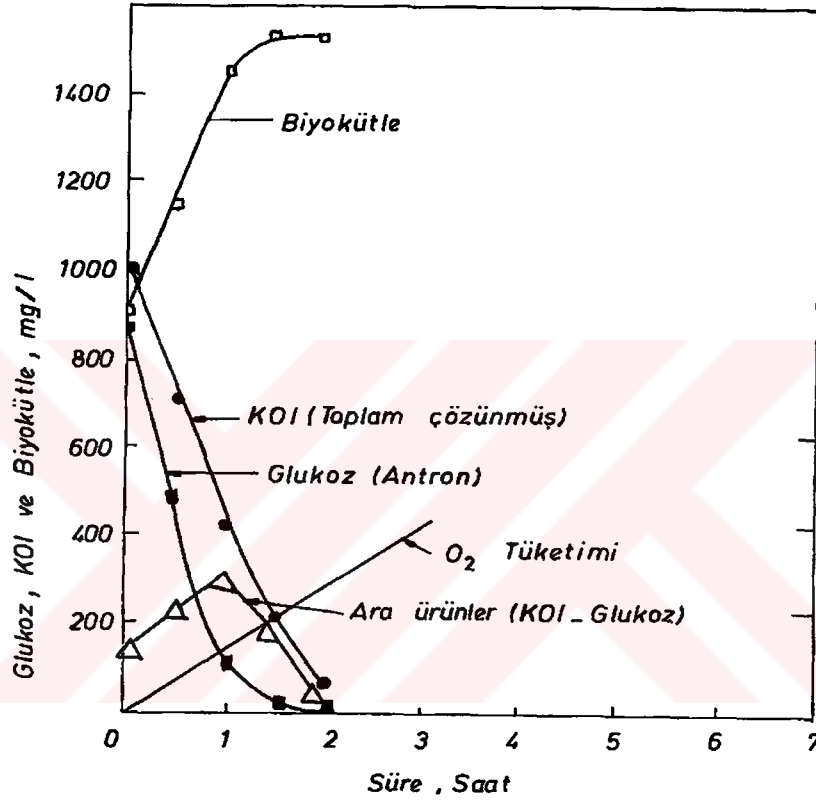


Şekil 2.15 Az miktarda aşı ile gerçekleştirilen deneylerde glukoz giderimi ve KOI giderimi arasındaki fark (Mc Whorter ve Heukelekian,1964).

Şekil (2.15) dikkatle incelendiğinde glukoz ile KOI arasındaki farkın ürün oluşumundan ileri geldiği rahatlıkla görülmektedir. Mc Whorter ve Heukelekian (1964) gibi, özellikle glukoz kullanarak, biyokütleden ortama organik bileşikler verildiğini Rao ve Gaudy (1966) göstermişlerdir.

Şekil 2.16'daki deney sonuçlarına göre, glukoz ve KOI olarak ölçülen sübstrat giderim eğrileri arasında oldukça büyük bir farkın olduğu dikkat çekmektedir. Bu fark, açığa çıkan metabolik ara veya son ürünlerin KOI'sini göstermektedir. Ayrıca

sübrat konsantrasyonundaki artışa paralel olarak meydana gelen ara ürünlerin konsantrasyonlarında da artış olmaktadır. Glukoz tüketimi tamamlandıktan sonra, oksijen tüketiminin aynı şekilde devam etmesi veya hızlı bir KOI gideriminin olması bu ürünlerin ayrışabilir nitelikte olduğunu göstermektedir. Hızlı ayrışan karbon ve enerji kaynakları metabolik ara ürün oluşmasına sebep olmaktadır.



Şekil 2.16 Kesikli bir deneyde glukoz giderimi sırasında ara ürün oluşumu.

Sübrat yapısının yanında besleme düzeni de metabolik ara ürün oluşumu olayına etki eder. Bu etki, mikrobiyel tür seçimi ve enzim sentezinin düzenlenmesi tarzında gerçekleşir. Besleme düzeni periyodik olarak değişen bir ortamda, arıtma yeteneğine sahip organizmalar kompetitif avantajlara sahiptir ve bunlar seçilecektir. Besleme sürekli ve değişmez olduğu zaman böyle organizmaların seçici bir üstünlükleri yoktur. Güç ayrışan sübratların sürekli beslenmesinde, ara ürün oluşmasına yol açmaları çok düşük bir ihtimaldir (Artan 1987).

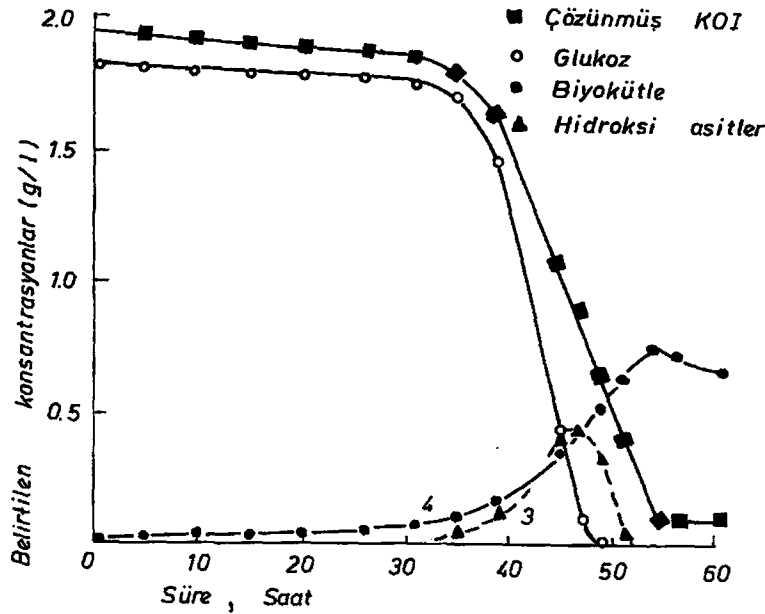
Bazı araştırmalara göre giriş sübstrat konsantrasyonu yüksek olduğunda reaktörler içerisinde meydana gelen yüksek metabolik aktivite, çıkışta daha fazla çözünmüş metabolik ürün veya toplam KOI bulunmasına neden olur (Chudoba, 1967; Grady ve Willams, 1975; Siber ve Eckenfelder, 1980; Baskir ve Hansford, 1980). Sübstratın hücre içine taşınım hızı ile sentez için kullanım hızı çoğalma mekanizmasına bağlıdır. Çoğalmada meydana gelen herhangi bir gecikme sübstrat ve ürün miktarını artırıcı etkiye neden olur (Daigger ve Grady, 1982).

Akal (1990) aktif çamur sistemlerinde çıkıştaki çözünmüş KOI'nin belirlenmesini amaçlayan bir modeli araştırmıştır. Bu çalışmaya göre aktif çamur prosesinin çıkışındaki çözünmüş KOI çözünmüş metabolik ürünlerden oluşmaktadır. Giriş sübstratından kalan miktar ihmal edilebilecek kadar azdır.

Namkung ve Rittmann (1985), bir biyofilm reaktörden çıkan çözünmüş metabolik ürünün % 80 veya daha fazlasının molekül ağırlığının sübstratın fenol olduğu zaman 500 daltondan yüksek olduğunu bulmuşlardır. Parkin ve Mc Carty (1981) çıkıştaki çözünmüş KOI 'nin % 54'ünün molekül ağırlığının 1800 daltondan yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Grady ve arkadaşları (1984) da çıkıştaki bu değerin % 52' sinin molekül ağırlığının besin maddesi süksinat olması halinde 10.000 daltondan yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Başka araştırmacılar (Dewalle ve Chian, 1974; Mans ve Rebhun, 1982; Mc Gregor ve Finn, 1969, Pavoni ve arkadaşları, 1972; Saunders ve Dick, 1981; Thomas ve Batt, 1969; Strange ve arkadaşları, 1963; Damain ve arkadaşları, 1965; Mateles ve Chian, 1969; Gaudy ve Gaudy, 1980; Chudoba ve arkadaşları, 1980; Hunter, 1971 ve Parkin ve Mc Carty, 1981) ise biyolojik arıtma çıkışında, çok çeşitli yüksek ve düşük molekül ağırlıklı değişik bileşikler tespit etmişlerdir. Bu bileşikler arasında humik ve fulvik asitler, polisakkaridler, proteinler, nükleik asitler, organik asitler, amino asitler, antibiyotikler, steroidler, enzimler, yapısal hücre bileşenleri ve enerji metabolizması ürünleri sayılabilir. Bu konuda yapılan çalışmalar neticesinde, çıkıştaki toplam organik karbon (TOK) ve KOI'nin oldukça farklı yapılara ve molekül ağırlıklarına sahip çok çeşitli organik bileşiklerden meydana geldiği belirlenmiştir.

Çözünmüş metabolik ürünün bir diğer karakteristiği, biyolojik olarak parçalanabilir olmasıdır. (Chudoba, 1967; Chudoba ve arkadaşları, 1968 a,b; Obayashi ve Gaudy, 1973; Gaudy ve Blachly, 1985; Akal 1990).

Gaudy ve Blachly (1985), kesikli bir sistemde, glukozu hergün reaktöre besleyerek sonunda, günlük 1000 mg/L' lik çözünmüş ürün konsantrasyonuna kadar ulaşmışlardır. İlk 32 günlük besleme sırasında, bu değerin 1570 KOI/L' ye kadar çıktığı gözlenmiştir. Bu sonuç, KOI olarak glukozun yaklaşık % 5 oranında çözünmüş metabolik ürün KOI'sine dönüştüğünü göstermektedir. Ancak, yeni glukoz kesintisiz olarak beslenmesine rağmen, altmış altıncı güne kadar devam eden ölçmelerde çözünür KOI'nin 324 mg/L 'ye düştüğü gözlenmiştir. Böylece yeni oluşan çözünmüş metabolik ürünün yanı sıra eskiden oluşmuş bulunan çözünmüş metabolik ürününde hemen hemen tümü parçalanmıştır. Bu konuda, Hejzler ve Chudoba (1986 a) tarafından yüksek S_0/X_0 oranında kesikli deneyler yapılmıştır. Glukozun tek karbon kaynağı olarak kullanıldığı bu deneyde, glukoz çözünmüş KOI ve biyokütle ölçümleri yanında alfa - hidroksi asit cinsi ara ürünler çözeltide görülmeye başlamış ve glukozun ortamdan kaybolmasından sonra bu ürünler hızla tüketilmiştir. Bu durum Şekil 2.17'de görülmektedir.



Şekil 2.17 Glukoz giderimi sırasında alfa-hidroksi asitlerin üretilmesi (Hejzlar ve Chudoba, 1986).

Artan' da (1987) aktif çamur sistemlerinde çözünmüş ürün oluşumu mekanizmasının incelenmesi amacıyla yapmış olduğu çalışma neticesinde, biyokütle tarafından üretilen çözünmüş ürünlerin, molekül ağırlıklarının birbirinden farklı çok çeşitli bileşiklerden oluştuğunu belirtmiştir. Ayrıca, enerji metabolizmasının ara ürünleri olan düşük molekül ağırlıklı bileşikler kolay ayrışabilir niteliktedir ve biyosentetik kısıtlamalar gibi nedenlerle çoğalmada meydana gelen gecikmeler dışında bu tür ürün oluşumu sürekli sistemlerde etkili değildir. Hidroliz sonucu ortaya çıkan ürünlerin büyük bir kısmında ayrışabilir niteliktedir.

Boero ve arkadaşları (1991), glukoz ve fenol kullanarak yapmış oldukları deneysel çalışmalar sonucunda oluşan çözünmüş mikrobiyal ürünlerin ayrışabilir özellik gösterdiğini ve bir çok farklı polimerin ortama salgılandığını belirterek, bunların ne kadarının biyolojik olarak kolay ayrışabilir ne kadarının inert olduğunun belirlenmesinin pratik açıdan önemli olduğunu vurgulamışlardır.

2.5.1 Aktif Çamurda Ürün Oluşumu Kinetiği

Ürün oluşumu kinetiği konusunda daha çok mikrobiyologların çalışmaları mevcut olup sonuçta mikrobiyal ürün oluşumu üç kategoride ele alınmıştır (Artan ,1987).

1 . Çoğalma ile orantılı olarak ürün oluşumu ;

$$\frac{dP}{dt.X} = \alpha . \mu \quad (2.13)$$

ifadesi ile verilir. Burada α , çoğalmaya bağlı ürün üretimi katsayısıdır.

2 . Çoğalmayla bağlantılı fakat doğrudan orantılı olmayan ürün oluşumu;

$$\frac{dP}{dt.X} = f(\mu) \quad (2.14)$$

denklemleri ile verilir.

3 . İç solunum ve metabolizmayla bağlantılı olarak ürün oluşumu;

$$\frac{dP}{dt \cdot X} = \beta \quad (2.15)$$

ile ifade edilir. Burada β , hidrolize bağlı ürün oluşum katsayısıdır.

(2.13) denklemine göre, ürün oluşum hızı ile çoğalma hızı arasında belirli bir oran söz konusudur ve bu durum enerji metabolizmasına bağlı olarak gerçekleşir. İkinci tip ürün oluşumu kinetiğinde, ürün oluşumu spesifik çoğalma hızının bir fonksiyonudur. Üçüncü tip ürün oluşumu ise doğrudan enerji metabolizması sonucunda gerçekleşmez; önce hücre ve metabolik aktiviteler maksimuma ulaşır, sonraki kademelerde iç solunum fazında istenen ürünlerin oluşumu önem kazanır.

Genel olarak ürün oluşumu kinetiği için Ludeking - Piret tarafından (2.16) denklemi ile ampirik bir bağıntı verilmiştir.

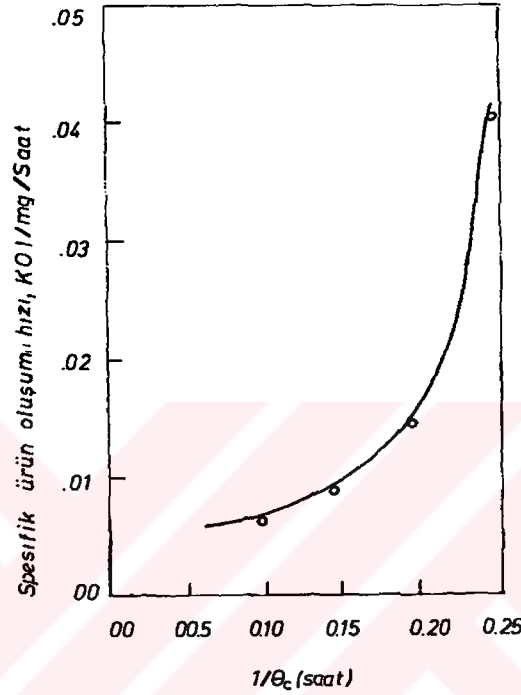
$$\frac{dP}{dt} = \alpha \left(\frac{dX}{dt} \right) + \beta \cdot X \quad (2.16)$$

Bu denklem, (2.13) ile (2.15) denklemlerinin toplamlarından ibarettir.

Daigger ve Grady (1977), organik maddelerin ayrışabilirlik kapasitelerini göz önüne almadan aktif çamurda üretilen bütün ürünlerin kinetiği için ortak bir ifade oluşturmuşlardır. Net spesifik ürün oluşumu hızı ile spesifik çoğalma hızı arasında bir ilişki kurmuşlar, yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda çıkışta ölçülen KOI ile girişte ölçülen sübstratın kalan kısmı arasındaki farkı ürün olarak tanımlamışlardır. Bu ürünler için yazılan kütle dengesinden net spesifik ürün oluşumu hızını hesaplamışlardır. Spesifik çoğalma hızının spesifik ürün oluşumu hızı üzerindeki etkisini ve aralarındaki bağlantıyı denklem (2.17) ile vermişlerdir. Şekil (2.18)'de bu etki açıkça görülmektedir.

$$\frac{dP}{dt \cdot X} = K_0 + K_1 \cdot \mu + K_2 \cdot \mu^2 \quad (2.17)$$

K_0, K_1, K_2 = kinetik hız katsayıları (litre/mg . Saat) dir.



Şekil 2.18 Spesifik ürün oluşumu hızının $1/\theta_c$ ile değişimi (Daigger ve Grady, 1977).

Çözünmüş metabolik ürünler için çok bileşenli sübstrat'ın parçalanma kinetiğine ilk yaklaşım olarak Grau ve arkadaşlarının (1975) yarı deneysel modeli verilebilir.

$$r_{ut} = -k_m \cdot (S/S^0) \cdot X_a \quad (2.18)$$

Bu formülde, r_{ut} : sübstrat kullanım hızı ($M_s \cdot L^{-3} \cdot T^{-1}$)dır.

Kararlı halde ürün oluşumundaki kütle dengesi denklemine göre ;

$$P + (k_1 \cdot r_{ut} - k_2 \cdot X_a + k_{3m} (P/P^0) \cdot X_a) \cdot \theta = 0 \quad (2.19)$$

elde edilir.

Burada;

k_{3m} = çözünmüş metabolik ürünün çok - komponentli sübstrat parçalanma katsayısı ($m_p M_x^{-1} \cdot T^{-1}$), $k_{3m} (P / P^0) X_a$ = genel parçalanma ifadesidir.

Bu formülde, genel parçalanma hızı $k_{3m} (P / P^0) X_a$, genel çözünmüş metabolik ürün birikimi P^0 ile ters orantılıdır. Bu nedenle daha fazla yeni ürün oluşumu, parçalanma kinetiğini yavaşlatır.

Dennis ve Irvine (1983), ayrışabilir ve ayrışmayan ürün oluşumu için ayrı ayrı ifadeler vermişlerdir. Ayrışabilen yan ürünler ikincil (tali) sübstratlar olarak ele alınmış, birincil sübstrattan oluşan bu ürünlerin ana sübstrata göre daha yavaş okside olduğu kabul edilmiştir. Ana sübstrat miktarı arttıkça yan ürünlerin oluşumu hızlanmaktadır. Ancak bunun konsantrasyonu belli bir değerin altına düşünce bu reaksiyonun hiç oluşmadığı varsayılmıştır.

Yan ürün oluşum hızı,

$$\frac{dS_2}{dt} = K_2 X_a S_1 \quad (2.20)$$

(2.20) denklemi ile verilmiştir. Burada;

S_1 = Birincil sübstrat konsantrasyonu (mg/L),

S_2 = İkincil sübstrat konsantrasyonu (mg/L) dur.

Dennis ve Irvine ayrıca ayrışmayan ürünlerin ana ve tali sübstratların metabolizması sırasında ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak,

$$\frac{dS_p}{dt} = \alpha_1 \mu_1 X_a + \alpha_2 \mu_2 X_a \quad (2.21)$$

denklemini teklif etmişlerdir.

Burada;

S_p = kalıcı ürün konsantrasyonu,

μ_1, μ_2 = birincil ve ikincil sübstratla spesifik çoğalma hızı,

α_1, α_2 = stokiyometrik katsayılarıdır.

Namkung ve Rittmann (1985) ürün oluşum kinetiğinde iki tip ürünü dikkate alır:

1 . Sübstrat kullanımıyla bağlantılı ürünler (UAP),

2 . Biyokütleyle bağlantılı ürünler (BAP),

UAP'ler, aktif biyokütlenin sübstrat kullanım hızına orantılı olarak üretilir ve;

$$r_{UAP} = -K_1 \cdot r_{ut} \quad (2.22)$$

denklemini ile ifade edilir. Burada;

r_{UAP} = UAP oluşum hızı ($M_p \cdot L^{-3} \cdot T^{-1}$),

K_1 = UAP oluşum hızı katsayısı ($M_p \cdot M_s^{-1}$)dır.

BAP ise sadece aktif çamur hücre kütlelerine orantılı olarak üretilir ve;

$$r_{BAP} = K_2 \cdot X_a \quad (2.23)$$

şeklinde belirlenebilir. Bu formülde;

r_{BAP} = BAP oluşum hızı ($M_p \cdot L^{-3} \cdot T^{-1}$),

K_2 = BAP oluşum hızı katsayısı ($M_p \cdot M_x^{-1}$)dır.

Kararlı halde ürün oluşumunun kütle dengesi ise;

$$P^0 + (-K_1 \cdot r_{ut} + K_2 \cdot X_a) \theta = 0 \quad (2.24)$$

denklemleri ile verilmektedir. Burada;

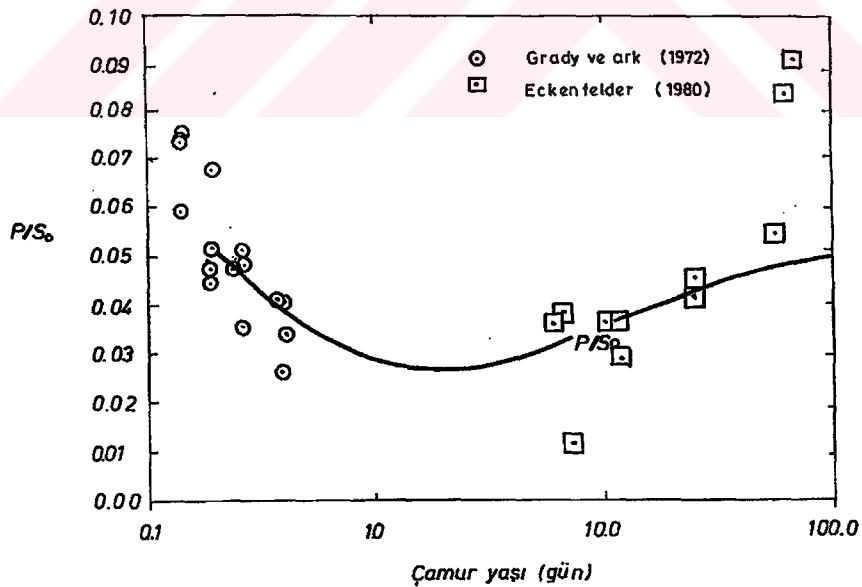
P^0 = çözünmüş metabolik ürün parçalanması meydana gelmediği takdirde ortaya çıkan toplam çözünmüş metabolik ürün konsantrasyonu ($M_p \cdot L^{-3}$) dur.

Buradan P^0 çözülürse;

$$P^0 = (-K_1 \cdot r_{ut} + K_2 \cdot X_a) \theta \quad (2.25)$$

bulunur. P^0 , kiritik öneme sahip bir parametredir. Çünkü muhtemel parçalanma için mevcut toplam çözünmüş metabolik ürün miktarını temsil eder.

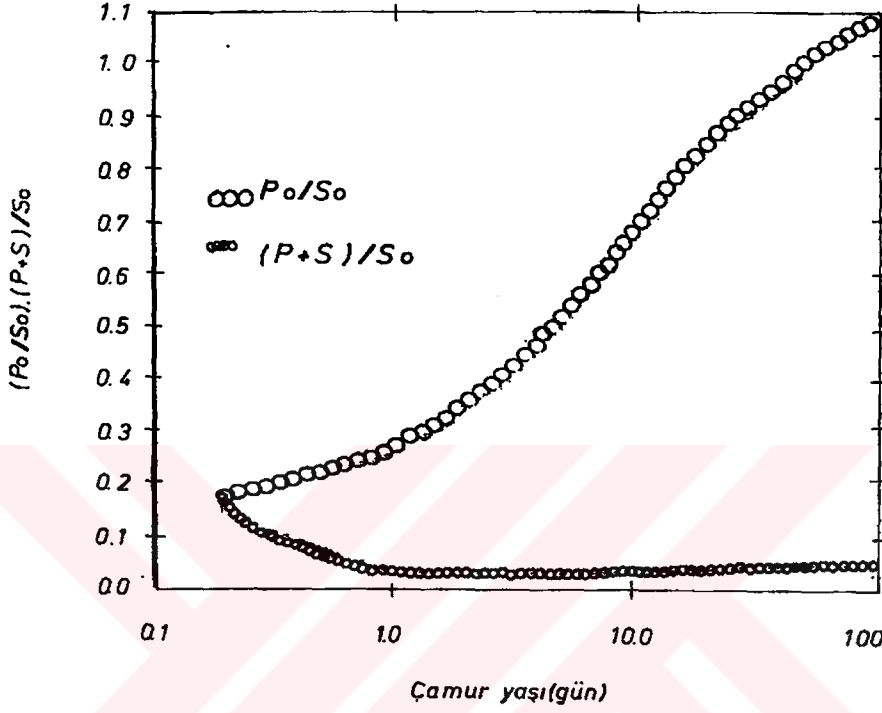
Rittmann ve arkadaşları (1987)'de yapmış oldukları çalışmalara göre, bazı parametrelerin çamur yaşına bağlı olarak değiştiğini Şekil 2.19 ve 2.20'de göstermişlerdir.



Şekil 2.19 P / S₀ değerlerinin θ_c ile değişimi (Rittmann ve arkadaşları, 1987).

Şekil 2.19'daki tahmini eğrinin minumum noktası yaklaşık 2 gün çamur yaşında asgari çözünmüş metabolik ürün konsantrasyonunu göstermektedir.

Şekil 2.20’de P^0 / S_0 ve $(P + S) / S_0$ ’ in θ_c ’ ye göre değişimi görülmektedir. P^0 / S_0 değerleri θ_c ile artmakta $(P + S) / S_0$ değerleri ise azalmaktadır.



Şekil 2.20 Standart parametrelerde tahmini değerleri (Rittmann ve arkadaşları, 1987)

Lee ve Bailey (1985), ürün oluşumu kinetiği ve temel biyolojik parametreler arasındaki ilişkiden yararlanarak geliştirdikleri model denklemlerinin Ludeking - Piret denklemi ile aynı olduğunu göstermişlerdir. Lee ve Bailey türetilmiş bir model geliştirerek bu modelin sonuç ifadesinin lineer bir yaklaştırma olduğunu belirtmişlerdir.

Sürekli ve tam karışımli sistemlerde Akal (1990) tarafından çözünmüş metabolik ürünlerin oluşumu için bir matematik model teklif edilmiştir. Bu çalışmada, ilk alternatif olarak hidroliz ürünlerinin tamamen ayrıştığı , ayrışma hızının yavaşlamasına bağlı olarak aktif biyokütle hem çözünmüş sübstrat (S_s) üzerinde hem de üretilen ayrışabilir ürün (S_p) üzerinde çoğalmaktadır. Buna göre, çözünmüş sübstrat üzerinde çoğalma ve çözünmüş metabolik ürünler üzerinde çoğalma hızı ifadeleri;

$$\rho_1 = \mu_{m1} \frac{S_s}{K_{s1} + S_s} X_a \quad (2.26)$$

$$\rho_2 = \mu_{m2} \frac{S_p}{K_{s2} + S_p} X_a \quad (2.27)$$

denklemleri ile verilmiştir.

Buna göre çözünmüş metabolik ürün ile ilgili denklem;

$$r_{sp} = \frac{dS_p}{dt} = K_h \frac{X_s / X_a}{K_x + X_s / X_a} X_a - \frac{\mu_{m2}}{Y} \cdot \frac{S_p}{K_{s2} + S_p} X_a \quad (2.28)$$

şeklindedir. Burada;

K_h = maksimum spesifik hidroliz hızı katsayısı(1/gün),

K_x = hidroliz için yarı doygunluk sabiti(mg/L),

X_s = partiküler sübstrat konsantrasyonu(mg/L)dur.

Akal (1990)'ın öne sürdüğü ikinci alternatifde yine hidroliz ürünleri ayrışabilir karakterde olup, buna göre;

$$\rho_2 = \mu_{m2} \frac{S_p}{S_p + K_{s2}(1 + S_s / K_i)} X_a \quad (2.29)$$

yazılabilir. Bu alternatifte, ürünlerin sübstrat üzerinde çoğalmayı etkilemediği ancak sübstratın, ürün üzerinde çoğalmaya kompetitif inhibisyon etkisi yaptığı düşünülmüştür.

$$r_{sp} = \frac{dS_p}{dt} = K_h \frac{X_s / X_a}{K_x + X_s / X_a} X_a - \frac{\mu_{m2}}{Y} \cdot \frac{S_p}{S_p + K_{s2}(1 + \frac{S_s}{K_i})} X_a \quad (2.30)$$

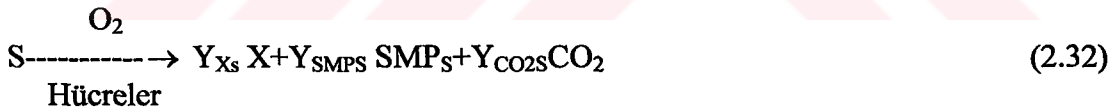
Üçüncü bir alternatif ise sübstrat (S_s) ve metabolik ürünler (S_p) ikili bir sübstrat sistemi gibi düşünülerek, sübstrat ve ürünler üzerindeki çoğalma hızı ifadeleri belirlenmiştir.

$$r_{sp} = \frac{dS_p}{dt} K_h = \frac{X_s / X_a}{K_x + X_s / X_a} X_a - \frac{\mu_{m2}}{Y} \cdot \frac{S_p}{S_p + K_{s2} (1 + \frac{S_i}{K_i})} X_a \quad (2.31)$$

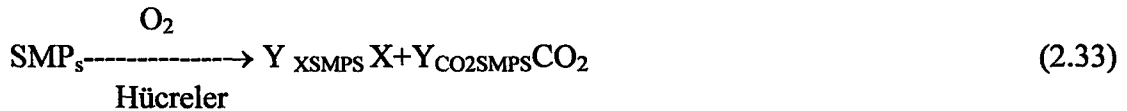
1990'lı yıllarda, Boero ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda, glukoz ve fenol kullanılarak kesikli (batch) sistemde çözünmüş mikrobiyal ürün formasyonu araştırılmıştır. Deneylerde , fenol ve glukoz iki farklı bölümde incelenmiştir; Birinci bölümde orjinal sübstratın (fenol ve glukoz) azaldığı ve sübstrat giderimine bağlı ürünlerin (SMP_s), üretildiği belirtilmiştir. İkinci bölümde ise (SMP_s) 'nin ayrışan fraksiyonu azalırken aynı zamanda , biyokütleyle bağlı ürünlerin (SMP_E) meydana geldiği açıklanmıştır.

Buna göre sübstrat'ın giderimi (2.32) nolu denklem ile ifade edilmiştir.

Sübstrat:

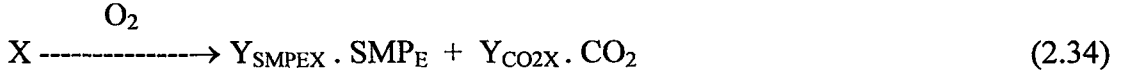


denklemleri ile ifade edilir. Çözünebilir mikrobiyal ürünün bozunması (SMP =Soluble Microbial Product);



denklemleri yazılabilir.

Hücrelerin ayrışması (içsel solunum) ise;



denklemleri ile verilebilir.

2.6 F/M (=S₀/X₀) ORANI

Kesikli sistem deneylerinde biyokütle çoğalması, sübstrat giderim hızı ve hücre artışı arasındaki ilişkinin değişim derecesi Mc Whorter ve Heukelekian (1962); Fujimoto (1963); Rao ve Gaudy (1966); Chudoba (1969); Gaudy ve Ramanathan (1971); Varma ve Nepal (1972); Ramanathan ve Gaudy (1972); Gaudy ve Srinivasaraghavan (1974); Seto ve Alexander (1985); Chang (1988); Chudoba ve arkadaşları (1991 a) ve Chudoba P. (1991) tarafından araştırılmıştır (Chudoba ve arkadaşları, 1992).

Speece ve arkadaşları (1973); Daigger ve Grady (1982); Pitter ve Chudoba (1990); Chudoba ve arkadaşları (1991 a,b) S₀'ın fizyolojik bakımdan, mikrobiyal çoğalma ve hücre artış fazları, depolama ve çoğalma tepkilerini ayırtetmek için gerekli olduğunu belirtmişlerdir.

Pitter ve Chudoba (1990)'ya göre, mikrobiyal çoğalma biyokütledeki hücre artışıyla hücre sayısındaki artışı veya artış olmaksızın (depolamadan dolayı veya birikme) kütle artışını göstermektedir. Diğer bir anlamda mikrobiyal çoğalma dışardaki sübstratın hücre içine taşınımı, oksidasyonda enerji sağlaması için kullanımı ve sentezde kullanılmasıdır (Daigger ve Grady, 1982). Öte yandan, depolama tepkisi sadece sübstratın taşınmasını, küçük bir kısmının oksidasyonunu ve karbonhidrat ya da yağ gibi depolama polimerlerinin sentezini içermektedir. Bu iki tepki arasındaki fark katabolik olarak üretilen ve farklı metabolik prosesler ile talep edilen enerjinin miktarını göstermektedir. Sentezlenen yeni biyokütlenin hem depolama hem de hücre artış prosesleri için farklı olması gerekmektedir. Aynı zamanda, oksitlenen

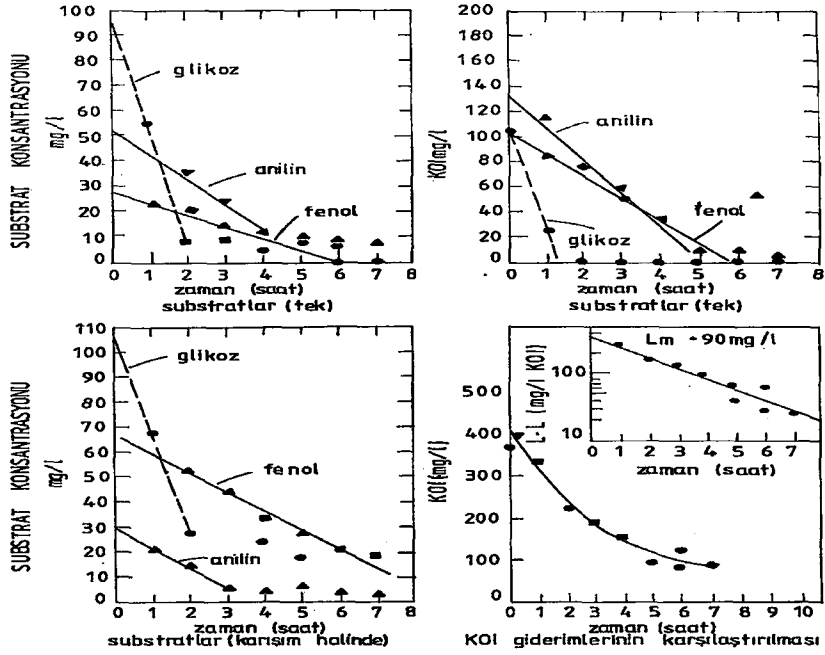
süstrata karşı sentezlenen biyokütlenin miktarı ve böylece katabolizma ve anabolizma arasındaki oran, F/M oranıyla ilişkili değişmektedir.

Speece ve arkadaşları (1973), Pitter ve Chudoba (1990), Chudoba ve arkadaşları, (1991 a,b), Chudoba (1991), düşük S_0/X_0 oranında X_0 konsantrasyonuna göre kullanılan karbon ve enerji kaynağının düşük miktarda bulunması durumunda mikrobiyal çoğalmanın kısıtlayıcı olması sonucu depolama ve birikme prosesleri gözlemlendiğinden sadece hücre kütlelerinde artış olduğunu, buna karşılık hücre artışının ihmal edilebilir düzeyde olduğunu belirtmişlerdir.

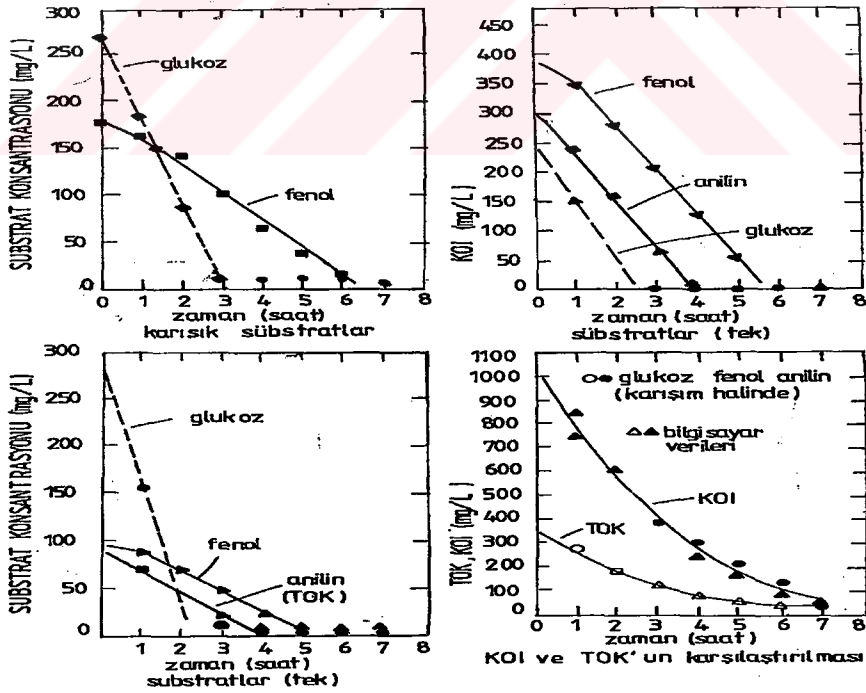
Yüksek S_0/X_0 oranında giriş süstrat konsantrasyonu sentez ve çoğalma reaksiyonları için yeterli olduğundan mikroorganizma sayısında artış olmaktadır.

Tischler ve Eckenfelder (1969), yapmış oldukları çalışmada glukoz, fenol, anilin gibi basit organik bileşiklerin aktif çamura karışımının aklime edilmesi sonucu lineer olarak (sıfırıncı derece) giderildiğini vurgulamışlardır. Baskın mikroorganizma tipinin organik yükleme ile belirlendiği aktif çamur sistemlerinde, glukoz ve fenolün yüksek F/M oranlarında sisteme hakim olan filamentli organizma tarafından asimilasyonu, düşük ve ara F/M oranlarında hakim olan flok halindeki çamura nazaran daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

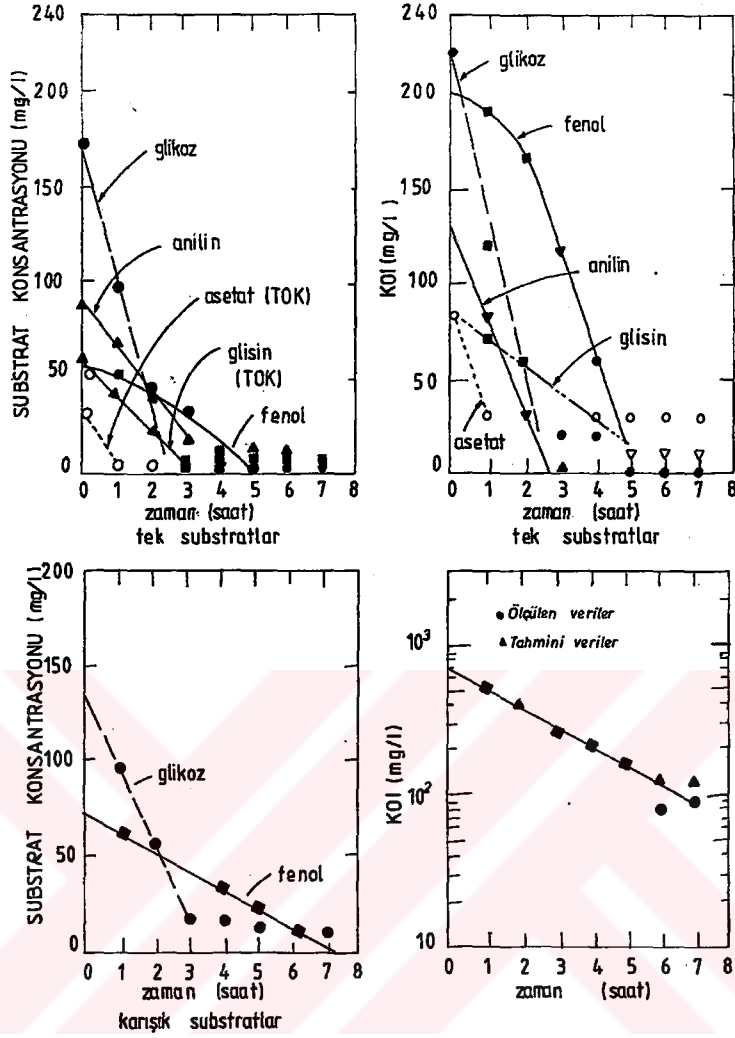
Kesikli sisteme ait değişik F/M oranlarında glukoz, fenol ve anilinin tek tek ve karışmış olarak giderimleri Şekil 2.21, 2.22 ve 2.23'te verilmiştir.



Şekil 2.21 $F/M=0.25$ 'te basit substratların kesikli sistemde giderimi (Tischler ve Eckenfelder, 1969).

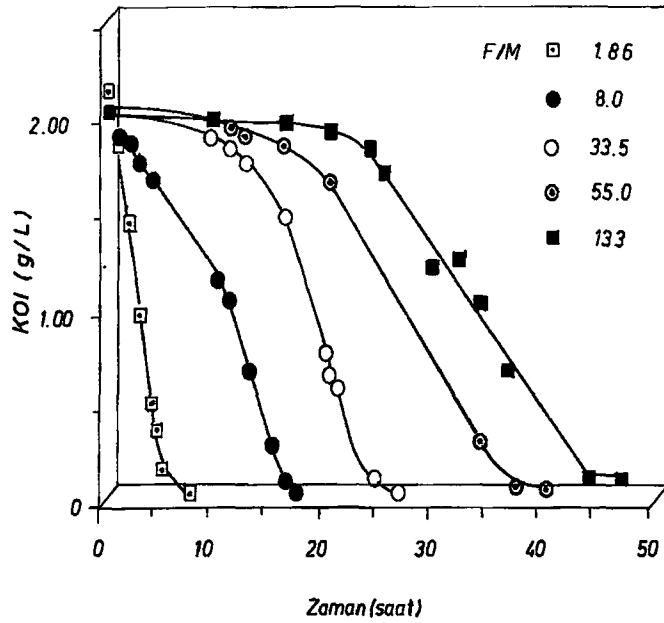


Şekil 2.22 $F/M=1.1$ 'de basit substratların kesikli sistemde giderimi (Tischler ve Eckenfelder, 1969).

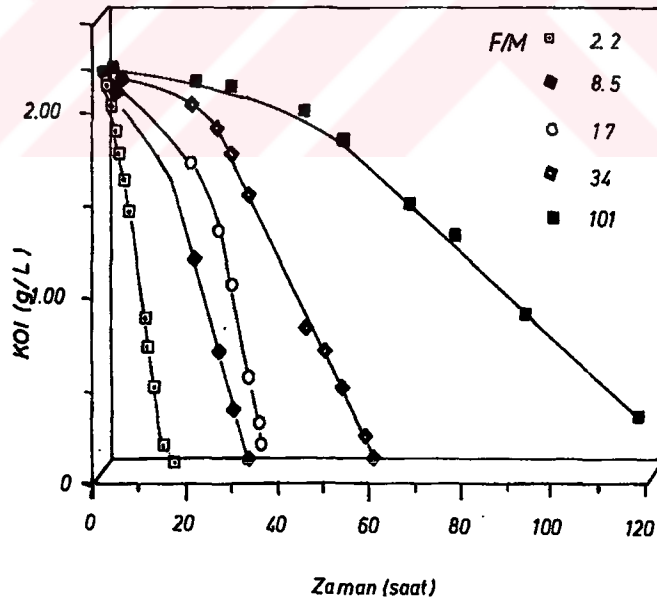


Şekil 2.23 $F/M=0.65$ 'de 5 basit substratın kesikli sistemde giderimi (Tischler ve Eckenfelder, 1969).

Chuda (1969), yapmış olduğu deneysel çalışmalarda farklı F/M oranlarında substrat gideriminin zamanla değişimini gözlemlemiştir. Bu amaçla kesikli deneylerde glukoz (0.667 g/l-gün) ve pepton (1.333 g/l-gün) karışımı kullanılmıştır. Çalışma sonuçları Şekil 2.24 ve Şekil 2.25'de gösterilmiştir.



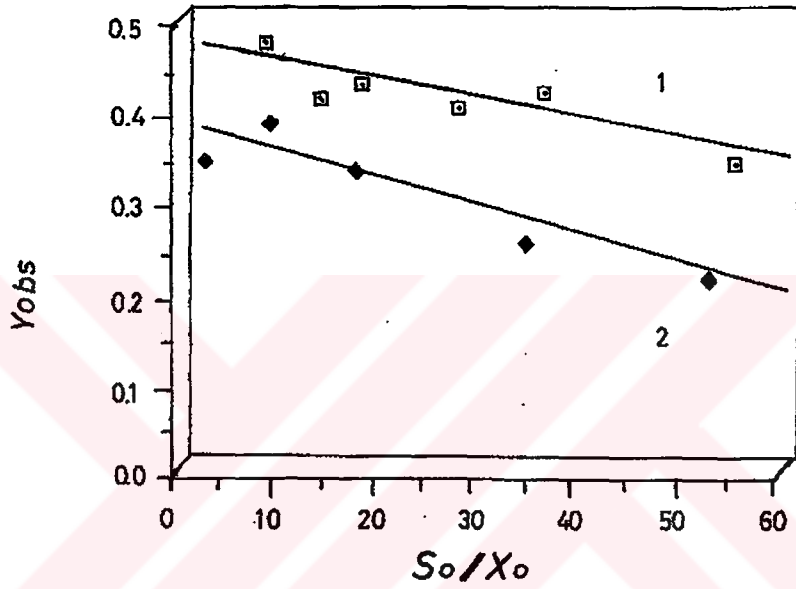
Şekil 2.24 Farklı F/M oranlarında karışık kültürler için KOI eşdeğeri cinsinden glukoz giderimi (Chudoba ve arkadaşları, 1992).



Şekil 2.25 Farklı F/M oranlarında karışık kültürler için KOI eşdeğeri cinsinden alanin giderimi (Chudoba ve arkadaşları, 1992).

Her iki şekilde de F/M oranının 3 değerinden küçük olduğu hem alanin hem de glukozun giderildiği sistemlerde, lineer bir giderim olduğu görülmekte, F/M oranındaki artışa paralel olarak sübstrat konsantrasyonundaki azalma (veya sübstrat

giderimi) daha uzun zamanda ayrışmaktadır. Y_{obs} (gözlenen dönüşüm oranı)'un F/M oranına bağlı olduğu Şekil 2.26'da görülmektedir. Yüksek F/M oranlarında çoğalan sistemlerde hücre artışı için daha fazla enerji gerekli olduğundan düşük Y_{obs} değerleri gözlenmiştir. Benzer sonuçlara Chudoba ve arkadaşları (1991 a) tarafından da ulaşılmıştır.



Şekil 2.26 Y_{obs} ve F/M oranı arasındaki bağıntı (Chudoba ve arkadaşları, 1992).

BÖLÜM 3

AKTİF ÇAMUR SİSTEMİNDE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

3.1 SÜBSTRAT ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Biyolojik arıtma sistemlerinde mikrobiyal büyüme ve sübstrat kullanım hızları sistemdeki nütrient konsantrasyonu ile orantılıdır. Bu nedenle sübstrat özelliğine sahip olan maddenin sistemden giderilmesi ve miktarının doğru olarak ölçülmesi gerekir (Grady ve Lim, 1980).

Belli bir maddenin giderilmesi için tasarlanmış bir sistemde sistemin verimi o maddenin konsantrasyonunun ölçülmesi ile belirlenebilir. Ancak yüzlerce bileşik içeren bir atıksuyun, çözünmüş organik maddelerinin biyolojik olarak arıtılması için tasarlanmış bir sistemde arıtma veriminin özel testlerle ölçülmesi hemen hemen olanaksızdır. Çünkü biyolojik arıtma sistemlerinde birincil (ana) sübstratın metabolize edilmesi sırasında, biyolojik olarak ayrışabilen ara ürünler oluştuğu yada ölen mikroorganizmaların hidrolizi ile ayrışabilir organik maddeler üretildiği gözönüne alınırsa, spesifik sübstrat ölçümlerinin kullanılması, arıtma veriminin hesabı için uygun olmayabilir (Artan, 1987).

Günümüzde aktif çamur sistemlerinde kullanılmakta olan sübstrat ile bağlantılı başlıca üç ölçüm yöntemi vardır; bunlar, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve toplam organik karbon (TOK) dur. Toplam organik maddenin ölçülmesinde, TOK yöntemi, BOİ ve KOİ yöntemlerine göre daha uygun olmasına rağmen iki dezavantaja sahiptir. Birincisi; biyolojik olarak ayrışabilen ve ayrışamayan organik maddeler arasında ayrım yapılamaz. İkincisi ise BOİ ve KOİ'nin tersine, TOK yönteminin organik maddenin oksidasyon

kademesinden bağımsız olma ve organik bileşiklerin oksidasyon kademesi hakkında herhangi bir fikir vermemesidir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı kavramı, aerobik orgonotrofik mikroorganizmalar için elverişli bir organik karbon kaynağı içeren bir atıksuyun kirletme potansiyelinin, mikroorganizmaların bu sudan alınmış bir örnekte gelişmeleri sırasında harcadıkları oksijenin ölçülmesiyle belirlenebilir (Gaudy, 1972).

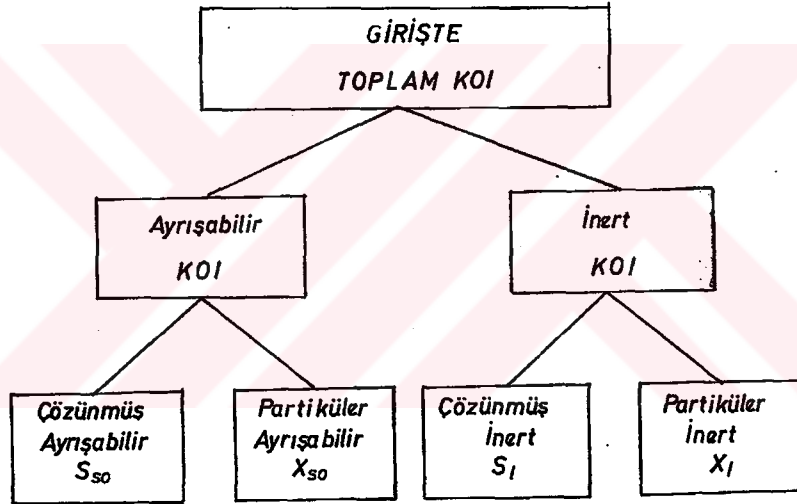
BOI₅ sadece 5 gün zarfında ayrıran süstratı temsil ettiğinden bu parametre atıksudaki süstrat düzeyini tamamıyla yansıtmaz. Ayrıca, deneyde aşısı olarak kullanılan mikroorganizmalar, atıksudaki süstrata aklime edildiğinde veya atıksu biyolojik gelişmeyi engelleyici inhibitörler içerdiğinde hatalı BOI₅ sonuçları elde edilebilir. Biyolojik olarak inert organik maddeler de, BOI₅ deneyinin önemli hata kaynaklarından birini oluşturur. Ayrıca yöntemin oldukça zahmetli olması, en az 5 gün sürmesi, deney koşullarından çok fazla etkilenmesi gibi dezavantajları, BOI₅ parametresinin, biyolojik arıtma sistemlerinin tasarım ve işletilmesinde kullanışlılığını azaltmaktadır.

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

Ancak, ölçüm yöntemleri arasında, organik süstrat, biyokütle ve kullanılan oksijen arasında eşdeğeri cinsinden bir ilişki kurabilen ve bir kütle dengesi kurulabilmesine olanak tanıyan sadece KOI ölçümüdür (Gaudy ve Gaudy, 1971). KOI aynı zamanda

biyolojik olarak ayrışabilirlik açısından organik maddeler arasında bir ayırım yapmaz. Dolayısıyla, KOI genellikle diğerlerine tercih edilir. Ayrıca, KOI daha az emek ve zaman gerektiren ölçüm yöntemidir. Bu nedenle, KOI bileşenlerinin tanımlanması gerekir.

Ekama ve arkadaşlarına (1986) göre, bir atıksuyun KOI'si iki ana bileşene ayrılabilir: Biyolojik olarak ayrışamayan (inert) ve biyolojik olarak ayrışabilen kısımlar. İnert KOI bölümü de kendi içinde çözünmüş ve partiküler olmak üzere ikiye ayrılabilir. Aynı şekilde ayrışabilen KOI'yi çözünmüş ve partiküler olarak ayırmak mümkündür (Şekil 3.1). Bu bakımdan KOI daha kullanışlı bir parametredir.



Şekil 3.1 Bir atıksudaki toplam KOI'nin bölümleri.

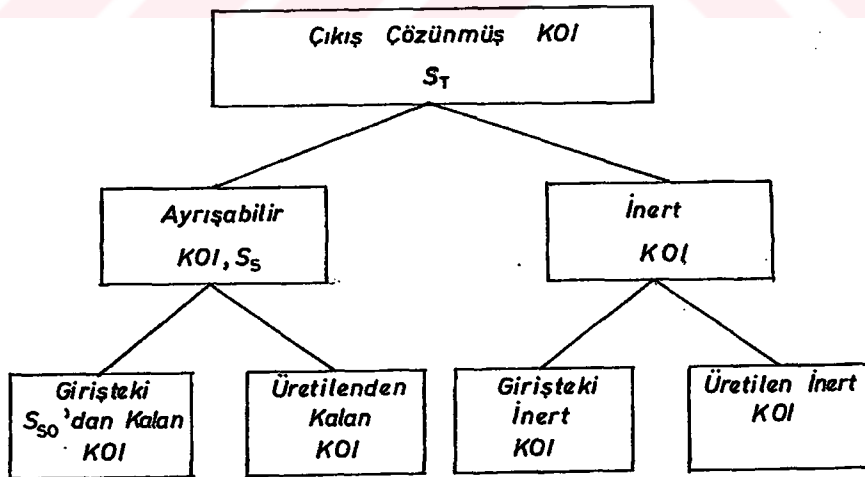
Uluslararası Su Kirlenmesi Araştırmaları ve Kontrolü Birliği (IAWQ) tarafından oluşturulan çalışma grubunun modeline göre de atıksudaki organik maddeler, biyolojik olarak ayrışabilen ve ayrışamayan olarak ikiye ayrılmaktadır. Aktif çamur sistemlerinden hiçbir değişikliğe uğramadan çıkan, biyolojik olarak ayrışamayan kısım; biyolojik bakımdan inert kısım olarak tanımlanır. İnert çözünmüş organik madde S_I sembolü ile, inert askıdaki organik madde ise X_p ile gösterilir. Biyolojik olarak ayrışabilen organik kısımda kolay ayrışabilen kısım, S_s ve yavaş ayrışabilen kısım, X_s olmak üzere ikiye ayrılabilir.

Doğrudan heterotrofik bakteriler tarafından alınan ve yeni biyokütlelerin çoğalması için kullanılan kolay ayrışabilen kısım nisbeten basit moleküllerden oluşur. Daha kompleks moleküllerden oluşan yavaş ayrışan kısım ise kullanılmadan önce kolay ayrışabilir süstrata dönüştürülür (Henze ve arkadaşları, 1987).

Artan (1987)' ın geliştirdiği modele göre ise giriş akımındaki toplam KOI; çözünmüş olduğu kabul edilen kolay ayrışabilen organik maddeden (S_s), partiküler formdaki yavaş ayrışabilir organik maddeden (X_s), inert çözünmüş organik maddeden (S_I) ve inert partiküler organik maddeden (X_I) ibarettir. Şekil 3.2 'de görüldüğü gibi çıkış akımındaki çözünmüş KOI'de ayrışabilir ve inert olarak iki kısma ayrılabilir. Çözünmüş inert organik madde de (3.1) nolu denklemde görüldüğü gibi atıksudaki çözünmüş inert organik madde (S_I) ile çözünmüş ürünlerin (S_R) toplamına eşittir (Orhon ve diğerleri 1989).

$$KOI_e = S_s + S_I + S_R \quad (3.1)$$

Burada, KOI_e = mg/L cinsinden çıkış suyundaki toplam süstrat konsantrasyonudur.



Şekil 3.2 Bir arıtma tesisi çıkışında çözünmüş KOI'nin bölümleri

Giriş KOI değeri ve bileşenleri özellikle kuvvetli atıklarda ve endüstriyel deşarjlarda son derece önemlidir ve doğru olarak belirlenmesi gerekir. Bu nedenle,

pek çok araştırmacı tarafından girişteki çözünmüş KOI'nin inert kısmının belirlenmesi için ölçüm yöntemleri geliştirilmiştir (Ekama ve arkadaşları, 1986; Henze ve arkadaşları, 1987; Germirli, 1990).

3.1.1 Karbonhidrat Tayin Yöntemi (Anthrone Testi)

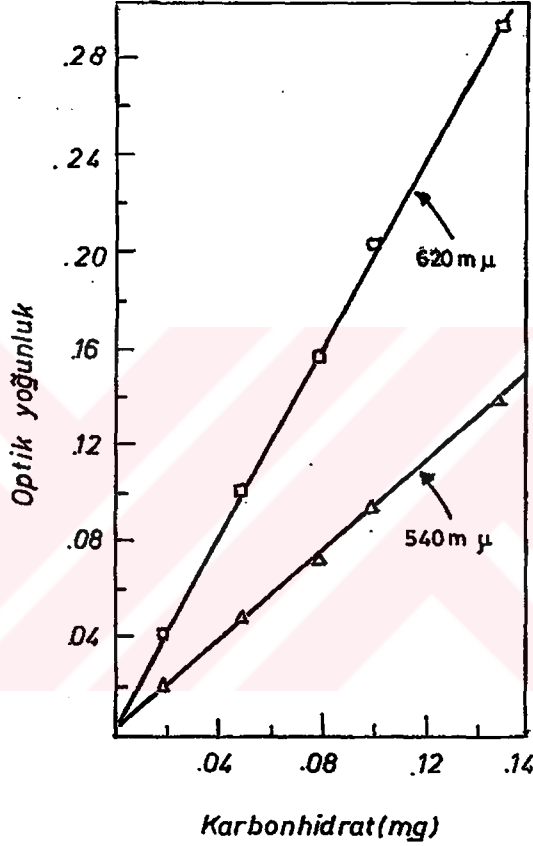
Bu konu ile ilgili çalışmalar süstratın metabolize edilmesi esnasında aktif çamurda meydana gelen biyokimyasal değişimlerle yakından ilgilidir (Gaudy, 1962). Böyle çalışmalarda kullanılabilen, biyokimyasal parametreler arasında protein ve karbonhidrat, çamurun içeriğidir. Biyokimyasal ve mikrobiyolojik literatür bu bileşenleri ölçmek için kullanılan, doğruluğu ve yeniden üretilebilirliği kanıtlanmış testlerle dolu olmasına rağmen, gerçekte heterojen bir biyolojik kütlenin test örneği olarak kullanılabileceği birçok metod ve modifikasyonlar vardır.

Karbonhidratların tayininde *Anthrone testi* sıkça kullanılan bir yöntemdir. Anthrone testi standart glukoz çözeltisi kullanılarak renk gelişimine dayanır. Belirli şekerleri ölçmek için özel testler mevcuttur. Zamanla değişken yapıda ve zincir boyunda bir örneğin toplam karbonhidrat miktarını ölçmek için de testler geliştirilmiştir.

Anthrone testi halihazırda toplam karbonhidrat kapsamının ölçümü için en uygun metoddur. Bu test kuvvetlice aside çevrilen anthrone ve karbonhidrat içeren bir örnek arasındaki reaksiyonun mavi yada mavi yeşil bir renk kompleksine dayanan kolay yapılan ve hızlı bir spektrofotometrik analiz sağlayan bir yöntemdir. Burada ortam kuvvetli asidik olduğu için karbonhidratın önceden hidrolizine gerek yoktur. Bu reaksiyon örnek ve ayıracın karıştırılması için meydana çıkan ısı tarafından başlatılır.

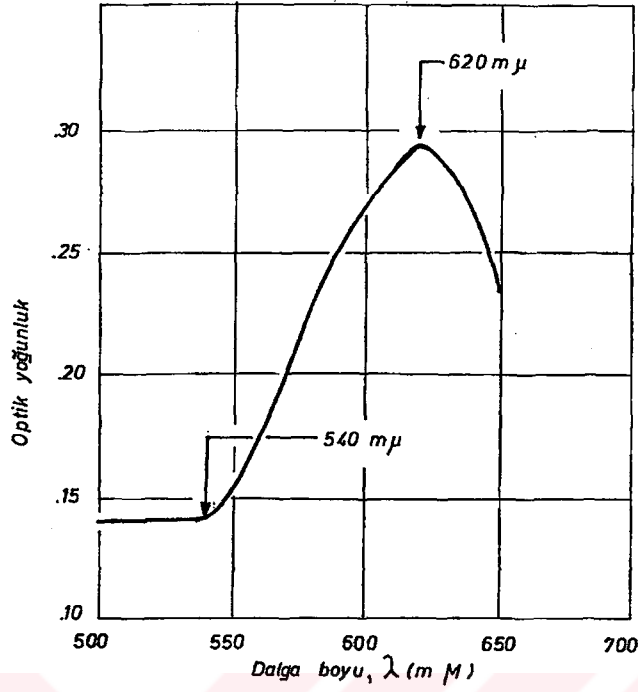
Seifter ve arkadaşları (1950) ve Trevelyan ile Harrison (1950), örnek ve ayıracın soğukta karışıldıkları takdirde yeniden üretilebilirliğinin büyük oranda arttığını bulmuşlardır. Reaksiyon ısı tarafından başlatıldığından anthrone ayıracının ön soğuması ya ilk sıcaklıkta yada reaksiyon sürerken artmaktadır. Reaksiyonun oluşumu için gerekli zaman ve karıştırmanın hızı önemlidir. Örnek ve ayıraç

sıçratılmadan mümkün olduğunca çabuk karıştırılmalı ve belli bir zaman süresi için kaynayan su banyosuna konmalıdır. 15 dakikalık kaynama periyodunun sonunda içinde örnek ve anthrone bulunan tüpler çıkarılarak, soğuksuya yerleştirilir. Oda sıcaklığına ulaşan tüpler 540 nm yada 620 nm dalga boyuna ayarlanmış olan spektrofotometrede okunarak standartlarla karşılaştırılır (Şekil 3.3).



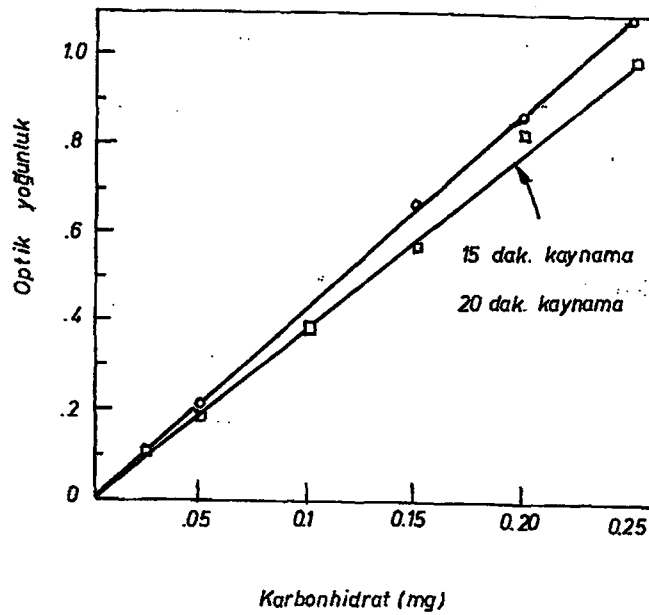
Şekil 3.3 Kolorimetrik Anthrone metodunda glukozun dalga boyunda değişimi (Gaudy, 1962).

Geliştirilen renk, Şekil 3.3'de gösterildiği gibi her iki dalga boyunda da biyolojik arıtma konusunda çalışan araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. Renk gelişimi için belirlenen spektrum, 540 nm dalga boyunda düzlük gösterirken, 620 nm de keskin bir tepe gösterir. Bu durum Şekil 3.4'de verilmiştir. Absorbans eğrisi bu dalga boyları arasında yükselmektedir. Ayrıca, Şekil 3.3'de görülebileceği gibi 620 nm dalga boyundaki duyarlılık 540 nm dalga boyundaki duyarlılığın yaklaşık iki katıdır. Çünkü 620 nm dalga boyunda keskin bir tepeye ulaşma sözkonusudur.



Şekil 3.4. Kolorimetrik Anthrone metodunda dalga boyu yoğunluk değişimi (Gaudy, 1962).

Anthrone testinde kaynama süresi de önemli bir faktördür. Kaynama zamanı arttıkça renk koyuluğunun artmasını gösteren kaynama noktasının etkisi Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Kolorimetrik Anthrone metodunda kaynama süresinin etkisi (Gaudy, 1962).

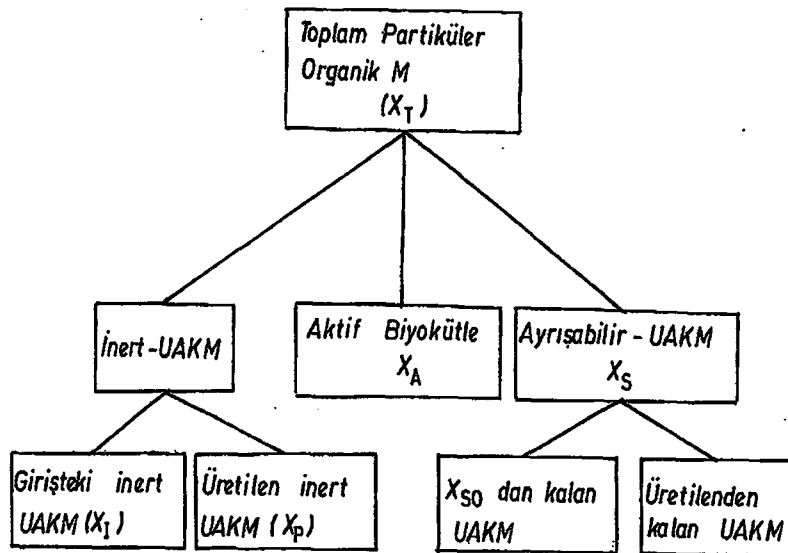
Örnekler ayıraç, blank (şahit) ve standartlar aynı zamanda hazırlanıp kaynatıldığından kaynama süresindeki değişiklik önemli bir değişken olarak gözükmebilir. Bununla beraber, farklı zamanlarda çalıştırılan değişik numunelerin karbonhidrat kapsamları karşılaştırıldığında sabit bir kaynama zamanının sağlanabilmesi tavsiye edilir.

3.2 BİYOKÜTLE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

3.2.1 Biyokütle Ölçümünde Kullanılan Metodlar

Aktif çamur biyokütlesinin bileşimi ve biyolojik aktivitesi, sistemdeki reaksiyon oranlarını etkiler, dolayısıyla biyolojik arıtma havuzunun hacmi de bu olaydan etkilenir.

Aktif çamur sisteminde mikroorganizmaların ölçümünde kullanılan uçucu askıda katı madde (UAKM veya MLVSS) parametresi ile ölçülebilecek toplam partiküler organik madde (X_T) nin fraksiyonları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Aktif çamur sisteminde uçucu askıda katı maddelerin fraksiyonları.

UAKM gibi askıda katı madde (AKM veya MLSS) parametresi de aynı amaç için kullanılır. Ayrıca AKM, inorganik partiküler maddeyi de ölçen bir parametredir.

Henze (1986) ,yapmış olduğu deneysel çalışmalarda ham evsel atıksuyun 40 - 80 mg VSS/L düzeyinde bir biyokütleyle sahip olduğunu göstermiştir. UAKM ölçümlerinin Standard Metodlar 1985'e göre yapıldığı bir diğer deneysel çalışmada, Henze (1989), ham atıksu içindeki biyokütlenin, aktif çamur biyokütlesinin aktivitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabildiğini belirtmiştir . Bu haliyle, ham atıksu biyokütlesi aktif çamur işleminde oksijen solunum aktivitesini düşürerek aktif çamur havuzunun dizaynını etkileyebilmektedir.

Biyokütle aktivitesini veren değişik metodlar vardır :

Enzim veya solunum aktifliği , adenozin trifosfat (ATP) analizi bunlardandır. Biyokütle ve çoğalmanın belirlenmesi dikkat gerektirir, ayrıca diğer metodlarla karşılaştırma yapılması uygun olur. Bu metodlardan ATP ölçümünü pek çok araştırmacı aktif çamur sistemi için en uygun yöntem olduğunu belirtmişlerdir (Nelson ve Lawrence, 1980; Droste ve arkadaşları, 1983; Droste ve Sanchez, 1983).

Stanley (1986), numunenin ATP analizinde çoğalma sırasında nütrient konsantrasyonları, oksijen miktarı, sıcaklık ve pH gibi parametrelerdeki değişimlerin örneğin ATP seviyesini etkilediğini savunmuştur.

Pelkonen ve Tenno (1993)' ya göre orjinal biyoaktiviteyi hem oksijen tüketimi hemde karbondioksit üretimi ile ölçmek mümkündür. Bu metodla bulunan sonuçlar aktif biyokütlenin ATP analiz metodları ile belirlenmesi işlemine dayanan sonuçlarla farklılık göstermektedir.

3.3 KİNETİK SABİTLERİN HESABINA AİT ÇALIŞMALAR

Kesikli bir reaktörde tek bir sübstratın mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılma hızı Monod denklemi (2.1) ile verilmiştir. (2.1) denklemi, S_0/X_0 oranı 2'den küçük olduğunda çoğalmayı tanımlayan μ_m ve K_s değerlerine bağlı olarak denklem (2.2) halini alır. Çoklu sübstrat olması durumunda ise ayrışma denklemi;

$$-\frac{dS}{dt} = K_{n(s)} X \left[\frac{S}{S_o} \right]^n \quad (3.2)$$

şeklinde yazılır.

Çoklu sübstrat giderim kinetikleri 1. Derece olduğunda ;

$$\frac{S}{S_o} = \exp\left(-\frac{K_{1(s)} X_o t}{S_o}\right) \quad (3.3)$$

2. Derece olduğunda ;

$$\frac{S}{S_o} = \frac{1}{1 + \frac{K_{2(s)} X_o t}{S_o}} \quad (3.4)$$

denklemleri elde edilir (Grau ve arkadaşları, 1975).

(3.4) denklemi, bu konuda daha önce çalışmalar yapan Tucek ve arkadaşları (1971) tarafından ileri sürülen eşitlikle karşılaştırılmış deneysel olarak doğrulanmıştır. Grau ve arkadaşları (1975) tarafından 1. Derece eşitliği linearize edildiğinde (3.5) denkleminde dönüşür.

$$-\log \frac{S}{S_o} = p.t \quad (3.5)$$

Benzer şekilde 2. Derece eşitliğinden de;

$$\frac{t - S_o}{S_o - S} = a + b.t \quad (3.6)$$

elde edilir.

Aktif çamurda glukozun kinetik sabitleri ile ilgili dataların bazıları kesikli sistem bazıları ise sürekli sistem ve kemostat sisteme ait deneylerden elde edilmiş değerlerdir (Eremektar, 1997). Glukozun çoğalma sabitleri ile ilgili değerler Grady ve Lim (1980) tarafından Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Glukoz ile ilgili çoğalma sabitleri (Grady, Lim. 1980).

Substrat	μ_m (1/ saat)	K_s (mg/L)	Kaynak
Glukoz	0.31-0.77	11-181	Gaudy ve Gaudy (1971)
Glukoz	0.69	26	Chiu ve diğerleri (1972)
Glukoz	0.18	---	Garett ve Sawyer (1952)
Glukoz	---	133	Tench ve Marton (1962)
Glukoz	0.36	103	Muck ve Grady (1974)
Glukoz	0.38-0.49	11-29	Peil ve Gaudy (1971)
Glukoz	0.35	8	Gates ve Marlar (1968)

Çoğalma sabitleri μ_m ve K_s ile ilgili Ramanathan ve Gaudy (1969)’nin yaptıkları deneysel çalışmalarda elde edilen değerler ise Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Glukozun çoğalma sabitleri (Ramanathan ve Gaudy,1969).

Sistem	Glukozun giriş kons.. (mg/L)	μ_m (1/saat)	K_s (mg/L)	Y_B (mg/mg)	Y_C (mg/mg)
Kemostat	1000	0.53	90	0.45	0.65
Kemostat	3000	0.52	57	0.47	0.57
Tam karışımlı geri devirli	1000	0.47	67	0.50	0.70

Y_B : kesikli sistem deneylerinden hesaplanan dönüşüm oranı

Y_C : sürekli sistem deneylerinden hesaplanan dönüşüm oranı

μ_m değerlerinin glukozun giriş konsantrasyonuna bağlı olarak çok fazla değişmediği ancak K_s ve Y_C değerlerinin değiştiği bu tablodan görülmektedir.

Ramanathan ve Gaudy (1969), μ_m , K_s ve dönüşüm oranı (Y) değerlerinin sırasıyla 0.5-0.6 1/saat, 75-125 mg/L, 0.6 mg/mg substrat değerlerine eşit alınabileceğini göstermişlerdir.

Glukozun maksimum çoğalma hızını Law ve Button (1977) ise $\mu_m=0.15$ 1/saat olarak vermişlerdir (Eremektar, 1997).

Peil ve Gaudy (1971) ile Chudoba ve arkadaşları (1985) ise F/M oranını baz alarak farklı F/M oranlarında kesikli sistemler için kinetik sabitlerin değişim aralıklarını vermişlerdir. Tablo 3.3 düşük ve yüksek F/M oranlarında kesikli sistemlerde gözlenen kinetik sabitlerin değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.3. Yüksek (Peil ve Gaudy, 1971) ve düşük (Chudoba ve arkadaşları, 1985) F/M oranlarında çoğalma sabitleri (Chudoba, 1992).

Substrat	Yüksek F/M		Düşük F/M	
	μ_m (1/saat)	K_s (mg/L)	μ_m (1/saat)	K_s (mg/L)
Glukoz (1)	0.49	29	0.140	20.8
Glukoz (2)	0.38	11	0.034	2.0
Asetik Asit (1)	0.36	41	0.032	2.2
Asetik Asit (2)	0.29	47	0.017	0.7
Glutamik Asit (1)	0.78	47	0.035	3.0
Glutamik Asit (2)	0.59	95	0.020	0.9
Alanine (1)	0.33	27	0.039	3.2
Alanine (2)	0.18	15	0.010	0.8

(1) Peil ve Gaudy (1971): Yarı kesikli sistemde kanalizasyon mikroorganizmaları için çamur yaşı (θ_c)=1.1 gün.

Chudoba ve arkadaşları (1985): Floklaşmış karışık kültür için $\theta_c=4.3$ gün.

(2) Peil ve Gaudy (1971): Yarı kesikli sistemde kanalizasyon mikroorganizmaları için $\theta_c=1.1$ gün.

Chudoba ve arkadaşları (1985): Tam karışımli reaktörde filamentli karışık kültür için $\theta_c=4.3$ gün.

Eremektar (1997) kesikli sistemlere ait kinetik sabitlerin belirlenmesi için Levenspiel'in (1980) önerdiği yöntemi kullanarak yaptığı deneysel sonuçlardan yararlanarak μ_m ve K_s kinetik sabitlerini belirlemiştir. Elde edilen değerlerden glukoz için $\mu_m=3 \text{ gün}^{-1}$ ve $K_s=10 \text{ mg/L}$ bulunmuştur.

Qasim ve Stinehelfer (1982), kesikli ve sürekli sistemler de yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda kullanılan bakteri kültürünün dönüşüm oranı (Y), ve iç solunum katsayısı (K_d), üzerine etkileri olduğu sonucuna varmışlardır. Ancak, bakteri kültürünün maksimum sübstrat giderim hızı (μ_m) ve K_s katsayıları üzerine hiçbir etkisi yoktur.

μ_m ve K_s Monod denkleminin lineerleştirilmesi ile bulunabilir.

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_m} + \frac{K_s}{\mu_m} \cdot \frac{1}{S} \quad (3.7)$$

$$\frac{S}{\mu} = \frac{K_s}{\mu_m} + \frac{1}{\mu_m} \quad (3.8)$$

Braha ve Hafner (1987) endüstriyel atıksular için Y, μ_m ve K_s gibi kinetik sabitleri belirlemiş, S_0 başlangıç sübstrat değeri için belirli bakteri çoğalma hızının

$$\mu = \frac{\Delta X}{\Delta t \cdot X} \quad (2.5)$$

olduğunu doğrulamışlardır.

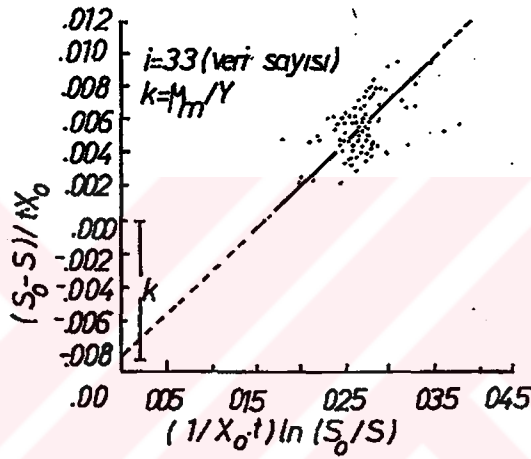
Kesikli sistemler için Levenspiel (1972) tarafından önerilen Michaelis - Menten denkleminin lineer şeklini de kullanmak mümkündür (Denklem 3.9).

$$\frac{\ln(S_0 / S)}{S_0 - S} = -\frac{1}{K_s} + \frac{\mu}{Y \cdot K_s} \cdot \frac{X_0 t}{S_0 - S} \quad (3.9)$$

Kesikli bir reaktör verileri için denklem (3.9) yerine (2.2) denklemi düzenlenerek elde edilen (3.10) denklemi de kullanılabilir.

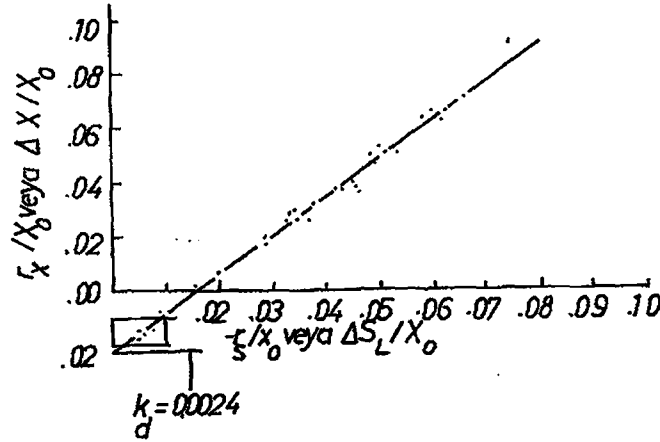
$$\frac{S_o - S}{X.t} = \frac{\mu_m}{Y} - \frac{K_s \ln(S_o / S)}{X.t} \quad (3.10)$$

(3.10) denklemi yardımı ile Şekil 3.7 deki gibi değişim gözlemlenebilir.



Şekil 3.7 (3.10) eşitliği yardımıyla sübstrat giderimi modellemesinin regresyon doğrusu (Braha ve Hafner, 1987).

Kinetik parametreler yukarıdaki metodlar yardımıyla bulunduktan sonra Reynolds ve Yang (1966) tarafından teklif edilen , $r_x = Y \cdot r_s - K_d \cdot X_a$ eşitliğiyle Y ve K_d 'nin sağlanması yapılır. K_d ve Y değerlerinin sağlanabilir bir regresyon doğrusu Şekil 3.8'de görüldüğü gibi elde edilir.



Şekil 3.8 Reynolds ve Yang metoduna göre Y ve K_d değerlerinin regresyon doğrusu (Braha ve Hafner, 1987).

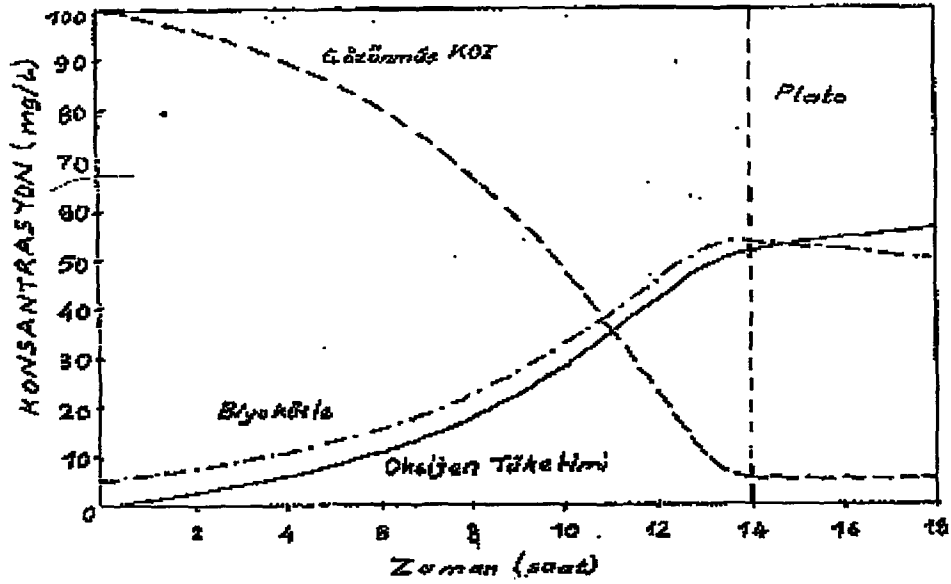
Sonuç olarak, sonuç korelasyonu eşrakamı $r_k = 0.995$ ve $r = 33$ deneysel veri tarafından $K_d = 0.0224$ gün⁻¹ lik ölçüm katsayısı ile $Y = 1.426$ kg MLVSS / kg ATOK olarak bulunmuştur.

Cech ve arkadaşları (1985), μ_m ve K_s 'in bulunması için respirometrik yöntem kullanmışlardır. Deneysel çalışmada çözünmüş oksijen konsantrasyonu 6 - 8 mg/L olana kadar sistem havalandırılmıştır. Havalandırma kesildiğinde, heterotrofik içsel solunum nedeniyle çözünmüş oksijen konsantrasyonu yavaş bir hızla düşmüştür. Sübstrat ve giderim hızı belirlendikten sonra (3.11) eşitliğinden yararlanılarak kinetik sabitler bulunur.

$$q = r_{x\max} \cdot \frac{S}{K_s + S} \quad (3.11)$$

Burada, q = spesifik sübstrat giderim hızıdır.

Grady ve arkadaşları (1989), inert ürün oluşumunu dikkate alan sistemler için (2.1), (2.21), (2.7) denklemlerini kullanarak basit organik bileşiklerin biyolojik ayrışma kinetiklerini belirleyen teknikler geliştirmişlerdir. Sistemin oksijen tüketimi ise daha önce verilen (2.10) denklemi ile belirlenmiştir. Bu sistemden elde edilen oksijen eğrileri, çözünebilir KOI giderimi ve biyokütle artışı Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Kesikli sistemde zamana bağlı konsantrasyon değişimleri (Grady, 1989).

Kinetik parametrelerin sonuçlarının güvenilir olması için S_{s0} , X_0 değerlerinin belirlenmesi gerekir. S_{s0} / X_0 oranının 20 civarında olması durumunda μ_m , K_s ve Y uygun değerler alır. Y_p değeri sayısal olarak inert çözünmüş KOI'nin başlangıç çözünmüş KOI'nin değerinin bölümüne eşittir. Ölüm katsayısı (b) nin değeri, sübstrat giderim hızının 0 olduğu noktadaki net çoğalma hızına eşittir.

Robinson ve Tiedje'nin geliştirdiği yeni yöntemde ise çözüme başlamak için μ_m ve K_s ve Y 'nin başlangıç tahmini değerleri seçilir. Y 'nin başlangıç değeri genel olarak gerçek değerine yakındır. Sabit bir Y değeri için $\mu_m - K_s$ belirlenerek μ_m ve K_s değerlerinin her çiftiyle ilgili hata payını hesaplayarak bunlardan en küçüğü bulunur. Değerler arasındaki aralıklar parametrelerin başlangıç tahminlerinin tabiatına göre tayin edilir, fakat araştırma normal olarak aralığın giderek azaldığı üç basamak halinde yapılırsa iyi olur. İlk Y değeriyle ilgili minimum hata payı bulunduğundan sonra yeni bir değer varsayılır ve bütün işlem tekrar edilir. Hata payı Y 'ye göre monotonik davrandığından hata payının yeni bir Y değeri için yükseldiği anda işlem sona erdirilir. Minimum hata payına karşı gelen μ_m , K_s ve Y değerleri en iyi tahmini değerlerini teşkil eder.

Glukozun spesifik bozunma hızı ile ilgili çalışmalar ise Grady ve Lim (1980) tarafından Tablo 3.4'deki gibi verilmiştir.

Tablo 3.4. Glukozun kültürlerde spesifik bozunma hızı (Grady ve Lim,1980).

Organizma	Süstrat	Bozunma hızı (1/saat)	Kaynak
A. aerogenes	Glukoz	0.080	Topiwala ve Sinclair (1971)
A. cloacae	Glukoz	0.041	Pirt (1965),
E. Coli	Glukoz	0.028	Marr ve diğerleri (1963)
P. fluorescens	Glukoz	0.12	Menett ve Nakayama (1971)
P. fluorescens	Glukoz	0.11	Palumbo ve Witter (1969)
Karışık kültür	Glukoz	0.019	Chiu ve diğerleri (1972)
Karışık kültür	Glukoz	0.023	Muck ve Grady (1974)
Karışık kültür	Glukoz	0.0036	Stack ve Convay (1959)

Boero ve arkadaşları (1991), glukoz ve fenol kullanarak kesikli bir sistemde çözünmüş mikrobiyal ürün oluşumunu incelemişler, 5 adet kesikli reaktör ile çalışarak her deney için kinetik katsayıların değerlerini belirlemişlerdir. Kinetik katsayıların ortalama değer etrafındaki standart sapmaları oldukça küçüktür ve modelle gerçek değerler arasında iyi bir uyum sağlanır. Çalışmalar sonucunda fenolün glukozdan daha kolay bozunduğu görülmüştür.

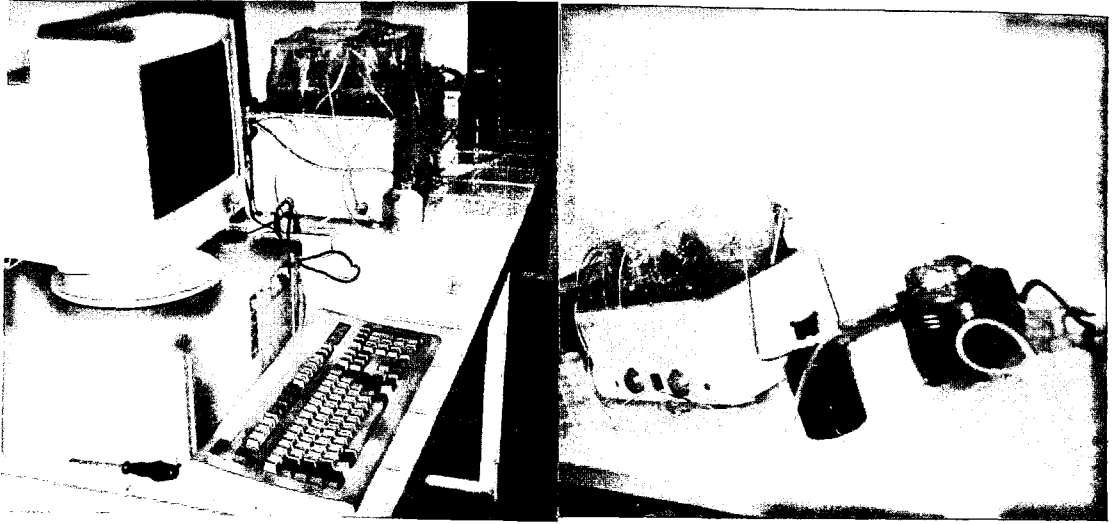
BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Birinci bölümde de belirtildiği gibi bu çalışmanın asıl amacı mikroorganizma ve sübstratın başlangıç (X_0 , S_0) konsantrasyonlarının oluşan kalıcı ürün (S_R) konsantrasyonunun değişimine etkisini incelemektir. Bu maksatla Tablo 4.3'deki matrisde verilen kesikli reaktör deneylerini yapabilmek için glukozun 100, 200, 300, 400, 500 mg KOI/L 'lik konsantrasyonları ile yüklenen reaktörlerden herbirine sıra ile 100, 200, 300, 400, 500 mg/L'lik X_0 başlangıç mikroorganizma konsantrasyonlarını sağlayacak şekilde glukozla alıştırılmış heterojen ve aynı bir biyokütle topluluğundan ilave edilerek yirmibeş reaktörden meydana gelen kesikli bir reaktör takımı oluşturulmuştur.

4.1 MATERYAL ve METOD

Bu çalışmada etkili hacmi 2 L olan laboratuvar ölçekli cam malzemeden yapılmış reaktörler kullanılmıştır. Tam karışım iki adet akvaryum pompası, oksijen ihtiyacı ise bir adet hava kompresörü yardımıyla sağlanmıştır. Çalışma düzeneği şematik olarak Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Deneysel çalışmanın yürütüldüğü kesikli dörtlü reaktör seti.

Kesikli beslenen reaktörlerde sübstrat olarak litrede 93,8 mg glukoz bulunan ve KOİ değeri 100 mg/L olan çözeltiler kullanılmıştır. Bu 100 mg/L'lik KOİ değeri sübstratın %100 oksidasyonuna tekabül eden teorik değeridir. Deneysel çalışmada sübstrat olarak kullanılan glukoz için Tablo 4.1'de genel bilgiler verilmiştir.

Tablo 4.1 Glukoz ile ilgili genel bilgiler

D(+) Glukoz	
Kimyasal formülü	$C_6H_{12}O_6$
Mol ağırlığı	180.16 g/mol.
Erime noktası	146°C
Teorik oksijen ihtiyacı	1.06
Deneysel KOİ eşdeğeri	1

Reaktör ortamının mineral madde, azot ve fosfor ihtiyacını karşılamak için bileşenleri Tablo 4.2'de verilen A ve B çözeltilerinden 1000 mg/L KOİ için 10'ar mililitre ilave edilmiştir.

Tablo 4.2 A ve B çözeltilerinin içerikleri

A Çözeltisi, 2 Litre -	K_2HPO_4 ,	320 g/L
	KH_2PO_4 ,	160 g/L
	NH_4Cl ,	120 g/L
B Çözeltisi, 2 Litre -	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$,	15 g/L
	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$,	0.5 g/L
	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$,	0.5 g/L
	$MnSO_4 \cdot 3H_2O$,	0.5 g/L
	$CaCl_2$,	2 g/L

Reaktörlere aşı mikroorganizma (ayırıştırıcı) olarak İ.T.Ü. Kampüsü kanalizasyon sisteminden alınan evsel atıksudan sağlanan mikroorganizmalar ilave edilmiş, atıksu içindeki mikroorganizmalar çalışma sırasında glukoz çözeltisine yaklaşık olarak 20 gün aklime edilmiştir.

Deneyssel çalışmaya önce İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında başlanmış daha sonra aklime edilen sistemler Bursa Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarına taşınmıştır.

Deney düzeneği 1995 yılı Temmuz ayında kurulmuş, yaklaşık iki yıl boyunca devam eden çalışmalar Mayıs 1997'de tamamlanmıştır.

Sistem kesikli olarak çalıştırılmış, çözeltilerin ve mikroorganizma miktarının ilavesinden sonra musluk suyu ile reaktörler 2 L'ye tamamlanarak deneye hazırlanmıştır. Bakiye klorun giderilmesi ve mikroorganizmaların olumsuz yönde etkilenmemesi için dinlendirilmiş musluk suyu kullanılmıştır.

Herbir reaktör sisteminin pH' sı düzenli olarak ölçülerek, pH' nın 7.1 - 7.2 arasında tutulması için zaman zaman reaktörlere 1N NaOH veya 0,1N H₂SO₄ çözeltilerinden yeteri kadar ilave edilmiştir.

Deneyler 20±3 °C 'de oda sıcaklığında yapılmıştır. Yaz ve bahar aylarında bu sıcaklık değerini sağlamak nisbeten kolay olmuş, Kasım ayından itibaren bilhassa sıcaklığın düştüğü kış aylarında su banyosu ile ortam sıcaklığının sabit tutulmasına çalışılmıştır. Sıcaklıklar günlük olarak takib edilmiştir.

Aklimasyon süresi (yaklaşık 20 gün) tamamlandıktan sonra tasarlanan çalışma programı şematik olarak S₀ / X₀ veya F/M (Food to biomass) oranları ile beraber Tablo 4.3'de özetlenmiştir.

Tablo 4.3 Glukoz ve Biyokütlenin seçilen başlangıç konsantrasyonları için tasarlanan reaktörlerde S_0 / X_0 ve de F/M oranları.

Glukoz (S_0) Biyokütle (X_0)	100	200	300	400	500
	mgKOl/litre	mgKOl/litre	mgKOl/litre	mgKOl/litre	mgKOl/litre
100 mg/litre	1	2	3	4	5
200 mg/litre	0.50	1	1.50	2	2.50
300 mg/litre	0.333	0.666	1	1.333	1.666
400 mg/litre	0.25	0.50	0.75	1	1.25
500 mg/litre	0.20	0.40	0.60	0.80	1

Tablo 4.3'ün oluşturulmasında aktif çamur sistemlerinde pratikte karşılaşılabilecek yüklemelere ilave olarak S_R oluşumuna etki edebilecek geniş bir F/M aralığının değişimi dikkate alınmış, bazı kaynaklarda (Chudoba ve arkadaşları, 1992; Pitter ve Chudoba,1990) verilen çok düşük X_0 değerlerine tekabül eden 20-40 gibi F/M oranlarının pratik değeri olmadığından gözönüne alınmamıştır.

Deneylere birinci sütundan başlanarak devam edilmiş, çalışmalar ikili reaktör grupları ile yürütülmüş, her deney için paralel iki reaktör kurularak bazen zamana göre aynı anda dört reaktörde X (biyokütle), S (KOl), C (Glukoz) ölçümleri yapılmıştır.

Ocak ve Şubat aylarında mevsim şartlarının olumsuzluğu nedeniyle reaktör sayısı üçe düşürülmüştür (F/M oranı 0,5'den küçük ve 2 değerinden büyük reaktörlerde deneysel çalışma üç kez tekrarlanmıştır).

Reaktör muhteviyatının hergün düzenli olarak analizinden önce buharlaşmadan meydana gelen su kayıpları, dinlendirilerek havalandırılmış saf su ile tamamlanmıştır.

Analizler için tam karışımdan 25-30 ml numune alınmış, AKM, UAKM, KOI ve Glukoz analizleri yapılmıştır. Bu işlemlere reaktör ortamı dengeye ulaşana kadar devam edilmiştir.

Glukoza alıştırılmış mikroorganizmaların bulunduğu reaktör, dengeye ulaştıktan sonra asıl deney ve ölçümler için son kez glukozla beslenmiştir. Reaktör karışımından belirli zaman aralıklarında 20-30 ml'lik numune alınarak vakum filtrasyon yöntemi ile Whatman GF/C (0.45 μ) filtre kağıdından süzölmüş, süzme işlemini takiben AKM, UAKM ve süzöntüde KOI analizleri yapılmıştır.

Analizler için Standard Metodlar (APHA, 1989)da verilen prosedürler takip edilmiştir. Yukarıda belirlenen parametreler 0; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180; 240; 300; ... dakikalık zaman aralıklarıyla ölçölmüştür.

Düzenli bir laboratuvar çalışması sağlanması ve gelecekte yapılacak benzer çalışmalara bir temel teşkil etmesi bakımından deneysel sonuçların Tablo 4.4'te verilen bir listeye kaydedilmesi uygun görölmüştür. Bu amaçla, 2 saatlik bir deneysel çalışma için hazırlanan ölçömler listesinin bir örneğı Tablo 4.4'te verilmiştir (60 ıncı dakikaya kadar seyreltme işlemi yapılmıştır).

Reaktörlerdeki glukoz konsantrasyonu sıfır değeriine ulaşana kadar analizlere devam edilmiş, sistemdeki glukozun tükenmesinden sonra kalıcı ürün oluşumunu takip etmek üzere daha uzun zaman aralıklarıyla (günde bir veya iki defa olmak üzere) numuneler alınarak, analizler yaklaşık olarak 10 ile 20 gün boyunca sürdürölmüştür. S/X oranı büyük olan reaktörlerde bu süre daha da uzatılmıştır. Analiz sonuçları, örneğı Tablo 4.4'te verilen listelere kaydedilmiştir.

Glukoz konsantrasyonunu ölçmek için üçüncü bölümde bahsedilen Kolorimetrik Anthrone Metodu (İkincil Metod) kullanılmıştır.

4.1.1 Kolorimetrik Anthrone Metodu ile Glukoz Ölçümü

Glukoz ölçüm metodunun prensibi, anthrone (9.10-dihydro-9 ketoanthracene) nun kuvvetli asidik ortamda (1.84 yoğunluklu, %98 'lik H₂SO₄) sakkaridler ile reaksiyona girmesi esasına dayanır.

Tablo 4.4 Kesikli sistemler için analiz sonuçları tablosu

Tarih : 18.02.1996
 S_0 / X_0 : 300/200 mg KOI/mg MLSS

Zaman (Dak.)	Alınan Numune Miktarı (ml)	Filtre Kağıdının,				KOI Tüptünün,				Anthrone Balon Joesinin,				
		No	Dara (g)	Etlve Giriş Zamanı	Etlvden Alınış Zamanı	Tartım (g)	No	Fırına Giriş Zamanı	Fırından Çıkış Zamanı	Sarfedilen Titrasyon Çözeltilisinin Hacmi (ml)	No	Kaynar suya Giriş Zamanı	Kaynar sudan Alınış Zamanı	Spektrofoto- metrede Absorbans Değeri
t = 0 9.00	30	4	.1360	9.05	10.05	.1428	1	9.10	11.10	3.03	4	9.15	9.30	.101
t = 15 9.15	30	8	.1330	9.20	10.20	.1392	4	9.20	11.20	3.04	5	9.30	9.45	.099
t = 30 9.30	30	28	.1345	9.35	10.35	.1440	2	9.40	11.40	3.06	6	9.45	10.00	.088
t = 45 9.45	30	37	.1378	9.50	10.50	.1444	3	9.55	11.55	3.10	3	10.00	10.15	.078
t = 60 10.00	20	30	.1418	10.05	11.05	.1461	7	10.10	12.10	2.91	7	10.15	10.30	.315
t = 90 10.30	20	31	.1382	10.35	11.35	.1419	5	10.40	12.40	2.39	1	10.30	10.45	.217
t = 120 11.00	20	42	.1312	11.05	12.05	.1354	6	11.10	13.10	3.19	8	11.15	11.30	.166

Deneyisel çalışmada, 620 nm' de okumaya elverişli Labospec marka spektrofotometre, su banyosu, 50 ml'lik balonjojeler kullanılmıştır.

Çözelti olarak;

- 1 . Standard glukoz çözeltisi (100 mg glukoz / 1 litre saf su),
- 2 . Anthrone çözeltisi (0.1 g Anthrone / 500 ml konsantre H₂SO₄+200 ml saf su + oksidan olarak 1g thioure),
hazırlanmıştır.

Kalibrasyon için stok standard glukoz çözeltisi seyreltilerek litresinde 5; 10; 25; 50 ve 100 mg'lık glukoz bulunan çözeltiler hazırlanmıştır.

4.1.1.1 Deneyin Yapılışı

Mililitredeki eşdeğeri 100 mg glukozdan fazla olmayan 5 ml'lik örnek 50 ml'lik balonjoje içindeki 25 ml'lik anthrone ayırıcı üzerine dökülerek hafifçe çalkalandıktan sonra tüm balonjojeler kaynamakta olan su banyosuna yerleştirilmiştir.

Kaynayan suda 15 dakika kalan balonjojeler çıkarılarak musluk suyunda soğumaya bırakılmıştır. Soğutmayı takiben en geç 3 saat içerisinde standard ve numuneler için 620 nm dalga boyunda spektrofotometrede okuma yapılmıştır. Toplam glukoz muhteviyatını litredeki mg glukoz cinsinden bulabilmek için glukoz standardını kullanarak dönüşüm faktörü hesaplanmıştır.

Dönüşüm faktörü,

$$K = \frac{A}{V_G} \quad (4.1)$$

olmak üzere,

$$D_f = \frac{\sum K}{n} \quad (4.2)$$

ifadesi ile tanımlanır (Başkaya, 1995). Bu eşitliklerde;

A = 620 nm dalga boyunda okunan absorbans değerini,

V_G = Standard glukoz çözeltisi miktarını (ml),

n = Standard glukoz çözeltisi sayısını,

D_f = Dönüşüm faktörünü,

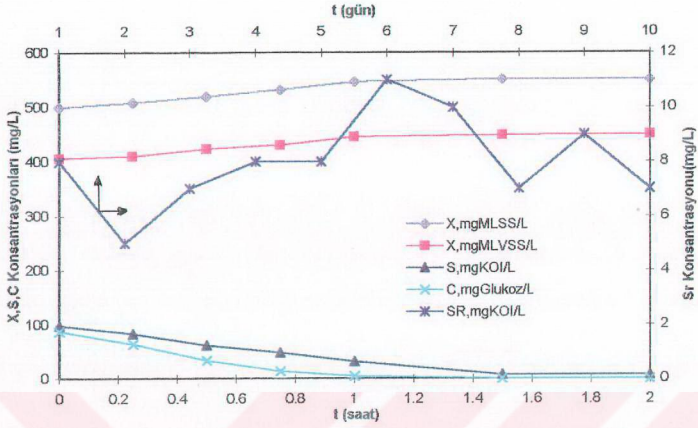
göstermektedir. Dönüşüm faktörünün glukoz konsantrasyonuna göre değişimi Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5 Dönüşüm faktörü hesabı.

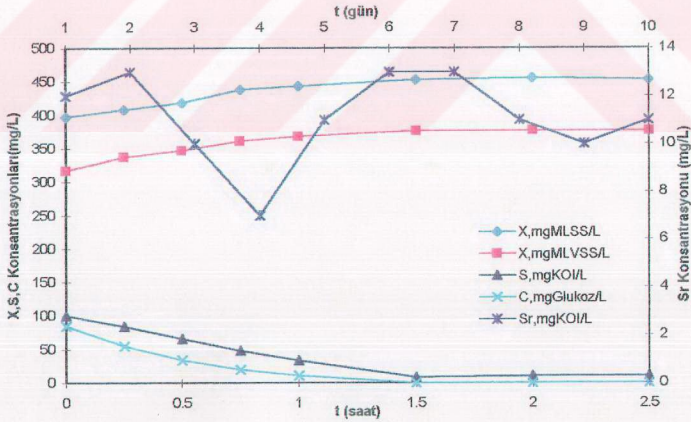
Standart Glukoz Çözeltisi Miktarı, (V_G) (ml)	Spektrofotometre Okuma Değeri, Absorbans, (A)	$K = \frac{A}{V_G}$	Dönüşüm Faktörü, (D_f)
5	0.013	2.6×10^{-3}	
10	0.018	1.8×10^{-3}	
25	0.046	1.84×10^{-3}	
50	0.098	1.96×10^{-3}	
100	0.199	1.99×10^{-3}	
			2.038×10^{-3}

Analiz sonucu spektrofotometrede okunan değerler dönüşüm faktörüne bölünmüş ve glukoz konsantrasyonları mgGlukoz/L cinsinden ifade edilmiştir. Aynı değerleri kalibrasyon eğrisinden bulmak da mümkündür. Ancak, kalibrasyon eğrisi kullanılması durumunda yanılma ve hata payı, dönüşüm faktörü kullanımından fazladır. Bu nedenle, glukoz miktarının mgGlukoz/L cinsinden hesabında dönüşüm faktörü metodu tercih edilmiştir. Kolorimetrik anthrone metodu ile glukoz konsantrasyonu belirleme işlemine numune içinde miktarı sıfır mgGlukoz/L değerine ulaşılan kadar devam edilmiştir.

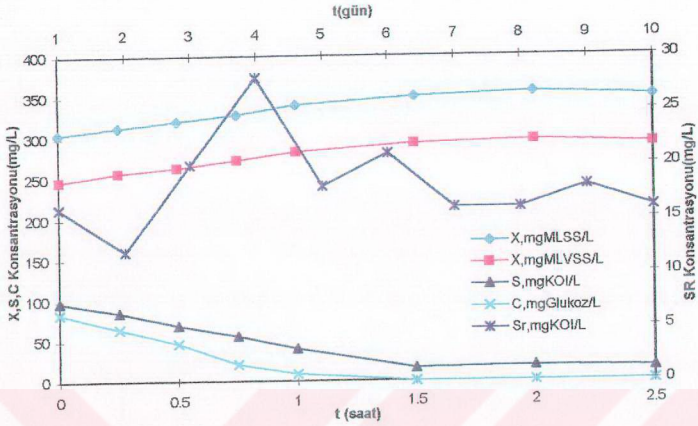
Tablo 4.3 ’deki F/M oranları ile beslenen reaktörlere ait S (KOl), X (Biyokütle), C (Glukoz), S_R (Kalıcı Ürün) değerlerinin analiz sonuçları EK-A’ da, zamana göre değişimleri Şekil 4.2 ’den Şekil 4.26’ya kadar olan grafiklerde verilmiştir.



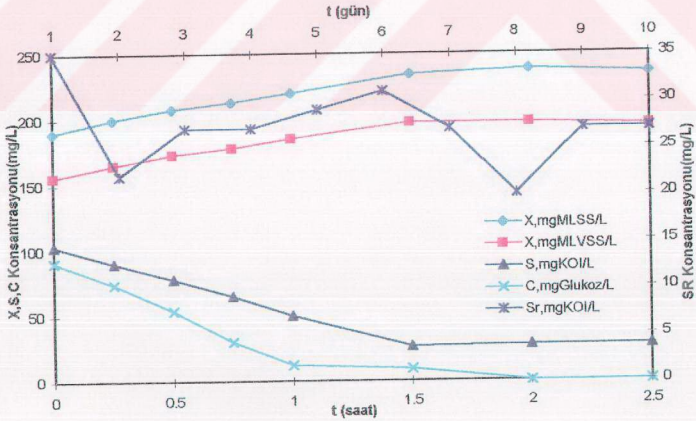
Şekil 4.2 $F/M (=S_0 / X_0)=0.2$ ($S_0=100$ mg KOI/L, $X_0=500$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



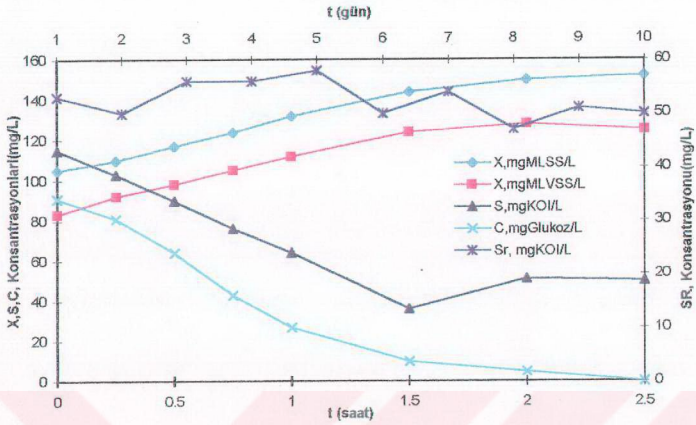
Şekil 4.3 $F/M = 0.25$ ($S_0=100$ mg KOI/L, $X_0=400$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



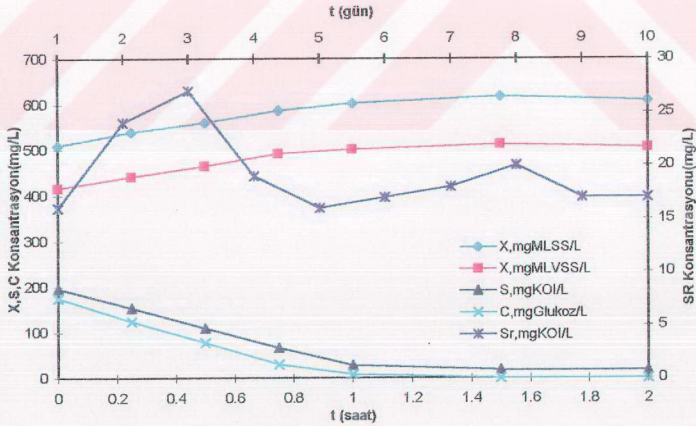
Şekil 4.4 $F/M = 0.3$ ($S_0=100$ mg KOI/L, $X_0=300$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



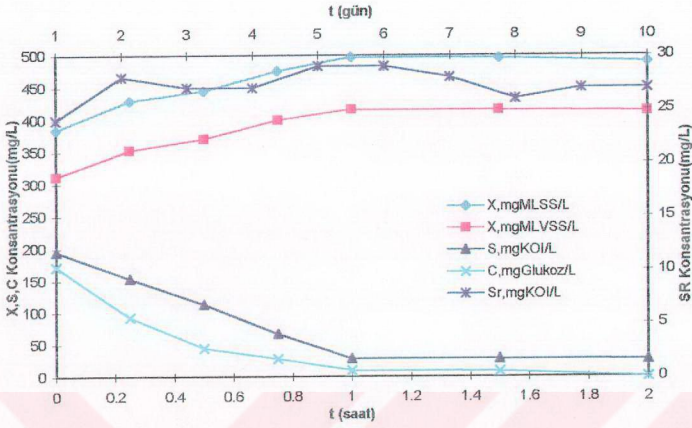
Şekil 4.5 $F/M = 0.5$ ($S_0=100$ mg KOI/L, $X_0=200$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



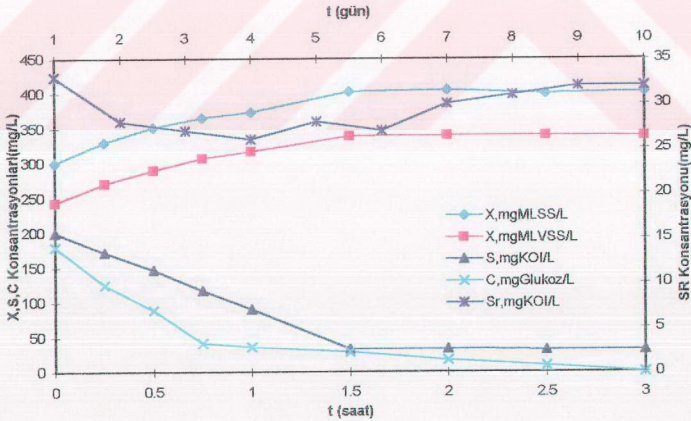
Şekil 4.6 $F/M = 1$ ($S_0 = 100$ mg KOI/L, $X_0 = 100$ mg MLSS/L) olan reaktör için S , C , X ve S_R 'ın zamana göre değişimi



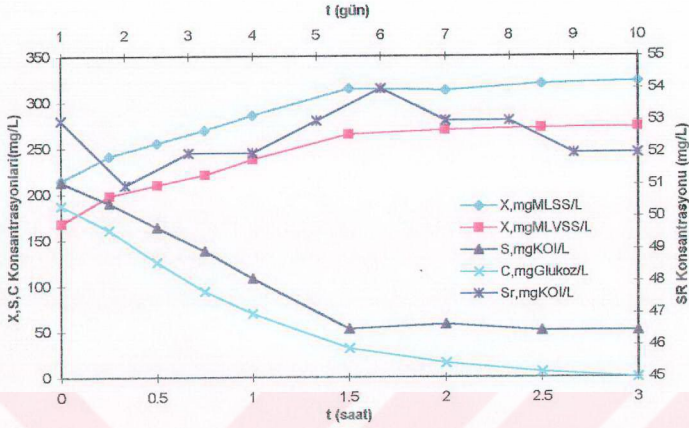
Şekil 4.7 $F/M = 0.4$ ($S_0 = 200$ mg KOI/L, $X_0 = 500$ mg MLSS/L) olan reaktör için S , C , X ve S_R 'ın zamana göre değişimi



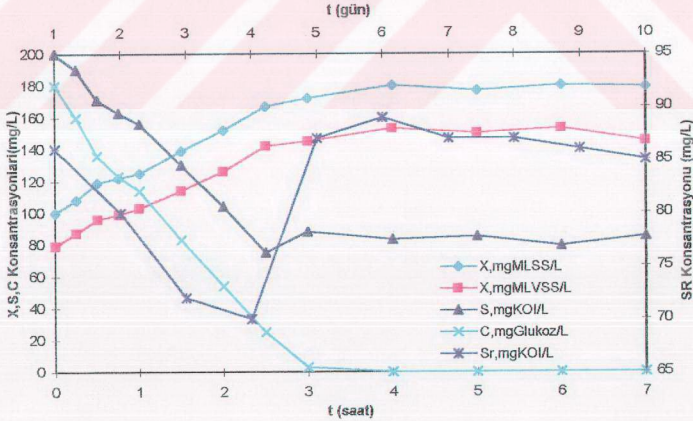
Şekil 4.8 $F/M = 0.5$ ($S_0 = 200$ mg KOI/L, $X_0 = 400$ mg MLSS/L) olan reaktör için S , C , X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



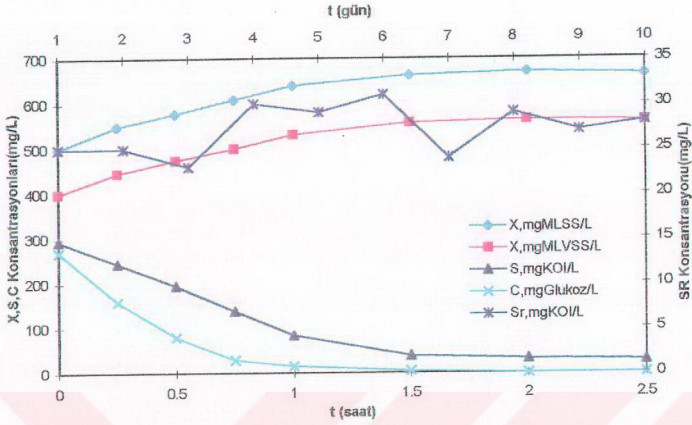
Şekil 4.9 $F/M = 0.67$ ($S_0 = 200$ mg KOI/L, $X_0 = 300$ mg MLSS/L) olan reaktör için S , C , X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



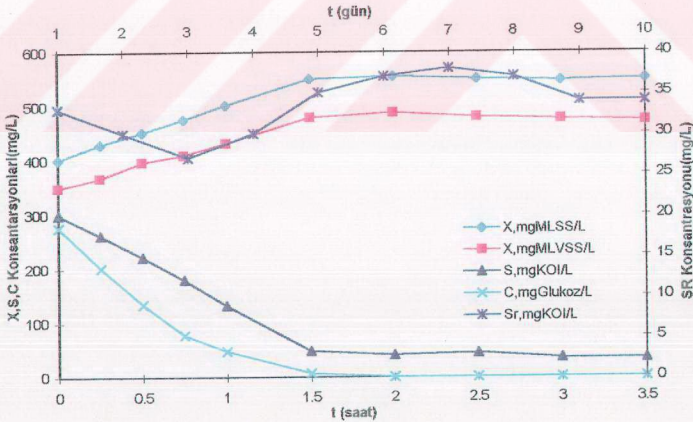
Şekil 4.10 $F/M = 1$ ($S_0=200$ mg KOI/L, $X_0=200$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



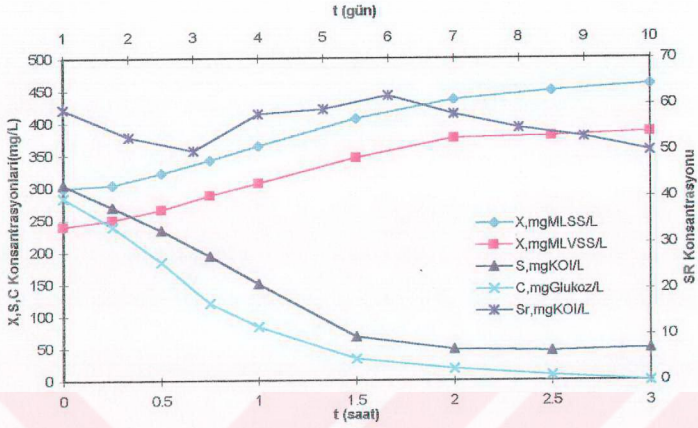
Şekil 4.11 $F/M = 2$ ($S_0=200$ mg KOI/L, $X_0=100$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



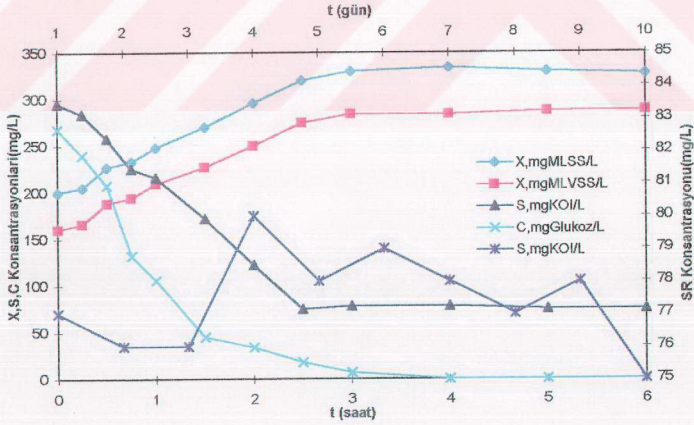
Şekil 4.12 $F/M = 0.6$ ($S_0=300$ mg KOI/L, $X_0=500$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



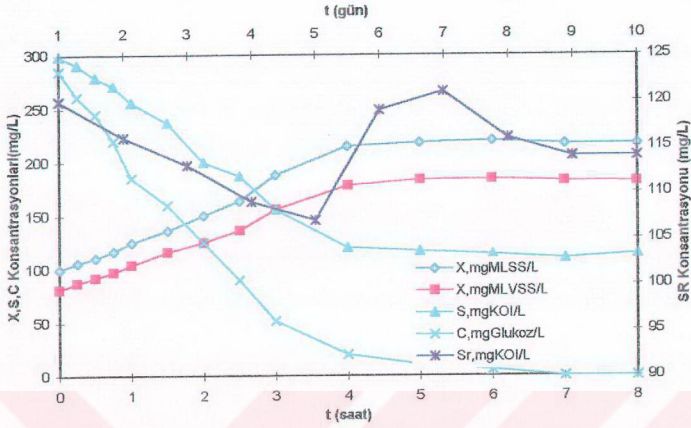
Şekil 4.13 $F/M = 0.75$ ($S_0=300$ mg KOI/L, $X_0=400$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



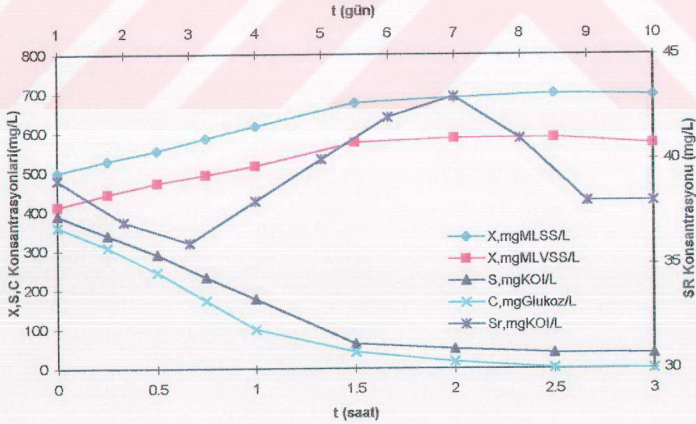
Şekil 4.14 $F/M = 1$ ($S_0 = 300$ mg KOI/L, $X_0 = 300$ mg MLSS/L) olan reaktör için S , C , X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



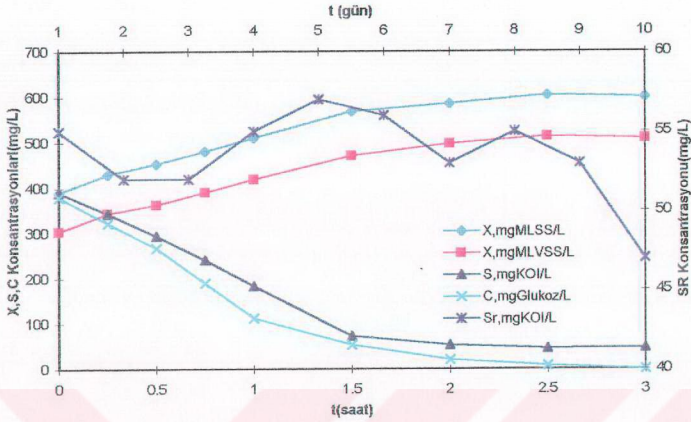
Şekil 4.15 $F/M = 1.5$ ($S_0 = 300$ mg KOI/L, $X_0 = 200$ mg MLSS/L) olan reaktör için S , C , X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



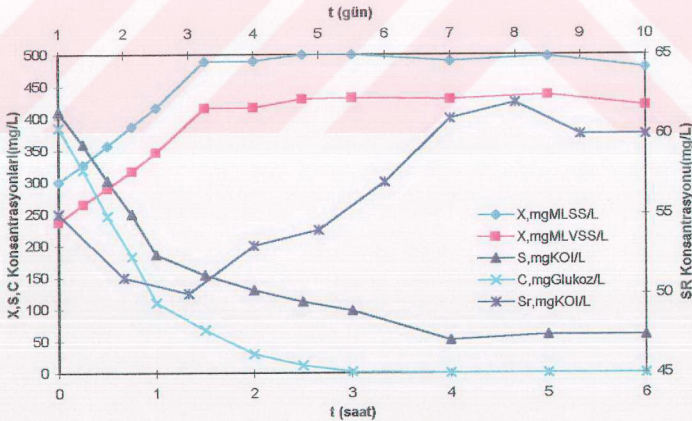
Şekil 4.16 $F/M = 3$ ($S_0 = 300$ mg KOI/L, $X_0 = 100$ mg MLSS/L) olan reaktör için S , C , X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



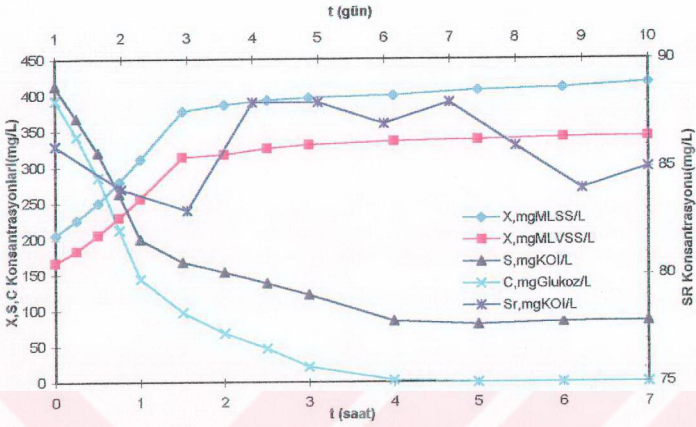
Şekil 4.17 $F/M = 0.8$ ($S_0 = 400$ mg KOI/L, $X_0 = 500$ mg MLSS/L) olan reaktör için S , C , X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



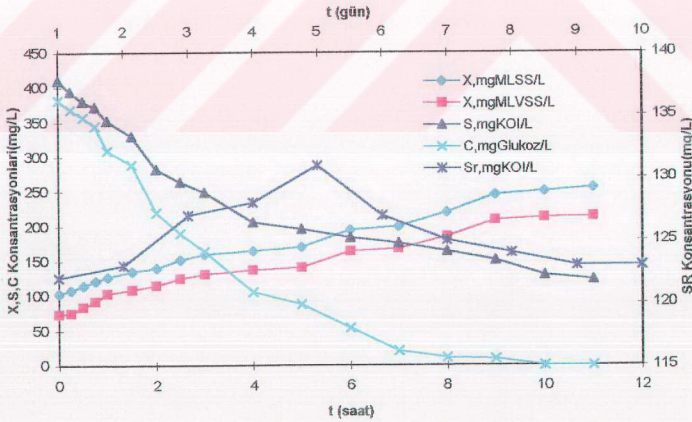
Şekil 4.18 $F/M = 1$ ($S_0 = 400$ mg KOI/L, $X_0 = 400$ mg MLSS/L) olan reaktör için S , C , X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



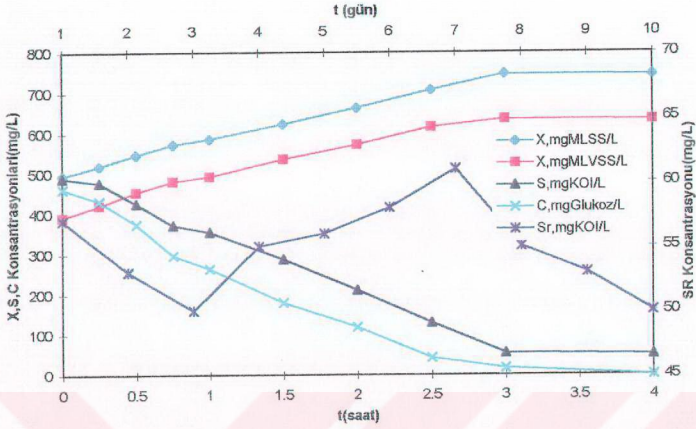
Şekil 4.19 $F/M = 1.3$ ($S_0 = 400$ mg KOI/L, $X_0 = 300$ mg MLSS/L) olan reaktör için S , C , X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



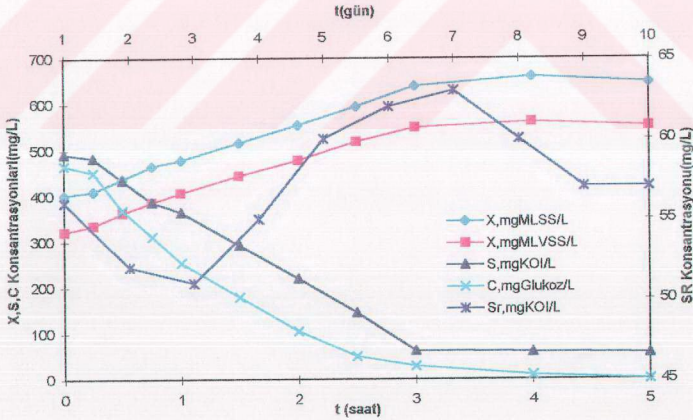
Şekil 4.20 $F/M = 2$ ($S_0=400$ mg KOI/L, $X_0=200$ mg MLSS/L) olan reaktör için S , C , X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



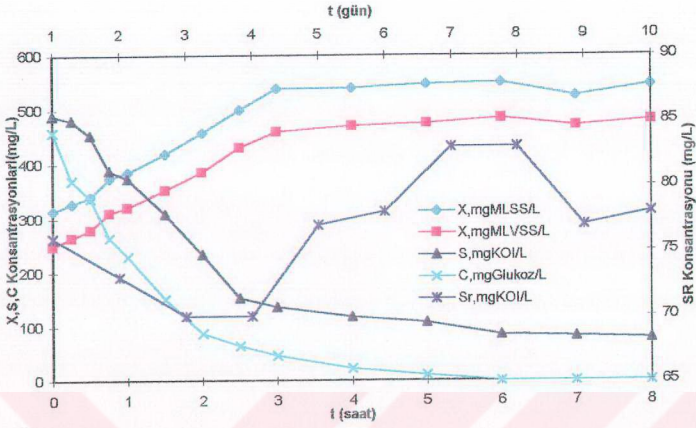
Şekil 4.21 $F/M = 4$ ($S_0=400$ mg KOI/L, $X_0=100$ mg MLSS/L) olan reaktör için S , C , X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



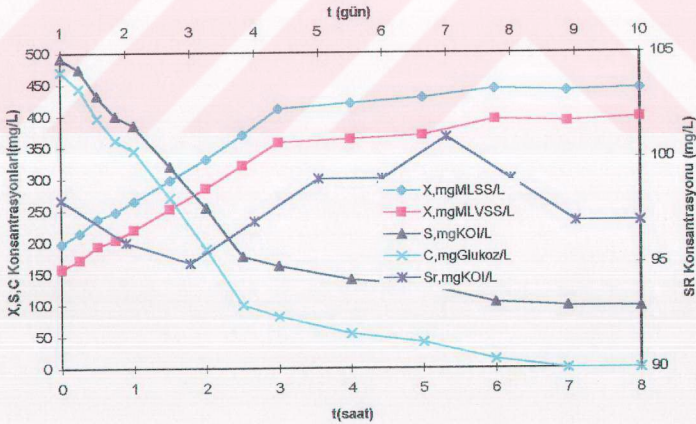
Şekil 4.22 F/M = 1 (S₀=500 mg KOI/L, X₀=500 mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



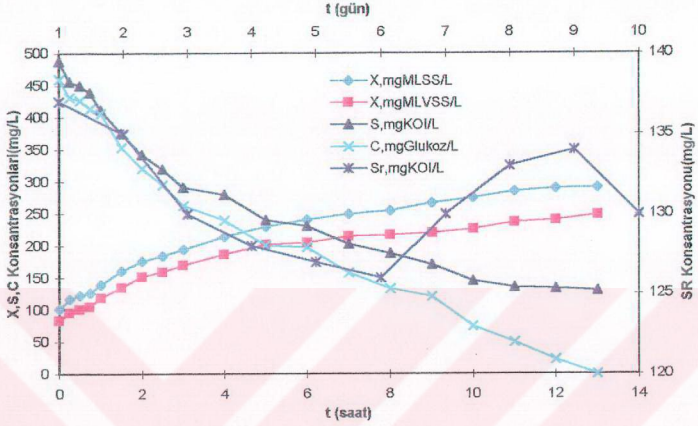
Şekil 4.23 F/M = 1.25 (S₀=500 mg KOI/L, X₀=400 mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.



Şekil 4.24 F/M = 1.67 (S₀=500 mg KOI/L, X₀=300 mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.

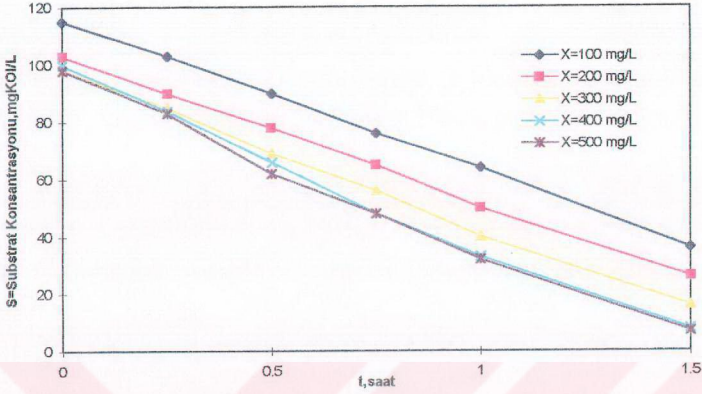


Şekil 4.25 F/M = 2.5 (S₀=500 mg KOI/L, X₀=200 mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.

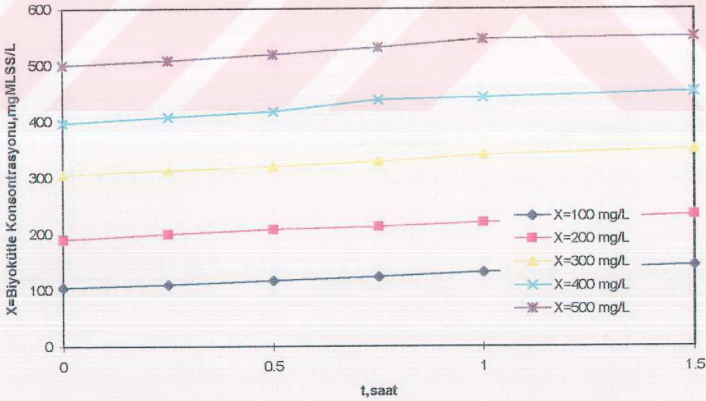


Şekil 4.26 F/M = 5 ($S_0=500$ mg KOI/L, $X_0=100$ mg MLSS/L) olan reaktör için S, C, X ve S_R 'ın zamana göre değişimi.

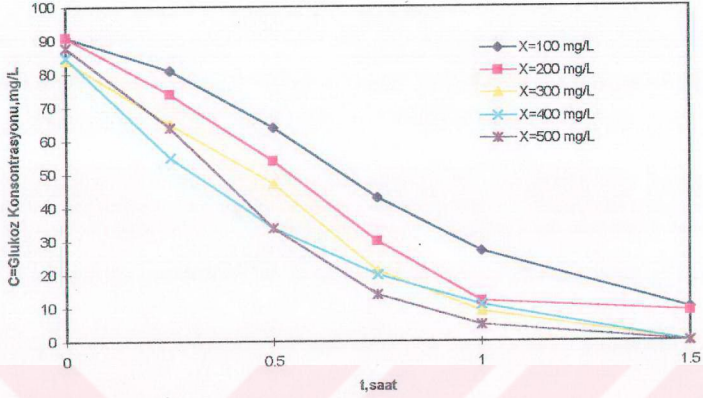
Yapılan çalışmada, sabit S_0 başlangıç konsantrasyonlarında değişen X_0 konsantrasyonlarına bağlı olarak Tablo 4.3'deki F/M oranları ile beslenen reaktörlere ait S (KOI), X (Biyokütle) ve C (Glukoz) değerlerinin analiz sonuçları EK-B 'de, zamana göre değişimleri ise Şekil 4.27'den Şekil 4.41' e kadar olan grafiklerde verilmiştir. EK-B deki tablolara benzeyen şekilde sabit X_0 başlangıç konsantrasyonları için de benzer tablo ve grafiklerin oluşturulması mümkündür.



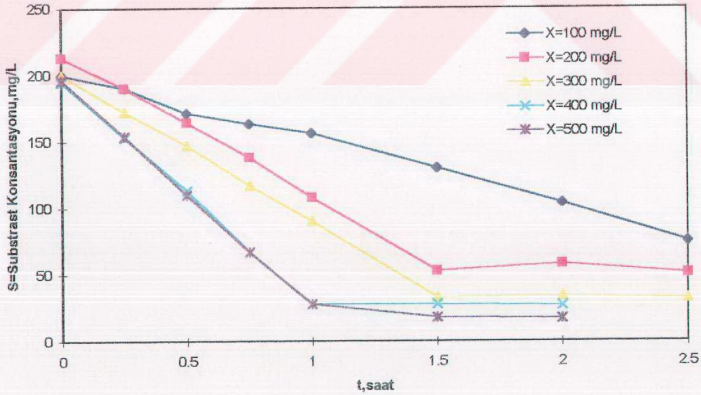
Şekil 4.27 $S_0=100$ mg KOI/L (sabit) ve; $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için $F/M (=S_0 / X_0)$ oranları 1, 0.5, 0.33, 0.25 ve 0.2 olan reaktörlerde, S substrat konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



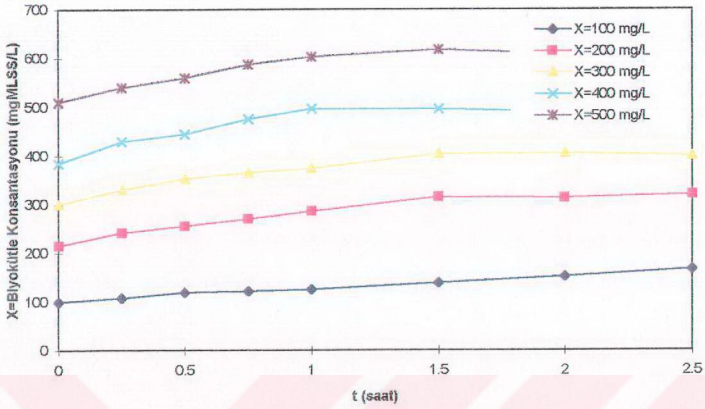
Şekil 4.28 $S_0=100$ mg KOI/L ve; $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 1, 0.5, 0.33, 0.25 ve 0.2 olan reaktörlerde, X mikroorganizma konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



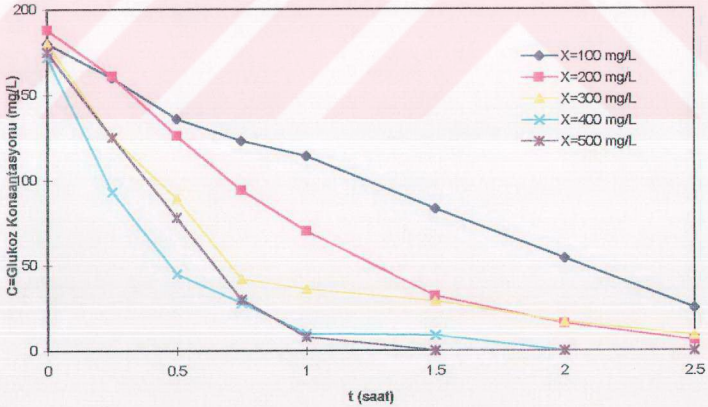
Şekil 4.29 $S_0=100$ mg KOI/L ve $X_0=100, 200, 300, 400, 500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 1, 0.5, 0.33, 0.25 ve 0.2 olan reaktörlerde, C glukoz konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



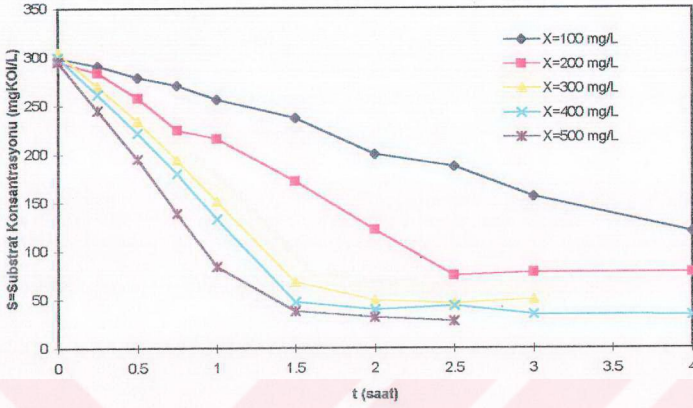
Şekil 4.30 $S_0=200$ mg KOI/L ve $X_0=100, 200, 300, 400, 500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 2, 1, 0.67, 0.5 ve 0.4 olan reaktörlerde, S substrat konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



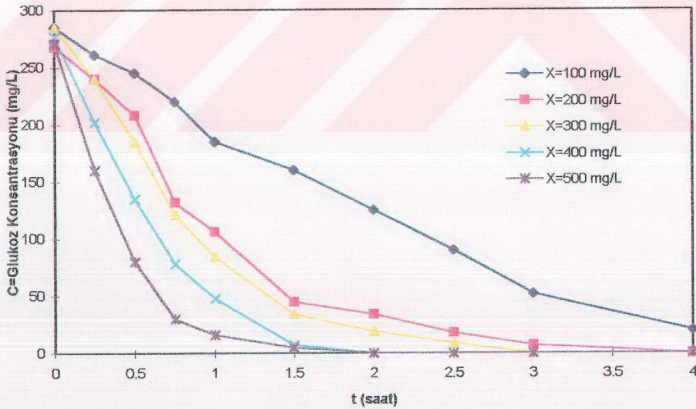
Şekil 4.31 $S_0=200$ mg KOI/L ve $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 2, 1, 0.67, 0.5 ve 0.4 olan reaktörlerde, X mikroorganizma konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



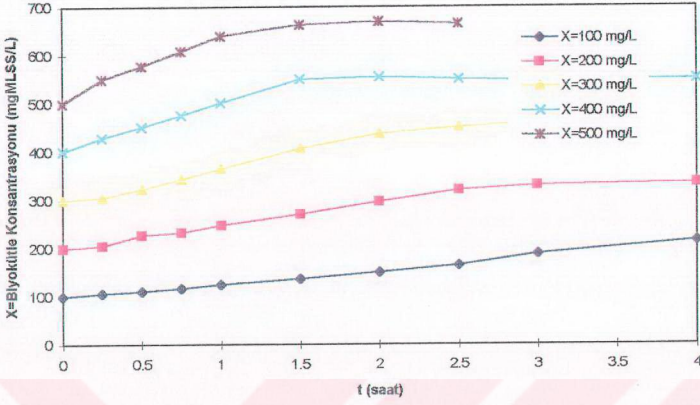
Şekil 4.32 $S_0=200$ mg KOI/L ve $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 2, 1, 0.67, 0.5 ve 0.4 olan reaktörlerde, C glukoz konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



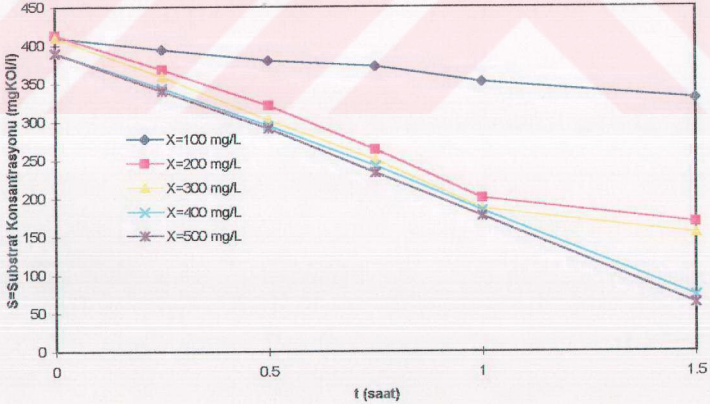
Şekil 4.33 $S_0=300$ mg KOI/L ve $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 3, 1.5, 1, 0.75 ve 0.6 olan reaktörlerde, S substrat konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



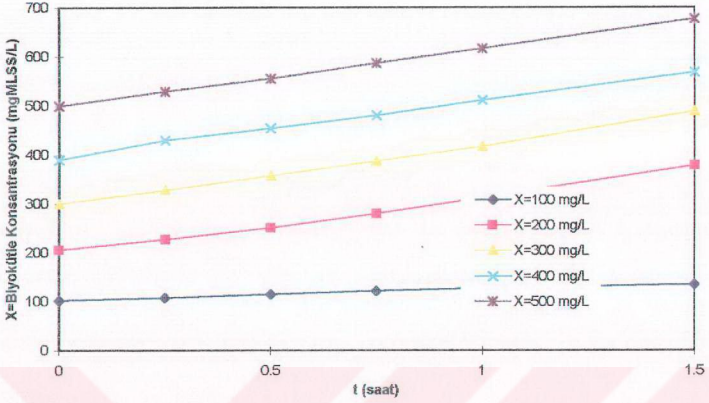
Şekil 4.34 $S_0=300$ mg KOI/L ve $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 3, 1.5, 1, 0.75 ve 0.6 olan reaktörlerde, C glukoz konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



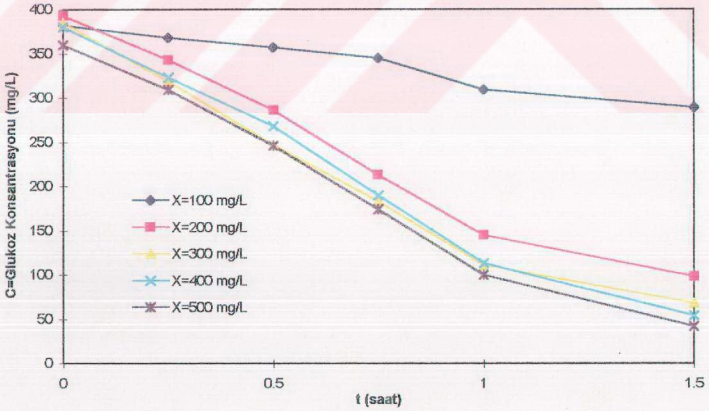
Şekil 4.35 $S_0=300$ mg KOI/L ve $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 3, 1.5, 1, 0.75 ve 0.6 olan reaktörlerde, X mikroorganizma konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



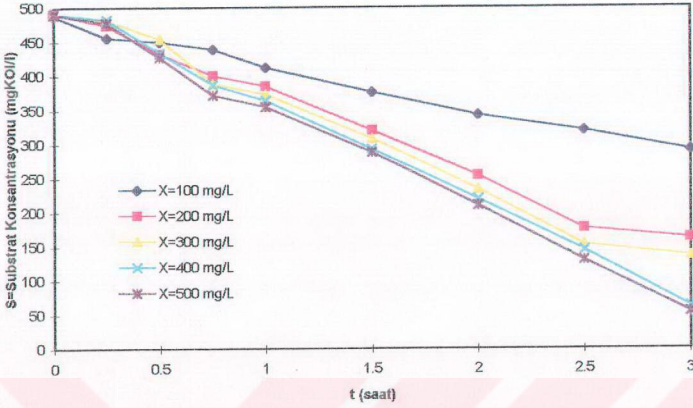
Şekil 4.36 $S_0=400$ mg KOI/L ve $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 4, 2, 1.33, 1 ve 0.8 olan reaktörlerde, S substrat konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



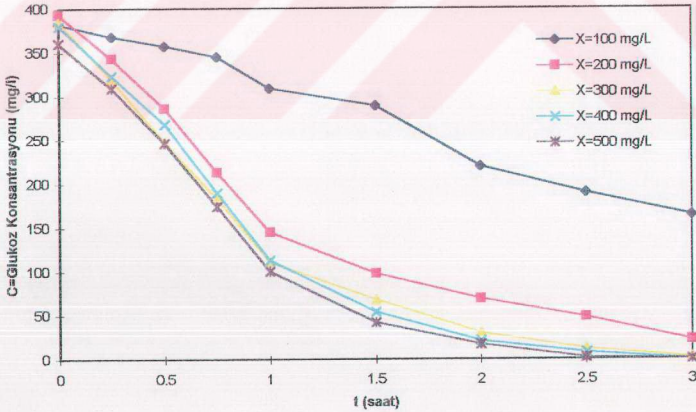
Şekil 4.37 $S_0=400$ mg KOI/L ve $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 4, 2, 1.33, 1 ve 0.8 olan reaktörlerde, X mikroorganizma konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



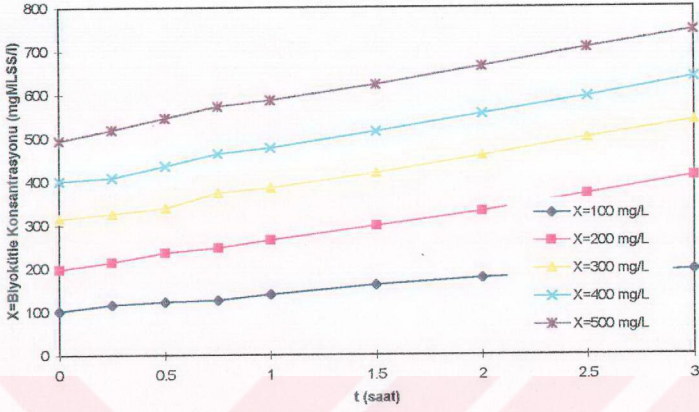
Şekil 4.38 $S_0=400$ mg KOI/L ve $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 4, 2, 1.33, 1 ve 0.8 olan reaktörlerde, C glukoz konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



Şekil 4.39 $S_0=500$ mg KOI/L ve $X_0=100, 200, 300, 400, 500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 5, 2.5, 1.67, 1.25 ve 1 olan reaktörlerde, S substrat konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



Şekil 4.40 $S_0=500$ mg KOI/L ve $X_0=100, 200, 300, 400, 500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 5, 2.5, 1.67, 1.25 ve 1 olan reaktörlerde, C glukoz konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



Şekil 4.41 $S_0=500$ mg KOI/L ve $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 5, 2.5, 1.67, 1.25 ve 1 olan reaktörlerde, X mikroorganizma konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

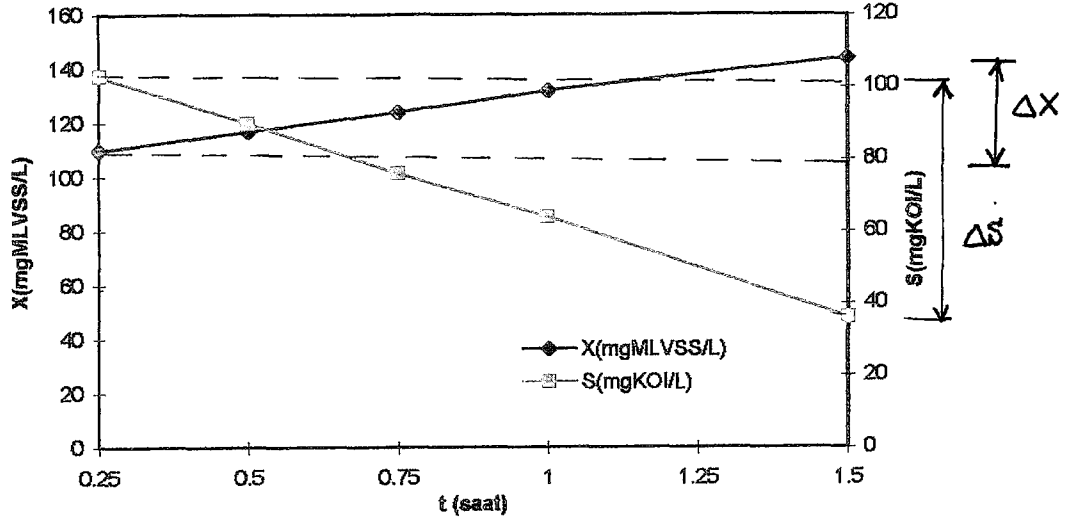
Bu çalışmada, asıl hedef biyokütle kaynaklı kalıcı ürün oluşumunu (S_R) incelemek olmakla beraber reaktör muhteviyatı analiz sonuçlarının literatür sonuçları ile uyumluluğunu karşılaştırmak amacıyla ölçümler hazır elde edilmişken kinetik katsayıların belirlenmesi de uygun bulunmuştur.

Kesikli reaktör sonuçları yardımıyla kinetik sabitlerin hesabı için ya diferansiyel veya integral metod kullanılır. Diferansiyel metod ile çalışmada farklar kullanıldığından nokta sayısı $N-1$ dir ($N = \text{Ölçüm Sayısı}$). Yeterli sayıda ölçüm sonucunun bulunmadığı durumlarda deneylerden anlamlı bir sonuç çıkarmak mümkün olmaz. Bu bakımdan diferansiyel metod, sürekli çalıştırılan reaktör sistemi verilerinin değerlendirilmesi için daha uygundur. Bu sebeple, bu çalışmada integral metod tercih edilmiştir.

5.1 BİYOKÜTLE DÖNÜŞÜM ORANI (Y')'NİN HESABI

Kinetik katsayıların integral metodu ile hesabında standard sapma (veya korelasyon katsayısı) Y' ye göre fazla hassas olmadığından dönüşüm oranı, biyokütle çoğalma zaman eğrisi üzerinde logaritmik çoğalma fazı dikkate alınarak bu faz boyunca oluşan mikroorganizma konsantrasyonunun, sarf edilen sübstrat miktarına bölünmesi ile bulunmuştur.

Mesela, $S_0 = 100$ mg KOI/L ve $X_0 = 100$ mg MLSS/L olan reaktör için Y' nin hesaplanması Şekil 5.1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1 $S_0=100$ mg KOI/L, $X_0=100$ mg MLVSS/L olan reaktör için Y' nin hesabı.

5.2 MAKSİMUM ÖZGÜL ÇOĞALMA HIZI(μ_m) VE YARI DOYGUNLUK SABİTİ(K_s)'NİN HESABI

İntegral metod ile kinetik katsayıların hesabı için (2.1) veya (2.7) denklemlerinden birisi kullanılır. Bu denklemlerde t serbest değişkenine karşılık S ve X bağlı değişkenleri birlikte bulunduğundan bunların doğrudan integrali mümkün değildir. Eğer kinetik sabitlerin hesabı için (2.1) denklemi kullanılacak olursa, mikroorganizma konsantrasyonu X' in S cinsinden ifade edilmesi gerekir. Bunun için de dönüşüm oranının tanımından yararlanılır. Biyolojik dönüşüm oranı:

$$Y = \frac{\Delta X}{-\Delta S} \cong \frac{dX}{-dS} \quad (5.1)$$

şeklinde ifade edilebildiğinden,

$$dX = -Y \cdot dS \quad (5.2)$$

yazılabilir. (5.2) denklemi, X' in X_0 ile X , S' in S_0 ile S sınır değerleri altında integre edilirse,

$$X = X_0 + Y.(S_0 - S) \quad (5.3)$$

olur. Bu ifadede,

$$X_0 + Y.S_0 = a \quad (5.4)$$

kısaltması yapılarak (5.3) denklemi tekrar yazılırsa,

$$X = a - Y.S \quad (5.5)$$

elde edilir. X 'in denklem (5.5)'teki değeri (2.1) denklemindeki yerine konursa,

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\mu_m}{Y} \cdot \frac{S(a - Y.S)}{(K_s + S)} \quad (5.6)$$

bulunur.

Denklem (5.6) düzenlenerek,

$$\frac{(K_s + S)}{S(a - Y.S)} . dS = -\frac{\mu_m}{Y} . dt \quad (5.7)$$

veya;

$$\frac{K_s . dS}{S(a - Y.S)} + \frac{dS}{(a - Y.S)} = -\frac{\mu_m}{Y} . dt \quad (5.8)$$

tarzında ifade edilebilir. Soldan birinci terimin integralinin alınabilmesi için basit kesirlere ayrılması gerekir:

$$\frac{K_s}{S(a-Y.S)} = \frac{K_s}{a} \cdot \frac{1}{S} + \frac{Y.K_s}{a} \cdot \frac{1}{(a-Y.S)} \quad (5.9)$$

(5.9) ifadesi (5.8)' de yerine konarak,

$$\frac{dS}{a-Y.S} + \frac{K_s}{a} \cdot \frac{dS}{S} + \frac{Y.K_s}{a} \cdot \frac{dS}{(a-Y.S)} = -\frac{\mu_m}{Y} \cdot dt \quad (5.10)$$

veya;

$$\int_{S_o}^S \frac{K_s}{a} \cdot \frac{dS}{S} + \left[1 + \frac{Y.K_s}{a} \right] \cdot \int_{S_o}^S \frac{dS}{(a-Y.S)} = -\frac{\mu_m}{Y} \cdot \int_0^t dt \quad (5.11)$$

elde edilir. Her iki tarafın integrali alındığında,

$$\frac{K_s}{a} \cdot \ln \frac{S}{S_o} - \frac{1}{Y} \left[1 + \frac{Y.K_s}{a} \right] \cdot \ln \left[\frac{Y.S-a}{Y.S_o-a} \right] = -\frac{\mu_m \cdot t}{Y} \quad (5.12)$$

olur. Bu ifadede a yerine (5.4)' deki değeri konursa,

$$\ln \frac{S}{S_o} - \left(1 + \frac{a}{Y.K_s} \right) \cdot \ln \left[1 + \frac{Y}{X_o} (S_o - S) \right] = -\frac{a \cdot \mu_m}{Y.K_s} \cdot t \quad (5.13)$$

bulunur. Bu denklemde;

$$A = 1 + \frac{a}{Y.K_s}; \quad (A > 0, A > 1, A > B, a > 0) \quad (5.14)$$

$$B = \frac{a \cdot \mu_m}{Y.K_s}; \quad (B > 0, a > 0) \quad (5.15)$$

olmak üzere en küçük kareler metodu ile A ve B değerlerini ve bunlar yardımıyla kinetik sabitleri hesaplamak için denklem (5.13),

$$\ln \frac{S}{S_o} = A \cdot \ln \left(1 + \frac{Y}{X_o} (S_o - S) \right) - B \cdot t \quad (5.16)$$

şeklinde yazılabilir.

Kinetik katsayıların hesabı için çıkardığımız (5.16) denkleminin [Gates-Marlar (1979) tarafından verilen ve (5.13) denkleminin t ile bölünmüş bir ifadesi olan]

$$\frac{1}{t} \cdot \ln \frac{S}{S_o} = A \cdot \frac{1}{t} \cdot \ln \left(1 + b (S_o - S) \right) - B \quad (5.17)$$

(5.17) ifadesinden çok daha iyi sonuçlar verdiği gösterilebilir. Bu maksatla, Sundstrom ve Klei (1979, sayfa 93-94) deki örnek verilecektir.

Örnek: Aerobik kesikli bir reaktörde glukozun heterojen bir mikroorganizma topluluğu ile ayrıştırılması sırasında aşağıdaki analiz sonuçları elde edilmiştir:

Tablo 5.1 Gates -Marlar (5.17) ve (5.16) denklemlerinin sonuçlarını karşılaştırmak için kullanılan reaktör muhteviyatının analiz sonuçları (Sudstrom ve Klei,1979).

T (saat)	0	1	2	3	4	5
S (mg/L)	19	16.5	13.0	9.0	5.5	2.0

Gates-Marlar [veya (5.16)] denklemini kullanarak μ_m ve K_s katsayılarının hesabı için integral formda ifade edilen (5.13), (5.16), (5.17) denklemlerinin ortak olan A ve B değerlerinin aşağıdaki şekilde düzenlenmesi uygun olur :

$$A = 1 + \frac{(b + S_o)}{K_s} \quad (5.18)$$

ve;

$$B = \frac{\mu_m}{K_s} (b + S_o) \quad (5.19)$$

Burada, b; biyokütle dönüşüm oranının başlangıç biyokütle konsantrasyonuna;

$$b = \frac{Y}{X_o} \quad (5.20)$$

şeklinde bölünmesi ile elde edilen ve her F/M oranına tekabül eden reaktör için sabit olan bir büyüklüktür. Gates ve Marlar'ın verdiği reaktör örneğinde Y ve X_o verilmediğinden b parametresinin deneme-yanılma ile seçilmesi gerekir. Bizim çalışmalarımızda başlangıç biyokütle konsantrasyonları (X_o) önceden seçildiği için b' nin hesaplanmasında dönüşüm oranlarına da (Y) ihtiyaç duyulmaktadır (Y değerinin hesaplanması Şekil 5.1'de verilmiştir). Tablo 5.1'deki örnek problem için (5.16) denklemi kullanıldığında en küçük kareler metodu ile en büyük korelasyon katsayısı ve en düşük standard sapmayı veren $b=0.104 \text{ (mg/L)}^{-1}$ değeri için hem (5.16) hem (5.17) [Gates-Marlar] denklemlerine göre hesaplanmış μ_m ve K_s sabitlerinin ve her iki metoda göre bulunan sübstrat konsantrasyonlarının sonuçları Tablo 5.2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2 (5.16) denklemi ile (5.17) denkleminin sonuçlarının karşılaştırılması.

Ölçülenler		Gates-Marlar denklemi (5.17)'ye göre hesaplanan: $K_s=3.36\text{mg/L}, \mu_m=0.314/\text{saat}$	Bizim çıkardığımız denklem (5.16)'ya göre hesaplanan: $K_s=3.455\text{mg/L}, \mu_m=0.32/\text{saat}$
t (saat)	S (mg/L)	S (mg/L)	S (mg/L)
0	19.0	-	-
1	16.5	16.06	16.30
2	13.0	12.22	13.00
3	9.0	7.20	9.21
4	5.5	0.65	5.26
5	2.0	-7.91	2.07
Korelasyon Katsayısı		0.238	0.9995
Farkların Standard Sapması		2.24	0.08

Sonuç olarak, Gates-Marlar denklemi, (2.1) denkleminin integrali ile elde edilen (5.12) denkleminde bulunmaması gereken negatif sübstrat konsantrasyonları verdiğinden bu haliyle kullanılması mümkün değildir. Halbuki bu çalışmada bulunan

(5.16) denklemi ile elde edilen çözümler ile ölçüm sonuçları arasında çok iyi bir korelasyon mevcut olup, Tablo 5.2’de görüldüğü gibi standard sapması da oldukça düşüktür. Bu açıklamaların ışığı altında (5.16) denklemi ile çalışmanın daha düzgün sonuçlar vereceği beklenebilir. Kinetik sabitlerin hesabı için (5.16) denkleminde Tablo 4.3’de verilen çalışma programında belirtilen reaktörlerin ölçüm sonuçlarından logaritmik çoğalma fazına tekabül eden S ve t değerleri kullanılarak elde edilen katsayıların sayısal değerleri Tablo 5.3’te verilmiştir.

K_s ve μ_m ’ın hesabında kullanılan MATCAD programları ise EK-C’de verilmiştir. Bu hesaplarda 25 reaktörden 2 tanesinde $[F/M=S_0/X_0=400/100=4 \text{ mgKOl/mgMLSS}]$, $F/M=S_0/X_0=500/100=5 \text{ mgKOl/mgMLSS}]$ değerlendirme yapmak mümkün olmamıştır.

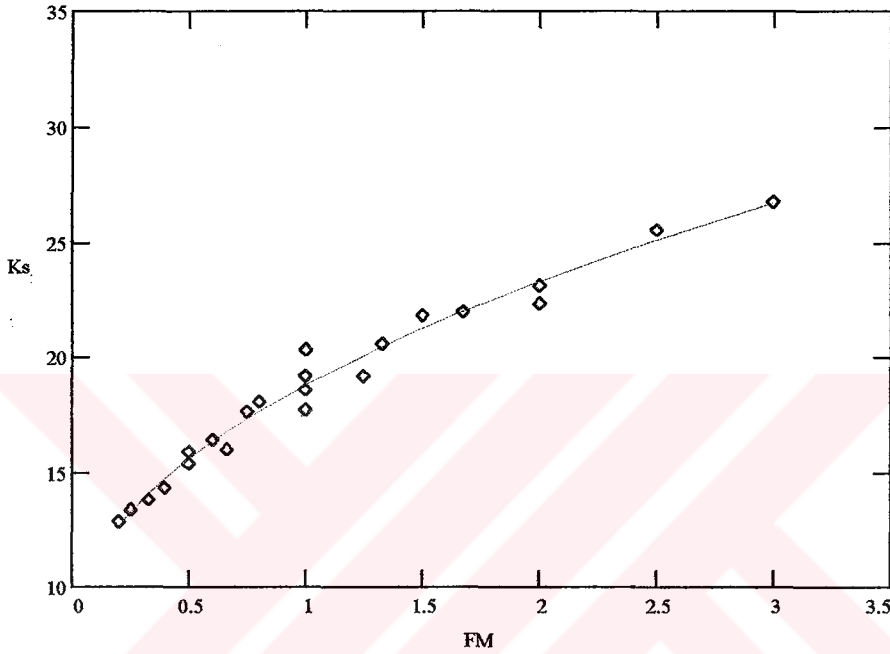
5.3 KINETİK KATSAYILARIN F/M ORANLARINA GÖRE DEĞİŞİMİ

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda Chudoba ve arkadaşları (1992)’nın dışında F/M ($=S_0/X_0$) oranlarının kinetik sabitler üzerinde etkisine rastlanmamıştır. Chudoba ve arkadaşları (1992), bu çalışmalarında $F/M < 10$ olan yükleme oranlarını düşük, onun üzerindeki (130’ a kadar) F/M oranlarını yüksek olarak değerlendirmişler, buna göre düşük F/M oranlarında μ_m ’ın 0.8 -3.4 1/gün, K_s ’in 2-21 mg/L arasında, yüksek F/M oranlarında ise μ_m ’ın 9-12 1/gün, K_s ’in de 11-29 mg/L arasında değiştiğini bulmuşlardır. Ayrıca bu çalışmalarında reaktör koşullarında heterojen mikroorganizma topluluğunda tür değişimleri olabileceğini belirtmişlerdir.

Bizim yaptığımız deneylerde heterojen mikroorganizma toplulukları her F/M oranına tekabül eden reaktör için bir alıştırma sürecine tabi tutulduklarından bu süre zarfında türlerin değişmesi mümkün olduğundan kinetik sabitler de değişmektedir. Bu bakımdan burada kinetik katsayıların da F/M oranlarının fonksiyonu olarak ifade edilmesinin mümkün olup olmadığı araştırılacaktır.

5.3.1 K_S 'nin F/M Oranlarına Göre Değişiminin İncelenmesi

23 reaktörün ölçüm sonuçlarından EK-C'de verilen MATCAD programlarının çözümleri ile elde edilen K_S değerlerinin F/M'e göre değişimleri de Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2 K_S değerlerinin F/M oranına göre değişimi.

Şekil 5.2'nin incelenmesinden de görüldüğü gibi K_S değerleri F/M oranından etkilenecek bir miktar artmakta ve F/M'e göre logaritmik fonksiyon veya kuvvet fonksiyonu tarzında değişmektedir. Bunlardan korelasyon katsayısı daha yüksek olan kuvvet fonksiyonunun tercih edilerek K_S için;

$$K_S = 11.368 \left(\frac{F}{M} \right)^{0.48} + 7.428 \quad ; \quad [R = 0.988, SS = \mp 0.12] \quad (5.21)$$

elde edilmiş 0.48 katsayısı da deneme-yanılma ile bulunmuştur. İlgili hesap programı EK-D1'de verilmiştir.

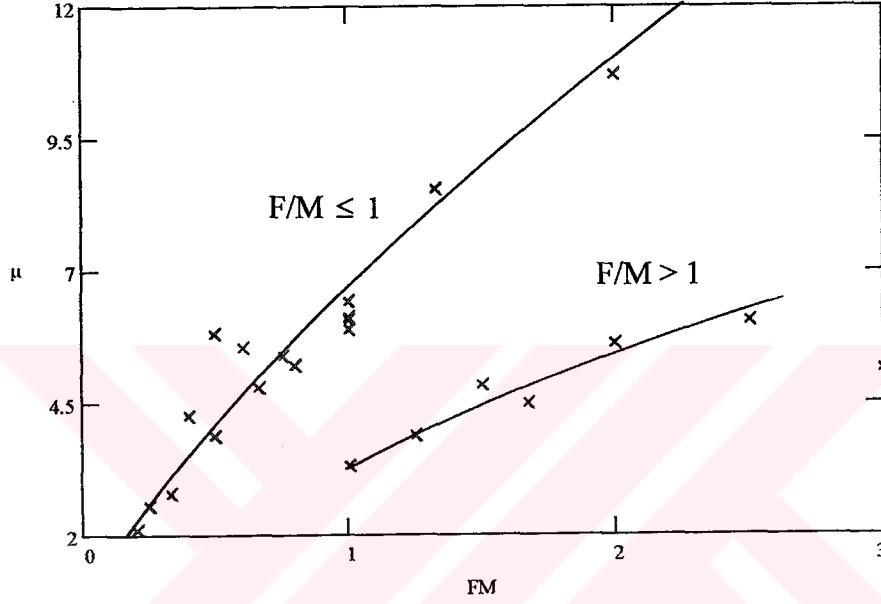
Tablo 5.3 (5.16) nolu denklemine göre en küçük kareler metodu ile hesaplanmış kinetik sabitlerin F/M oranına göre değişimi

F/M (mgKOl/mgMLSS)	S ₀ (mgKOl/L)	X ₀ (mgMLSS/L)	μ _m (1/gün)	K _s (mg/L)	Y (ΔX/ΔS)	Korelasyon Katsayısı	Standard Sapma
0.20	100	500	2.11 ✓	12.88	0.56	0.9986	0.61
0.25	100	400	2.56 ✓	13.38	0.59	0.9997	0.31
0.33	100	300	2.81 ✓	13.86	0.54	0.9992	0.44
0.40	200	500	4.25 ✓	14.33	0.50	0.9999	0.17
0.50	100	200	3.89 ✓	15.91	0.53	0.9994	0.36
0.50	200	400	5.81 ✓	15.36	0.53	0.9996	0.63
0.60	300	500	5.55 ✓	16.43	0.56	0.9998	0.47
0.66	200	300	4.80 ✓	15.95	0.53	0.9998	0.47
0.75	300	400	5.39 ✓	17.65	0.56	0.9998	0.64
0.80	400	500	5.21 ✓	18.05	0.53	0.9998	0.75
1	100	100	6.43 ✓	18.56	0.50	0.9997	0.25
1	200	200	6.15 ✓	19.19	0.53	0.9997	0.53
1	300	300	5.88 ✓	17.75	0.50	0.9998	0.57
1	400	400	6.1 ✓	20.32	0.51	0.9998	0.77
1.33	400	300	8.54 ✓	20.59	0.52	0.9996	1.39
2	400	200	10.71 ✓	22.33	0.50	0.9997	1.1
1	500	500	3.34 *	19.16	0.53	0.9998	0.89
1.25	500	400	3.88 *	19.22	0.53	0.9998	0.84
1.50	300	200	4.82 *	21.83	0.51	0.9999	0.50
1.67	500	300	4.52 *	21.94	0.52	0.9997	1.13
2	200	100	5.63 *	23.08	0.52	0.9999	0.21
2.5	500	200	6.06 *	25.58	0.50	0.9999	0.56
3	300	100	5.15 ✓	26.74	0.51	0.9999	0.40

✓ : Şekil 5.3 'te birinci gruba dahil olan μ_m değerleri* : Şekil 5.3 'te ikinci gruba dahil olan μ_m değerleri

5.3.2 μ_m Değerlerinin F/M Oranlarına Göre Değişiminin İncelenmesi

K_S değerlerinin hesabına benzer şekilde (5.16) denkleminin EK-C'de verilen MATCAD programı yardımıyla çözümünden elde edilen μ_m değerlerinin F/M'in fonksiyonu olarak değişimi Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 μ_m değerlerinin F/M oranına göre değişimi .

Şekil 5.3'e göre K_S değerlerinde olduğu gibi μ_m değerleri de F/M ile doğru orantılı olarak bir miktar artmaktadır. Şekil 5.3'ün incelenmesinden de anlaşılacağı üzere μ_m değerlerinin F/M'ye göre değişimini iki ayrı grupta toplamak mümkündür.

Birinci grup:

$F/M \leq 1$ olan μ_m değerleri ile;

$F/M = 400/500 = 1.33$ mgKOl/mgMLSS ve;

$F/M = 400/200 = 2$ mgKOl/mgMLSS olan μ_m 'larla birlikte 16 noktadan,

İkinci grup;

$F/M > 1$ olan 6 (veya 7) μ_m değerinden oluşmuştur.

Bu son grubun başlangıç konsantrasyonları genellikle yüksek olup, bunlar Tablo 5.3'ün alt kısmında işaretlenmiştir.

Birinci grup μ_m değerlerinin F/M oranına göre değişimi üstel fonksiyon şeklinde olup, EK-D2'de verilen MATCAD programı yardımıyla μ_m için,

$$\mu_m = 5.8 \left(\frac{F}{M} \right)^{0.753} + 0.762 ; \quad [R = 0.959, SS = \mp 0.15] \quad (5.22)$$

fonksiyonu belirlenmiş ve 0.753 değeri deneme-yanılma ile bulunmuştur.

İkinci grup μ_m değerlerinin F/M oranına göre değişimi logaritmik olup, EK-D3'te verilen MATCAD programı yardımıyla μ_m için,

$$\mu_m = 3.066 \cdot \ln \left(\frac{F}{M} \right) + 3.301 ; \quad [R = 0.975, SS = \mp 0.086] \quad (5.23)$$

elde edilmiştir.

5.3.3 Y Biyolojik Dönüşüm Oranının F/M' e Göre Değişimlerinin İncelenmesi

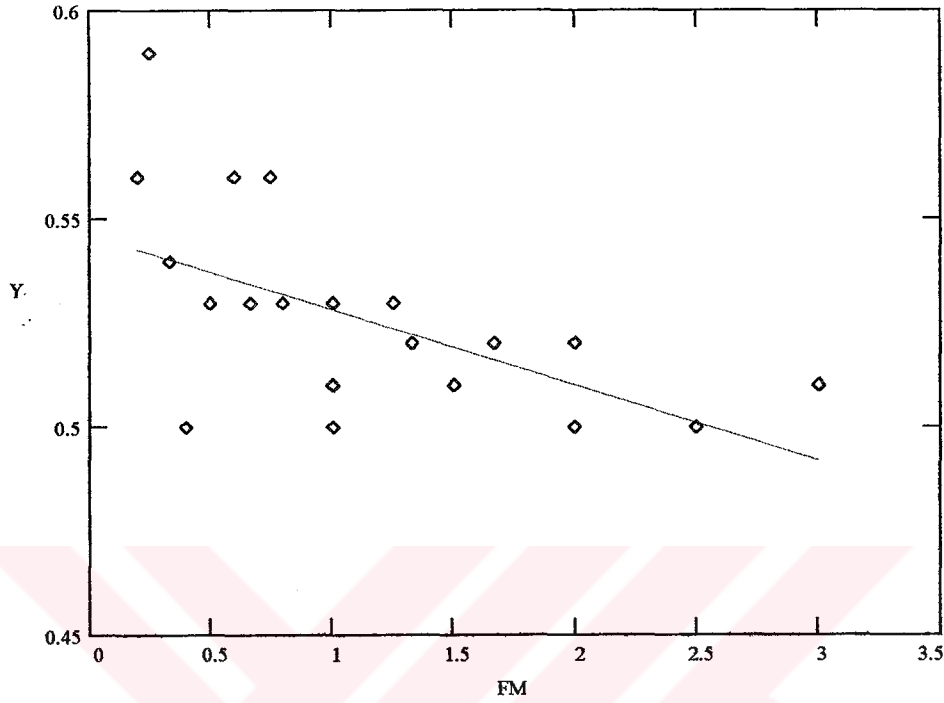
K_S ve μ_m ' a benzer şekilde Y değerlerinin de F/M' e göre değişimi Şekil 5.4'te verilen grafik üzerinde gösterilmiş, çok düzgün olmamakla birlikte Y' nin F/M' e göre azaldığı gözlenmiştir. Bu şekle göre Y için yaklaşık olarak 23 reaktör için;

$$Y = 0.546 e^{-0.034(F/M)} ; \quad [R = 0.5708, SS = \mp 0.00393] \quad (5.24)$$

ifadesi yazılabilirse de (EK-D4) korelasyon katsayısı çok düşük olduğundan Y ve

$\frac{\mu_m}{Y}$, $Y \cdot K_S$, $\frac{\mu_m}{Y \cdot K_S}$, $\frac{1}{Y \cdot K_S}$ terimlerinin sabit S_0 değerleri için X_0 ' ra göre; ve sabit

X_0 değerleri için S_0 ' ra göre, değişimleri grafikler üzerinde incelenmiş, sonuçlar Şekil 5.5 ve Şekil 5.6' da gösterilmiştir.

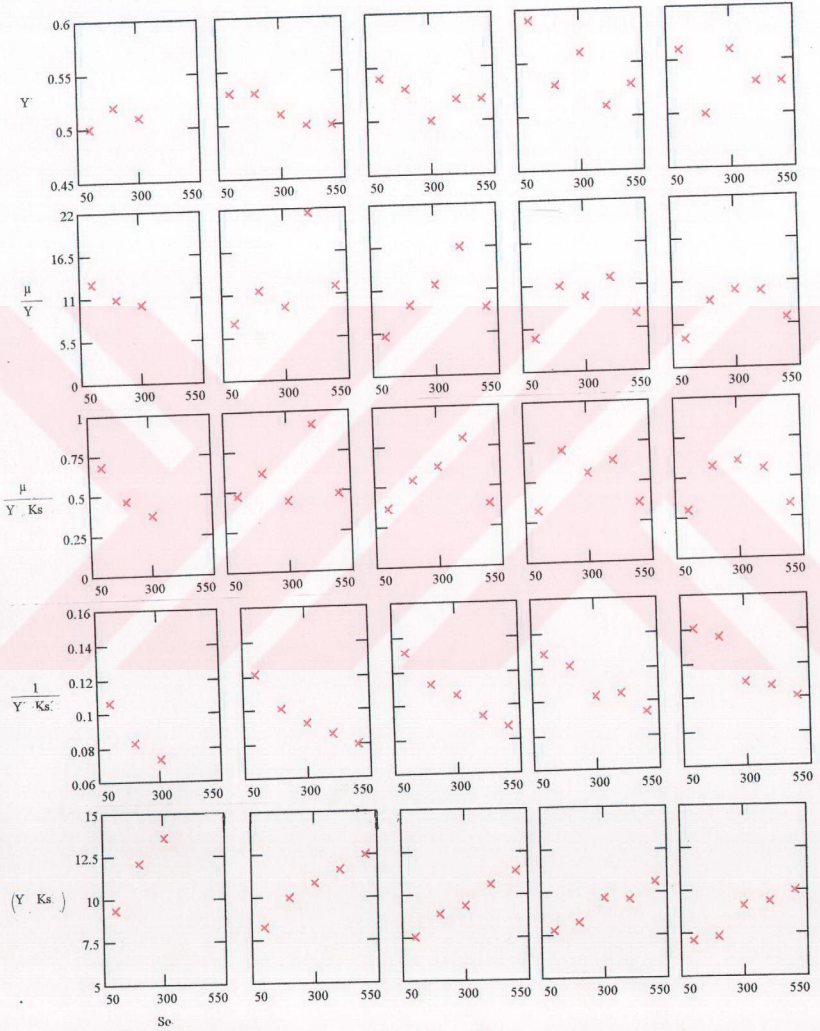


Şekil 5.4 Y değerlerinin F/M oranına göre değişimleri.

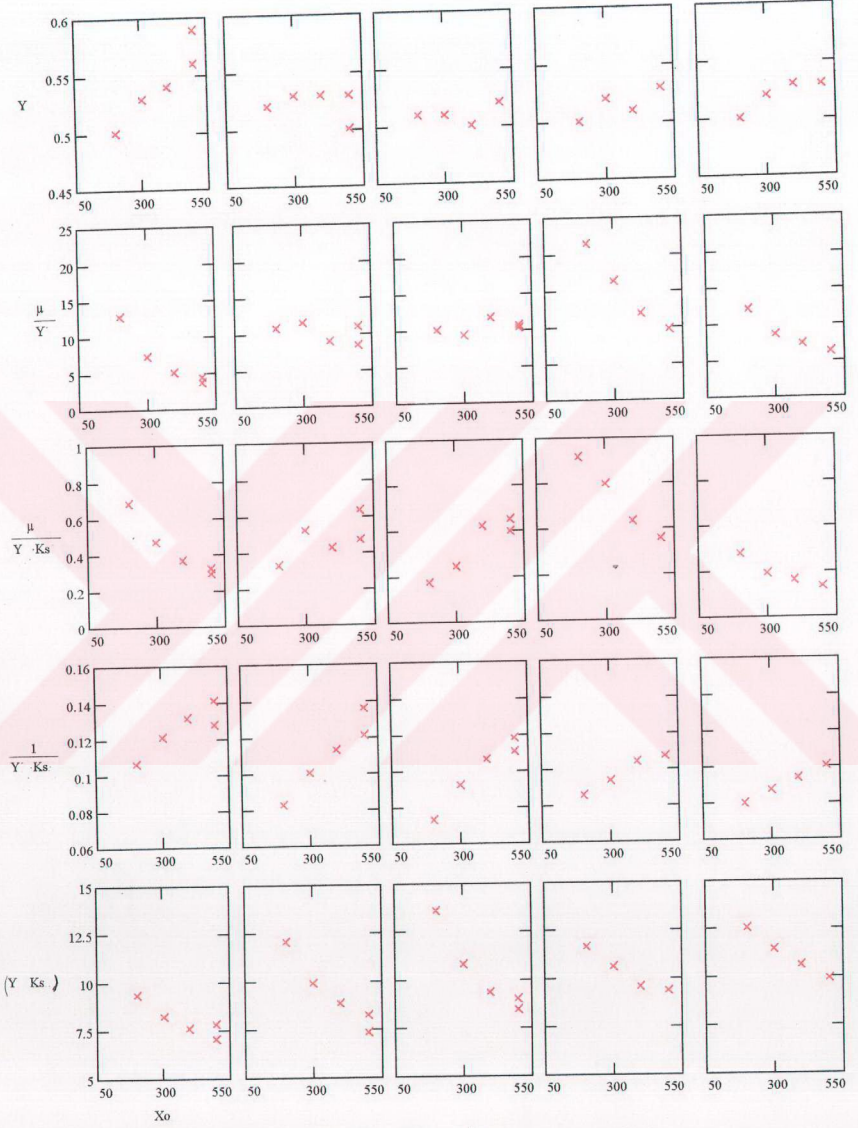
$Y, \frac{\mu_m}{Y}, \frac{\mu_m}{Y.K_s}, \frac{1}{Y.K_s}, Y.K_s$ terimlerinin sabit X_0 için S_0 'ra göre değişimi daha düzgün olduğundan diğerleri gözönüne alınmamıştır. Sabit X_0 değerleri için yukarıda tanımlanan terimlerden $Y.K_s$; S_0 ve $\frac{1}{Y.K_s}$; S_0 değişimleri dikkate değer bulunmuş, bunlardan X_0 başlangıç konsantrasyonları sabit beşli reaktör gruplarına ait $Y.K_s$ değerleri için,

$$\ln Y.K_s = \alpha \cdot \ln S_0 + \beta \quad (5.25)$$

ifadesinin α ve β sabitleri ile R korelasyon katsayısı ve SS standard sapma değerleri Tablo 5.4'de verilmiştir (ayrıca bakınız EK-D5'den EK-9'a). Yukarıdaki $Y.K_s$ ifadesinde (5.21) denkleminde bulunan K_s değerleri kullanılmıştır.



Şekil 5.5 Sabit X_0 grupları için $Y, \frac{\mu_m}{Y}, \frac{\mu_m}{Y \cdot K_s}, \frac{1}{Y \cdot K_s}, Y \cdot K_s$ değerlerinin değişimleri.



Şekil 5.6 Sabit S_0 grupları için $Y, \frac{\mu}{Y}, \frac{\mu}{Y \cdot K_s}, \frac{1}{Y \cdot K_s}, Y \cdot K_s$ değerlerinin değişimleri.

Denklem 5.25'deki α ve β katsayılarının X_0 'ra göre değişimleri ise Şekil 5.7 de verilmiştir.

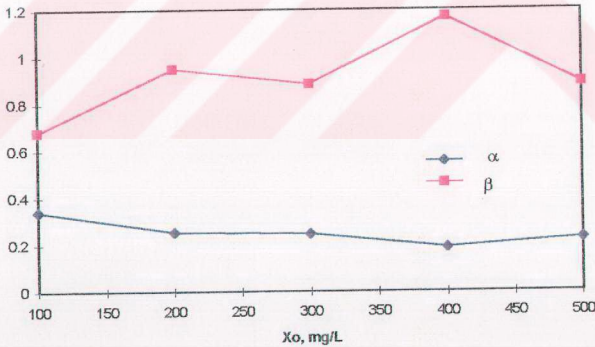
Tablo 5.4 $\ln Y.K_S = \alpha \cdot \ln S_0 + \beta$ (5.25) ifadesinde muhtelif X_0 konsantrasyonları için denklem sabitlerinin değerleri.

X_0	α	β	R	SS
100	0.3402	0.6785	0.999996	0.0027
200	0.2528	0.9490	0.999996	0.0019
300	0.2458	0.8838	0.9996	0.0056
400	0.1876	1.1696	0.9998	0.0087
500	0.2256	0.8861	0.9998	0.0105

Nisbeten düzgün olan α katsayıları X_0 cinsinden

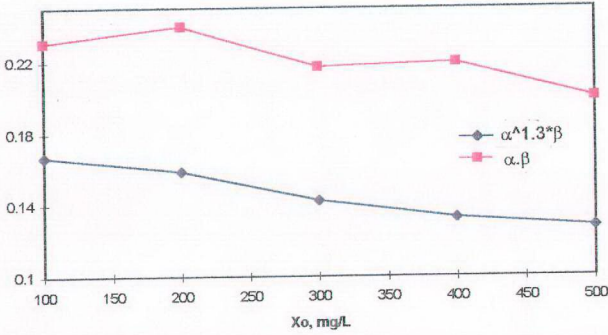
$$\alpha = 1.33X_0^{-0.303} ; \quad [R = 0.9265, SS = \mp 0.0085] \quad (5.26)$$

eşitliği yardımı ile hesaplanabilir (EK-E1).



Şekil 5.7 (5.25) denklemiindeki α ve β değerlerinin X_0 başlangıç konsantrasyonları göre değişimi.

β katsayılarının X_0 'ra göre değişimi, α 'nın kadar düzgün olmayıp, konveks bir gidiş, α , X_0 değişimi de bir miktar konkav olduğundan daha düzgün olabileceği düşüncesi ile $\alpha \cdot \beta$ çarpımlarının X_0 'a göre değişimi Şekil 5.8 de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 (5.25) denklemindeki $\alpha.\beta$ ve $\alpha^{1.3}.\beta$ değerlerinin X_0 başlangıç konsantrasyonlarına göre değişimi.

$\alpha.\beta$ çarpımlarının değişimi β ninkinden daha düzgün olmakla beraber X_0 ' a göre yüksek korelasyonlu bir ifade oluşturacak kadar yeterli değildir. Çarpımları daha düzgün olan bir büyüklük elde etmek üzere $\alpha.\beta$ çarpımından esinlenerek $\alpha.\beta$ yerine α ya c gibi bir üs ilave edilerek oluşturulan $\alpha^c.\beta$ çarpımlarının X_0 'a göre değişimi incelenmiş $C=1.3$ için en uygun korelasyonu veren $\alpha^{1.3}.\beta$ değerleri için:

$$\ln \alpha^{1.3}.\beta = -7.1310^{-4} X_0 - 1.7167 \quad ; \quad [R = 0.98884, SS = \mp 0.001] \quad (5.27)$$

eşitliği bulunmuştur (ilgili hesaplar EK-E2 de verilmiştir). Denklem (5.27) deki α yerine (5.26) daki değeri konulacak olursa β katsayılarını X_0 'ın fonksiyonu olarak;

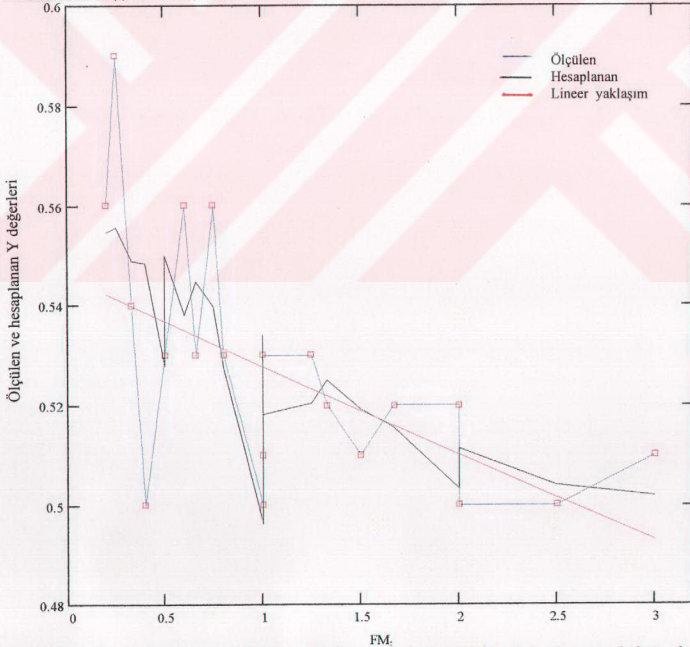
$$\beta = 0.124 X_0^{0.396} e^{-0.00071 X_0} \quad (5.28)$$

ifadesinden çözmek mümkün olur. α ve β ' nin eşitlikleri yazıldığına göre verilen herhangi bir giriş X_0 konsantrasyonuna tekabül eden α ve β değerleri bulunarak Y dönüşüm oranları (5.25) ifadesinin değiştirilmiş bir şekli olan:

$$Y = \frac{S^{\alpha} \cdot e^{\beta}}{11.368 F / M^{0.48} + 7.428} \quad (5.29)$$

fonksiyonu yardımı ile hesaplanabilir.

Biyolojik dönüşüm oranı Y' nin (5.24) ve (5.29)'dan hesaplanan değerleri deneysel değerlerle birlikte F/M 'e değişimi Şekil 5.9'da verilmiştir. Denklem (5.29)'dan elde edilen Y değerleri ile orjinal değerler arasında oldukça iyi bir uyum bulunduğu söylenebilir. Fakat Y' nin hesabı için (5.26) ve (5.28) eşitlikleri ile verilen α , β katsayılarının bilinmesi gerektiğinden bu işlemlerin uzun olduğu düşünülecek olursa Y' ler için ortalama değerlere yakın ve daha pratik olan (5.24) denkleminin kullanılması tavsiye edilebilir. Sonuçları karşılaştırma gayesi ile her reaktör için münferit olarak hesaplanan kinetik katsayılar ve model denklemlerden elde edilen tahmini değerleri S_R değerleri ile Tablo 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.9 Y' nin (5.24 ve 5.29)'dan hesaplanan değerlerinin deneysel değerlerle birlikte F/M ' e göre değişimi

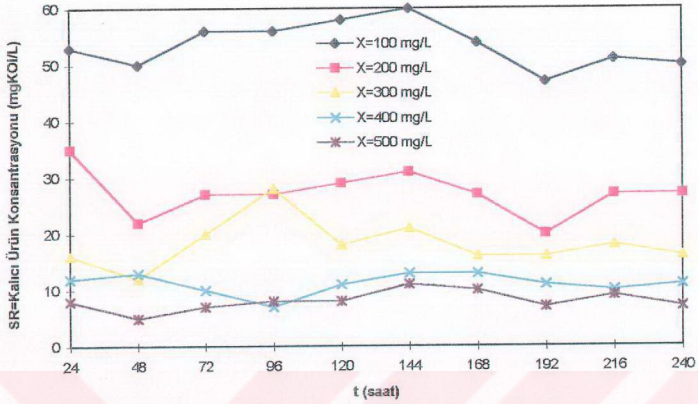
5.4 KALICI ÜRÜN (S_R) KONSANTRASYONUNUN BELİRLENMESİ

Yirmibeş adet F/M oranı ile beslenen yirmibeş reaktörde glukozun tamamının ayrışmasından sonra ölçülen KOI değerlerinin analiz sonuçları (S_R), herbir reaktöre ait diğer parametrelerle birlikte EK-A'daki tablolarda (Tablo A.1' den Tablo A.25' e kadar), toplu olarak da EK-B: Tablo B.16, B.17, B.18, B.19 ve B.20' de; zamana göre değişimleri Şekil 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 ve 5.14 'de verilmiştir.

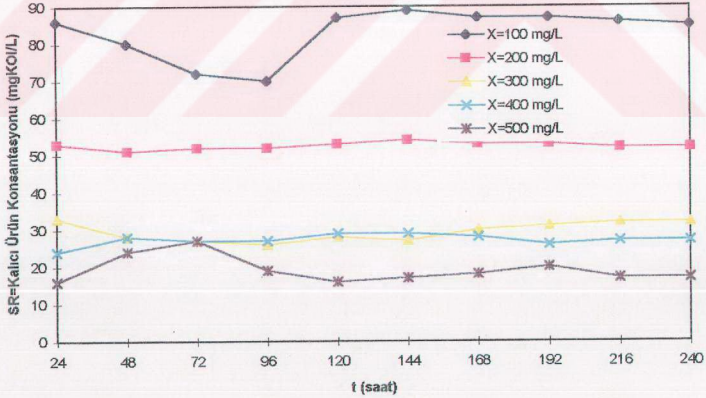
Glukozun tükenmesinden sonra ölçülen bu değerler kalıcı ürün olarak değerlendirilebilir. Yukarıdaki tablo ve şekillerin ışığı altında S_R için aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

- 1 . F/M oranları aynı olan reaktörlerde giriş şartlarından bağımsız olarak S_R değerlerinin glukoz konsantrasyonunun bitmesinden itibaren ölçüm periyodu boyunca neredeyse birebir eşit olduğu söylenebilir
 $(F/M=100/100=200/200=300/300=400/400=500/500=1,$
 $F/M=200/100=400/200=2, F/M=100/200=200/400=0.5 \text{ olan reaktörler}).$
- 2 . $S_o=100 \text{ mgKOI/L}, X_o=400 \text{ mg/L}; S_o=200 \text{ mgKOI/L}, X_o=400 \text{ mg/L}$ ve $X_o=500 \text{ mg/L}; S_o=400 \text{ mgKOI/L}, X_o=100 \text{ mg/L}$ olan dört reaktör dışındaki bütün reaktörlerde S_R değerleri $t=1$. günden itibaren önce bir miktar azalmakta yani; glukozun bitmesinden itibaren kalan KOI'nin bir miktarı daha ayrışmakta, bu ayrışma bazı reaktörlerde 1 gün, bazılarında 4-5 gün boyunca devam etmektedir. Kesin olmamakla beraber F/M oranı yüksek olan reaktörlerde bu sürenin daha uzun olduğu söylenebilir.

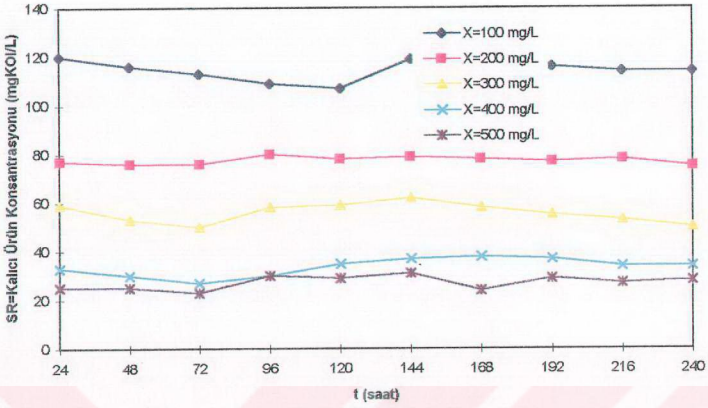
T.C. YÖREKÜREKİN KURUMU
DOKÜMANASYON MERKEZİ



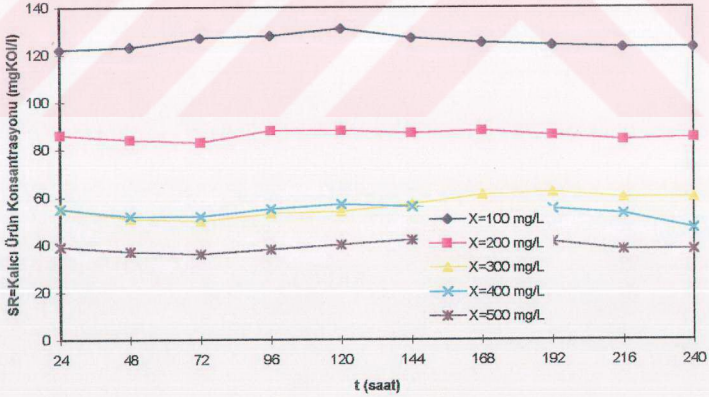
Şekil 5.10 $S_0=100$ mg KOI/L ve $X_0=100, 200, 300, 400, 500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 1, 0.5, 0.33, 0.25 ve 0.2 olan reaktörlerde, S_R kalıcı ürün konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



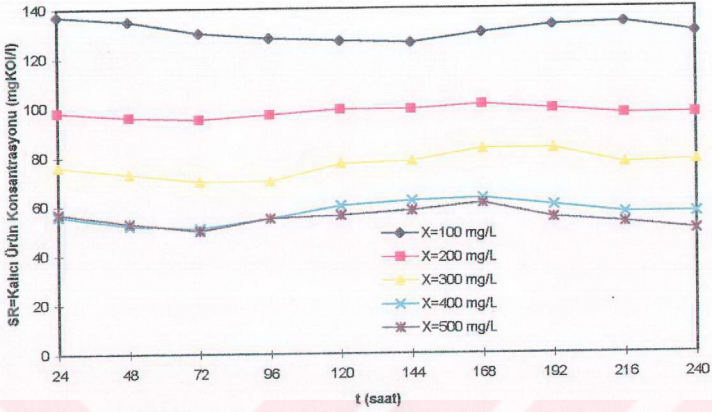
Şekil 5.11 $S_0=200$ mg KOI/L ve $X_0=100, 200, 300, 400, 500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 2, 1, 0.67, 0.5 ve 0.4 olan reaktörlerde, S_R kalıcı ürün konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



Şekil 5.12 $S_0 = 300$ mg KOI/L ve $X_0 = 100, 200, 300, 400, 500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 3, 1.5, 1, 0.75 ve 0.6 olan reaktörlerde, S_R kalıcı ürün konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



Şekil 5.13 $S_0 = 400$ mg KOI/L ve $X_0 = 100, 200, 300, 400, 500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 4, 2, 1.33, 1 ve 0.8 olan reaktörlerde, S_R kalıcı ürün konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.



Şekil 5.14 $S_0=500$ mg KOI/L ve $X_0=100,200,300,400,500$ mg MLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 5, 2.5, 1.67, 1.25 ve 1 olan reaktörlerde, S_R kalıcı ürün konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.

3. Ayrışma tamamlandıktan sonra KOI konsantrasyonu artmakta diğer bir ifadeyle ortama bir miktar daha S_R salgılanmaktadır. Bu artış çok hızlı olmayıp, yavaşça devam etmekte sonra gene yavaşça azalmaktadır. S_R kalıcı ürün analizlerine F/M oranına göre on ile onbeş gün boyunca devam edilmiş, standard olarak onuncu gün değerleri alınarak grafikler hazırlanmıştır.

4. Son ölçülen S_R değerleri ile glukozun bitmesinden sonra ölçülen KOI değerlerinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir.

5. Literatür kısmında bahsedildiği gibi giriş sübstrat (S_0) konsantrasyonu yüksek olan reaktörlerde ($F/M=500/100=5$, $F/M=400/100=4$ gibi) daha fazla kalıcı ürün oluştuğu gözlenmiş, kalıcı ürünün artan F/M ile düzenli olarak arttığı belirlenmiştir.

Yukarıdaki sonuçların ışığı altında muhtemelen glukoz ayrıştırırken de S_R oluşumu devam etmekte fakat bunların ayrımını yapacak bir mekanizma bulunmadığından (ayrıca oluşan ara ürünlerin bir kısmının biyolojik olarak parçalanabilir olması

nedeniyle) S_R 'ın zamana göre net değişimini belirlemek mümkün olmamıştır. Bu nedenle, S_R ile ilgili kinetik bir oluşum hızı ifadesinin tanımlanması zordur. Kinetik bir ifadenin belirlenebilmesi için S_R 'ı oluşturan analizleri yapabilecek bir çalışmaya ihtiyaç olduğu söylenebilir.

S_R oluşumu ile ilgili olarak; literatürde, hızlı ayrıışan karbon ve enerji kaynaklarının daha fazla ara ürün oluşmasına sebep olduğu belirtilmiştir (Rao ve Gaudy, 1966). Artan (1987), güç ayrıışan sübstratların sürekli beslenmesinde ara ürün oluşmasının düşük bir ihtimal olduğunu ifade etmiştir. Eckhoff ve Jenkins (1967) ise, kolay ayrıışan organik maddelerin ayrıışması sırasında ayrıışmadan kalan maddeleri, sübstrat metabolizması sırasında oluşan metabolik son ürünler olarak tanımlamışlardır. Beşinci maddede verildiği üzere bazı araştırmacılara (Chudoba, 1967; Grady ve Williams, 1975; Siber ve Eckenfelder, 1980; Baskir ve Hansford 1980) göre S_o konsantrasyonu yüksek olan reaktörlerde daha fazla çözünmüş metabolik ürün veya toplam KOI bulunmasına neden olur.

Pitter ve Chudoba (1990), S_o (giriş sübstrat konsantrasyonu)/ X_o (giriş mikroorganizma konsantrasyonu) oranının metabolik reaksiyonları etkileyerek, bu oranın sübstratın giderilmesi sırasında hücre artışı olup olmadığının belirlenmesinde de batch reaktörler için önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları da literatürde verilen bilgileri desteklemekle beraber kalıcı ürün konsantrasyonunun F/M oranından daha fazla etkilendiği gözlenmiştir.

5.4.1 Kalıcı Ürün Konsantrasyonu (S_R) nun F/M Oranına Göre Değişiminin İncelenmesi

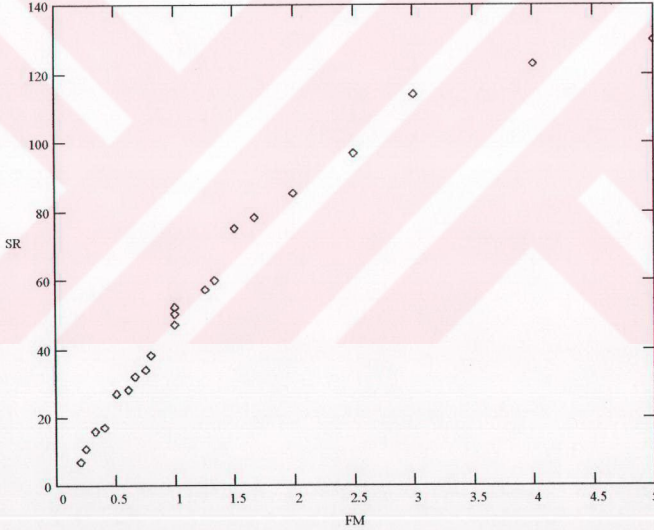
Analiz sonuçlarından elde edilen kalıcı ürün konsantrasyonunun (S_R) onuncu gündeki değerlerinin F/M oranlarına göre değişimi Şekil 5.15'te verilmiştir.

Şekil 5.15 yakından incelenecek olursa S_R değerlerini F/M cinsinden logaritmik, üstel veya hiperbolik fonksiyon tarzında ifade etmek mümkündür. Bunlar arasında

hiperbolik fonksiyon en iyi sonuçları verdiği için tercih edilmiş, ancak serbest değişken olarak F/M yerine $\left(\frac{F}{M}\right)^{1.39}$ kullanılmasının daha uygun olduğu gözlenmiş ve S_R için (EK-F1’de verilen MATCAD programı yardımıyla);

$$S_R = \frac{161.7(F / M)^{1.39}}{2.2015 + (F / M)^{1.39}} ; \quad [R = 0.997, SS = \mp 0.527] \quad (5.30)$$

ifadesi bulunmuştur. Ölçülen S_R değerleri (5.30) denkleminde hesaplananlarla birlikte Tablo 5.5’te gösterilmiştir.



Şekil 5.15 Kalıcı ürün konsantrasyonunun F/M oranına göre değişimi .

Ayrıca; (a) S_R ’ın sabit S_0 için X_0 , ve ;

(b) Sabit X_0 için S_0 ’a göre değişimleri incelenmiş, EK-F’de (F2’den F6’ya kadar) verilen MATCAD programlarına göre (a)’daki sonuçların daha

düzgün olduğu gözönüne alınarak A ve B S_o 'a bağlı denklem sabitleri olmak üzere S_R için:

$$S_R = B.e^{A.X_o} \quad (5.31)$$

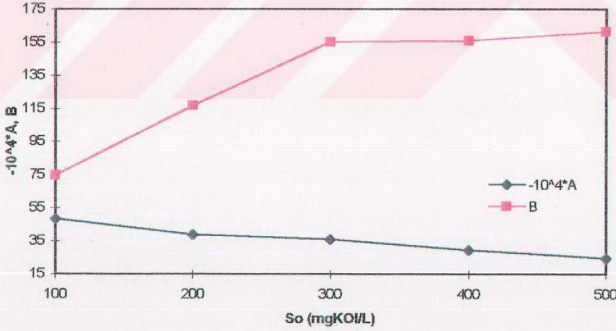
ifadeleri elde edilmiştir.

S_o 'a göre değişen A ve B denklem sabitleri ile korelasyon katsayısı (R) ve standard sapma (SS) değerleri Tablo 5.6'da verilmiştir. A ve B nin S_o 'a göre değişimi Şekil 5.16'da gösterilmiştir.

Yapılan incelemelerden A için:

$$A = 0.00563 e^{-0.001638 S_o} ; \quad [R = 0.999, \quad SS = \mp 0.0005] \quad (5.32)$$

ifadesi elde edilmiştir (EK-G1).



Şekil 5.16 (5.32) denkleminde göre hesaplanan A ve B denklem sabitlerinin S_o 'a göre değişimi.

Tablo 5.5 23 adet reaktörün S_0 ve X_0 giriş şartlarında kinetik katsayılarının ölçülen ve hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması.

Giriş Şartları			Parametreler		K _s (mg/L)		μ _m (1/gtn)		Y (mgMLVSS/mg sübstrat)				S _R (mg/L)	
S ₀ mg/L	X ₀ mg/L	F/M	Ölçülen	(5.21) ile Hesap.	Ölçülen	(5.22) ve (5.23) ile Hesap.	Ölçülen	(5.24) ile Hesap.	(5.29) ile Hesap.	Ölçülen	(5.30) ile Hesap.	(5.31) ile Hesap.		
100	500	0.2	12.88	12.68	2.11	2.49 x	0.56	0.54	0.55	7	7.5	6.18		
100	400	0.25	13.38	13.27	2.56	2.80 x	0.59	0.54	0.56	11	10	10.20		
100	300	0.33	13.86	14.11	2.81	3.28 x	0.54	0.54	0.55	16	14.5	16.81		
200	500	0.4	14.33	14.75	4.25	3.67 x	0.5	0.54	0.55	17	18.2	15.64		
100	200	0.5	15.91	15.58	3.89	4.20 x	0.53	0.54	0.53	27	23.9	27.71		
200	400	0.5	15.36	15.58	5.81	4.20 x	0.53	0.54	0.55	27	23.9	23.33		
300	500	0.6	16.43	16.32	5.55	4.71 x	0.56	0.54	0.54	28	29.5	34.76		
200	300	0.66	15.95	16.74	4.80	5.00 x	0.53	0.53	0.54	32	33.2	34.80		
300	400	0.75	17.65	17.33	5.39	5.43 x	0.56	0.53	0.54	34	37.7	46.92		
400	500	0.8	18.05	17.64	5.21	5.66 x	0.53	0.53	0.53	38	40.4	35.14		
100	100	1	18.56	18.80	6.43	6.56 x	0.50	0.53	0.50	50	50.5	45.69		
200	200	1	19.19	18.80	6.15	6.56 x	0.53	0.53	0.53	52	50.5	51.92		
300	300	1	17.75	18.80	5.88	6.56 x	0.50	0.53	0.53	50	50.5	63.33		
400	400	1	20.32	18.80	6.1	6.56 x	0.51	0.53	0.53	47	50.5	47.43		
500	500	1	19.16	18.80	3.34	3.30	0.53	0.53	0.52	50	50.5	59.08		
500	400	1.25	19.22	20.08	3.88	3.99	0.53	0.52	0.52	57	61.8	72.16		
400	300	1.33	20.59	20.46	8.54	7.95 x	0.52	0.52	0.52	60	65.3	64.03		
300	200	1.50	21.83	21.24	4.82	4.54	0.51	0.52	0.52	75	71.8	85.49		
500	300	1.67	21.94	21.97	4.52	4.87	0.52	0.52	0.52	78	77.7	88.13		
200	100	2	23.08	23.28	5.63	5.43	0.52	0.51	0.50	85	87.9	77.46		
400	200	2	22.33	23.28	10.71	10.54 x	0.5	0.51	0.51	85	87.9	86.43		
500	200	2.5	25.58	25.08	6.06	6.11	0.5	0.50	0.50	97	100.1	107.65		
300	100	3	26.74	26.69	5.15	-	0.51	0.49	0.50	114	109.4	115.40		
400	100	4	-	-	-	-	-	-	-	122	122.4	116.67		
500	100	5	-	-	-	-	-	-	-	130	130.9	131.48		

x : (5.22) denklemi ile hesaplanan μ_m değerleridir.

Tablo 5.6 $S_R = B.e^{A.X_0}$ ifadesinde S_0 'ın fonksiyonu olarak değişen denklem sabitlerinin değerleri.

S_0 (mg/L)	A	B	R	SS
100	-0.004830	74.739	0.9917	0.8897
200	-0.003874	116.746	0.9893	1.5699
300	-0.003599	155.182	0.9946	1.4645
400	-0.002942	156.007	0.9920	1.7293
500	-0.002443	161.354	0.9956	1.2182

Şekil 5.16'da da görüldüğü gibi B için tek bir ifade vermek mümkün olmadığından üçüncü nokta ortak olmak üzere ilk üç nokta için (EK-G2);

$$B = 0.4022 S_0 + 35.113 \quad ; \quad [R = 0.9997, \quad SS = \mp 0.5] \quad (5.33)$$

son üç nokta için;

$$B = 145.67 e^{0.000195 S_0} \quad ; \quad [R = 0.923146, \quad SS = \mp 0.61] \quad (5.34)$$

ifadeleri yazılabilir (EK-G3).

(5.32), (5.33) ve (5.34) eşitlikleri ile verilen A ve B' nin S_0 cinsinden değerlerinin (5.31) denklemine konulması ile hesaplanan S_R kalıcı ürün konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak Tablo 5.5'de verilmiştir.

Tablo 5.5'den de görüleceği üzere denklem (5.30) ile bulunan S_R değerleri ölçülen değerlere denklem (5.31)'in sonuçlarından daha yakın olduğundan S_R hesabı için F/M'in fonksiyonu olan (5.30) denkleminin kullanılması uygun olur.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada glukoz ile beslenen kesikli reaktörlerde başlangıç mikroorganizma (X_o) ve sübstrat (S_o) konsantrasyonunun kalıcı ürün (S_R) oluşumuna etkisi incelenmiş, ayrıca kinetik sabitlerin $F/M (=S_o/X_o)$ oranlarıyla değiştiği gözlenmiştir.

Farklı F/M oranlarıyla beslenen yirmibeş reaktörde glukoz, KOI, biyokütle ve kalıcı ürün analizleri yapılmış, sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

Yapılan çalışmaların ışığı altında:

- 1 . Genel anlamda tüm parametrelerin F/M oranlarından etkilendiği gözlenmiştir.
- 2 . Kinetik katsayıların belirlenmesi için aşağıdaki;

$$\ln \frac{S}{S_o} = \left(1 + \frac{S_o + Y / X_o}{K_s} \right) \ln \left[1 + \frac{Y}{X_o} (S_o - S) \right] - \frac{\mu_m}{K_s} \left(\frac{Y}{X_o} + S_o \right) t \quad (5.16)$$

integral denklemi verilmiş, bu denklemden elde edilen çözümlerin ölçüm sonuçlarına Gates-Marlar denkleminde daha iyi yaklaştığı gözlenmiştir.

- 3 . F/M oranlarının değişmesi tür değişimine tekabül ettiği için integral denklemin en küçük kareler metodu kullanılarak çözümü ile bulunan kinetik katsayılarından K_s 'in F/M ' e göre;

$$K_s = 11.368 \left(\frac{F}{M} \right)^{0.48} + 7.428 \quad (5.21)$$

şeklinde değiştiği belirlenmiştir.

- 4 . Maksimum özgül çoğalma hızları F/M ' e göre iki grupta toplanmış olup, μ_m

değerlerinin;

$0.2=F/M \leq 1$ için;

$$\mu_m = 5.8 \left(\frac{F}{M} \right)^{0.753} + 0.762 , \quad (5.22)$$

$1 > F/M \leq 2.5$ için;

$$\mu_m = 3.066 \ln \left(\frac{F}{M} \right) + 3.301 \quad (5.23)$$

ifadelerinden hesaplanabileceği tespit edilmiştir.

- 5 . Biyolojik dönüşüm oranlarının (Y), K_s ve μ_m kadar düzgün olmamakla beraber F/M' e göre azaldığı gözlenmiş, F/M' e göre değişimleri için:

$$Y = 0.546 e^{0.034(F/M)} \quad \text{ve;} \quad (5.24)$$

$$Y = \frac{S^\alpha \cdot e^\beta}{11.368(F/M)^{0.48} + 7.428} \quad (5.29)$$

şeklinde iki ifade teklif edilmiştir. Burada α ve β , X_0 giriş mikroorganizma konsantrasyonunun fonksiyonu olup, ifadeleri beşinci bölümde verilmiştir (denklem (5.26) ve (5.28)).

- 6 . Glukozun bitmesinden itibaren ayrışmadan kalan ürün (S_R) konsantrasyonlarının F/M oranları aynı olan reaktörlerde birbirine eşit olduğu tespit edilmiştir.
- 7 . Kalıcı ürünün bir miktar (yaklaşık olarak % 2 ile 5 nin) daha ayrıştığı ve ayrışma süresinin F/M oranı yüksek olan reaktörlerde daha uzun olduğu belirlenmiştir.
- 8 . S_R ' ın ayrışan kısmı tüketildikten sonra ortama bir miktar daha kalıcı ürün salgılanmaktadır. Bu artış çok hızlı olmayıp yavaşça yükselmekte, maksimum bir değere ulaştıktan sonra gene yavaşça azalmaktadır. Bu değişim önemli olmayıp

%2-%3 mertebesinde kalmaktadır.

- 9 . Pratik olarak onuncu gün sonunda ölçülen kalıcı ürün (S_R) konsantrasyonlarının glukozun bitmesinden sonraki 24 saat içerisinde ölçülen KOI değerlerine eşit olduğu söylenebilir.
- 10 . Literatürde ifade edilenlere paralel olarak giriş sübstrat konsantrasyonu yüksek olan reaktörlerde ($F/M=4$, $F/M=5$ gibi) daha fazla kalıcı ürün olduğu gözlenmiş, kalıcı ürünün artan F/M ile düzenli olarak arttığı belirlenmiştir.
- 11 . Kalıcı ürün konsantrasyonlarının F/M oranları cinsinden çok düzgün olarak;

$$S_R = \frac{161.7(F / M)^{1.39}}{2.202 + (F / M)^{1.39}} \quad (5.30)$$

ifade edilebileceği gösterilmiştir.

Bu çalışmada ortaya konan bulguların ışığı altında burada elde edilen sonuç ve modellerin pratikte uygulanabilmesi için sürekli ve/veya kesikli reaktör sistemleri ve sentetik veya özelliği değişmeyen atıksularla çalışmanın daha gerçekçi sonuçlar vereceği düşünülebilir.

Kinetik değerlendirme bakımından sürekli ve doğru veri elde etmek için analizlerin mümkünse respirometrik ölçüm yöntemleriyle yapılması gerekir. Bu ölçümler yardımıyla daha gerçekçi dönüşüm oranlarının elde edilmesi mümkün olacaktır.

Kesikli reaktörler kullanılacak olursa kalıcı ürün analizlerine daha uzun süre (bir-iki ay gibi) devam edilmelidir. Kolay ve zor ayrışan sübstratlar ile beslenen sistemlerde kalıcı ürün oluşumu hakkında farklı görüşler ileri sürüldüğünden zor ayrışan atıksularla da benzer çalışmaların yapılması uygun olabilir.

Kalıcı ürün oluşumu kinetiğini ortaya çıkarabilmek için ana sübstratın tükenmesinden sonra kalan KOI'nin ayrışan ve ayrışamayan kısımlarının belirlenmesi daha iyi sonuçlar verecektir.

KAYNAKLAR

- AKAL, S.K.,(1990),** Aktif Çamurda Çözünmüş Metabolik Ürün Oluşumu Modeli, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü.
- APHA, AWWA, WPCF.,(1989),** Standart Methods for the Examnation of Water and Waste Water
- ARTAN, N., (1987),** Aktif Çamurda Çözünmüş Kalıcı Ürün Oluşumu Modeli, Doktora Tezi, İ.T.Ü.
- BAŞKAYA, H.S., (1994),** Çevre Laboratuvarı Tekniği Ders Notları, U.Ü.
- BENEFIELD, L.D., RANDALL, C.W., KING, P.H., (1975),** Process Control by Oxygen Uptake and Solids Analysis, J.Water Pollut. Control Fed., 47, 2498
- BOERO, V.J., ECKENFELDER, W.W.Jr., BOWERS, A.R., (1991),** Soluble Microbial Product Formation in Biological Systems, Wat. Sci. Tech., Vol.23, Kyoto, 1067-1076
- BOYLE, W.C., BERTHOUEX, P.M., (1972),** Biological Waste Water Treatment Model Building Fits and Misfits, International Conference of the IAWPR, Atlanta, Georgia
- BRAHA, A., HAFNER, F., (1987),** Use of Lab. Batch Reactors to Model Biokinetics, Wat. Res., Vol.21, No.1, 73-81
- CAILAS, M.D., GEHR, R., (1989),** The Oxygen Uptake Rate Approach for Analysing Respirometric Biochemical Oxygen Demand Data-II: Application and Evaluation, Wat. Res., Vol.23, No.8, 993-1001
- CECH, J.S., et.al., (1985),** Determination of Kinetic Contants of Activated Sludge Microorganisms, Wat. Sci. Tech., Vol.17, 259-272
- CHANDRA, S., MINES, R.O., SHERRARD, J.H., (1987),** Evaluation of Oxygen Uptake Rate As an Activated Sludge Process Control Parameter, J.WPCF, Vol.59, No.12, 1009-1016
- GAUDY, A.F.Jr., BLACHLY, T.R., (1985),** a Study of the Biodegradability of Residual COD, J. Wat. Pollut. Cont. Fed., Vol.43, No.4, 332
- CHUDоба, J., (1967),** Residual Organic Matter in Activated Sludge Process Effluents-I: Degradation of Saccharides, Fatty Acids and Amino Acids Under Batch Conditions, Sci.Pap.Inst Chem. Technol., Prague, F12, 39-76

- CHUDOBA, J., NEMEC, M., NEMECOVA, B., (1968.a)**, Residual Organic Matter in Activated Sludge Process Effluents-II: Degredation of Saccharides and Fatty Acids Under Continuous Conditions, Sci. Pop. Inst. Chem. Technol., Prague, F13, 45-63
- CHUDOBA, J., PRASIL, M., EMMEROVA, H., (1968.b)**, Residual Organic Matter in Activated Sludge Process Effluents-III: Degradation of Amino Acids and Phenols Under Continous Conditions, Sci. Pop. Inst. Chem. Technol., Prague, F13, 45-63
- CHUDOBA, J., (1969)**, Formal Discussion to the Paper: Linear Substrate Removal in the Activated Sludge Process by Tischler, L.F. and Eckenfelder, W.W.Jr., Pap. No.II-4, Fourth Int. Conf. on Water Pollut.. Res., Prague
- CHUDOBA, J. et.al., (1973)**, Control of Activated Sludge Filamentous Bulking-III, Wat. Res., 7, 1389-1406
- CHUDOBA, J., (1985)**, Quantitative Estimation in COD Units of Refractory Organic Compounds Produced by Activated Sludge Microorganisms, Wat. Res., Vol.19, 1, 37-43
- CHUDOBA, P., CAPDEVILLE, B., CHUDOBA, J., (1992)**, Explanation of Biological Meaning of the S_0 / X_0 Ratio in Batch Cultivation, Wat. Sci. Tech., Vol.26, No:3-4, 743-751
- DAIGGER, G.T., GRADY, C.P.L.Jr., (1977)**, A Model For the Biooxidation Process Based on Product Formation Concepts, Wat. Res., Vol.11, 1049-1057
- DAIGGER, G.T., GRADY, C.P.L.Jr., (1982)**, The Dynamics of Microbial Growth on Soluble Substrates, Wat. Res., 16, 365-382
- DANG, J.J., et.al., (1989)**, Evaluation of Biodegradation Kinetics with Respirometric Data, J.WPCF, Vol.61, No.11/12, 1711-1721
- DENNIS, R.W., IRVINE, R.L., (1983)**, A Stoichiometric Model of Bacterial Growth, Wat. Res., 15, 1363-1373
- DOLD, P.L., EKAMA, G.A., MARAIS, G.V.R., (1980)**, A General Model for the Activated Sludge Process, Prog. Wat. Technol., 12, 47-77
- DOLD, P.L., MARAIS, G.V.R., (1986)**, Evaluation of the General Activated Sludge Model Proposed by the IAWPRC Task Group, Wat. Sci. Tech., Vol.18, 63-69

- DROSTE, R.L., SANCHEZ, W.A., (1983),** Microbial Activity in Aerobic Sludge Digestion, Wat. Res., Vol.17, 19, 975-983
- DUGGAN, J.B., CLEASBY, J.L., (1976),** Effect of Variable Loading on Oxygen Uptake, J. Water Pollut. Control Fed., 43, 540
- ECKHOFF, D.W., JENKINS, D., (1967),** Activated Sludge Systems Kinetics of the Steady and Transient States, Serl Report, No.67-12, Berkeley
- EKAMA, G.A., MARAIS, G.V.R., (1984),** Carbonaceous Material Removal, Theory, desing and Operation of Biological Nutrient Removal Activated Sludge Process, in WRC (Ed.), WRC of S.A., University of Cape Town
- EKAMA, G.A., DOLD, P.L., MARAIS, G.V.R., (1986),** Procedures for Determining Influent COD Fractions and the Maximum Specific Growth Rate of Heterotrophs in Activated Sludge Systems, Wat. Sci. Tech., Vol.18, 91-114
- EREMEKTAR, G., (1997),** Aktif Çamurda Çoklu Sübstrat Gideriminin Modellenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü.
- FUJIE, K., et.al.,(1988),** A Simplified Kinetic Model to Simulate Soluble Organic Substances Removal in an Activated Sludge Aeration Tank, Wat. Res., Vol.22, No.1, 29-36
- GAFFNEY, P.E., HEUKELEKIAN, H., (1961),** Biochemical Oxidation of the Lower Fatty Acids, J. Wat. Pollut. Control Fed., Vol.33, No.11, 1169-1184
- GAUDY, A.F.Jr., (1962),** Colorimetric Determination of Protein and Carbonhydrate, Industrial Water and Wastes, January-February, 17-22
- GAUDY, A.F., KOMOLRIT, K. and BHATLA, M.N., (1963),** Sequential Substrate Removal in Heterogenous Populations, J. Wat. Pollut. Control Fed., 35, 903-922
- GAUDY, A.F.Jr., (1972),** Biochemical Oxygen Demand, Water Pollution Microbiology, Mitchell, R. (Ed.), Vol.1, Wiley-Interscience, London
- GAUDY, A.F.Jr., BLACHLY, T.R., (1985),** A Study of the Biodegradatability of Residual COD, J. Wat. Pollut. Control Fed., Vol.43, No.4, 332
- GAUDY, A.F., et.al., (1987),** Methodology Respirometric Data to Assess Biodegradation Kinetics, 42 nd Annual Industrial Waste Conference, Purdue University, West Lafayette, IN, USA
- GERMİRLİ, F., (1990),** The Incremental and Comparison Methods for the Assesment of Initial Soluble Inert COD, Ph D Thesis, Istanbul Technical University

- GERMİRLİ, F., ORHON, D., ARTAN, N., (1991),** Assesment of the Initial Inert Soluble COD in Industrial Wastewaters, Wat. Sci. Tech., Vol.23, 1077-1086
- GÖRGÜN, E., ORHON, D., (1991),** SEK/İstanbul Tesisleri Atıksularının Biyolojik Arıtılabilirliği, SKKD Cilt 1, Sayı 3, 159-167
- GRADY, C.P.L.Jr., et.al., (1972),** Effects of Growth Rate and Influent Substrate Concentration on Effluent Quality From Chemostads Containing Bacteria in Pure and Mixed Culture, Biotech. Bioeng., 14, 391-410
- GRADY, C.P.L.Jr., WILLIAMS, D.E., (1975),** Effects of Influent Substrate Concentration on the Kinetics of Natural Microbial Populations in Continuous Culture, Wat. Res., 9, 171-180
- GRADY, C.P.L.Jr., LIM, H.C., (1980),** Biological Wastewater Treatment Theory and Applications, Marcel Dekler Inc., N.Y.
- GRADY, C.P.L.Jr., et.al., (1989),** Evaluation of Biodegradation Kinetics with Respirometric Data, Research Journal WPCF, Vol.61, 11/12, 1711-1721
- GRADY, C.P.L.Jr., et.al., (1989),** Determination of Biodegradation Kinetics Through use of Electrolytic Respirometry, Wat. Sci. Tech., Vol.21, Brighton, 957-968
- GRAU, P., DOHANYOS, M. AND CHUDоба, J., (1975),** Kinetics of Multicomponent Substrate Removal by Activated Sludge, Wat. Res., Vol.9, 637-642
- GRIFFITHS, P., (1994),** Modifications to the IAWPRC Task Group General Activated Sludge Model, Wat. Res., Vol.28, No.2, 657-664
- HEJZLAR, J., CHUDоба, J., (1986.a),** Microbial Polymers in the Aquatic Environment-I, Wat. Res., Vol.20, 10, 1209-1216
- HEJZLAR, J., CHUDоба, J., (1986.b),** Microbial Polymers in the Aquatic Environment-II, Wat. Res., Vol.20, 10, 1217-1221
- HENZE, M., (1986),** Nitrate Versus Oxygen Utilization Rates in Waste Water and Activated Sludge Systems, Wat. Sci. Tech., 18, No.6, 115-122
- HENZE, M., GRADY, J.P.L.Jr., GUJER, W., MARAIS, G.V.R., MATSUO, T., (1987),** IAWPRC Task Group Reprit on Mathematical Modelling For Desing and Operation of Biological Wastewater Treatment, Final Report
- HENZE, M., (1989),** The Influence of Raw Wastewater Biomass on Activated Sludge Oxygen Respiration Rates and Denitrification Rates, Wat. Sci. Tech., Vol.21, 603-607

- HOLMBERG, A., OLSSON, G., (1985),** Simultaneous On-Line Estimation of Oxygen Transfer and Respiration Rate, 1 st IFAC Symposium on Modelling Biotechnological Processes, Noordwijkerhout, Netherland
- HUANG, J.Y.C., CHENG, M.D., (1984),** Measurements and New Applications of Oxygen Uptake Rates in Activated Sludge Process, J. Water Pollut. Control Fed., 56, 259
- JONES, G.L., (1973),** Bacterial Growth Kinetics Measuremet and Significance in the Activated Sludge Process, Wat. Res., Vol.7, 1475-1492
- KALINSKE, A.A., (1971),** Effect of Dissolved Oxygen and Substrate Concentration on the Uptake Rate of Microbial Suspensions, J. Water Pollut. Control Fed., 43, 73
- LAWRENCE, A.W., Mc CARTY, P.L., (1970),** Unified Basis for Biological Treatment Desing and Operation, J. San. Eng. Div., ASCE SA 3, 757-778
- LEE, S.B., BAILEY, J.E., (1985),** A Kinetic Model For Product Formation in Unstable Recombinant Populations, Biotech. Bioeng., Vol.XXVII, 1699-1709
- LEVENSPIEL, O., (1972),** Chemical Reaction Engineering, 2 nd Edition, Wiley, NY
- LEVENSPIEL, O., (1980),** The Monod Equation: A Revisit and a Generalization to Product Inhibition Situations, Biotech. Bioeng., Vol.XXII, 1671-1687
- MCWHORTER, T.R., HEUKELEKIAN, H., (1964),** Growth and Endogenous Phases in the Oxidation of Glucose, Advances in Water Pollution Research Proc. 1 st. Int. Conf. on Wat. Pollut. Res. London, Vol.2, 419-435
- MILLER, D.L., (1985),** Respiration Rates, Operations Forum, 2, 14
- MONOD, J., (1949),** The Growth of Bacterial Cultures Anni. Rev. Microbial, 3, 371-394
- NELSON, P.O., LAWRENCE, A.W.M., (1980),** Microbial Viability Measurements and Activated Sludge Kinetics, Wat. Res., Vol.14, 217-225
- QUASIM, S.R., STINEHELPER, M.L., (1982),** Effect of a Bacterial Culture Product on Biological Kinetics, Journal WPCF, Vol.54, No.3, 255-260
- OBAYASHI, A.W., GAUDY, A.F.Jr., (1973),** Aerobic Digestion of Extracellular Microbial Polysaccharides, J. Wat. Pollut. Control Fed., Vol.45, No.7, 1584-1594

- ORHON, D., ARTAN, N., CİMSİT, Y., (1989),** The Concept of Soluble Residual Product Formation in the Modelling of Activated Sludge, Wat. Sci. Tech., 21, 339-350
- ORHON, D., et.al., (1992),** The Effect of Residual COD on the Biological Treatability of Textile Wastewaters, Wat. Sci. Tech., Vol.3-4, 815-825
- PELKONEN, M., TENNO, R., (1993),** New Control Parameters and Measurements Techniquer for the Activated Sludge Process, Wat. Sci. Tech., Vol.27, No.5-6, 287-295
- PITTER, P., CHUDоба, J., (1990),** Biodegradability of Organic Substances in the Aquatic Environment
- RAO, B.S., GAUDY, A.F.Jr., (1966),** Effect of Sludge Concentration on Various Aspects of Biological Activity in Activated Sludge, J. Wat. Pollut. Control Fed., Vol.38, 5, 794-812
- RITTMANN, B.E., BAE, W., NAMKUNG, E. and LU, C.J., (1987),** A Critical Evaluation of Microbial Product Formation in Biological Processes, Wat. Sci. Tech., Vol.19, 517-528
- ROBERTS, R.D., KEMPTON, A.G., (1971),** Use of ^{14}C , Glucose to Study Substrate Removal by Activated Sludge, J. Wat. Pollut. Control Fed., Vol.43,7
- ROZICH, A.F., (1992),** Desing and Operational Analyses of Activated Sludge Process Using Respirometrically Calibrated Models, Wat. Sci. Tech., Vol.26, No.3-4, 753-762
- SPEECE, R.E., et.al., (1973),** Cell Replication and Biomass in the Activated SludgeProcess, Wat. Res., Vol.7, 361-374
- SEIFTER, S., DAYTON, S., NOVIC, B., MUNTWYLERE, E., (1950),** Esrimation of Glycogen with Anthrone Reagent, Archives of Biochemistry, 25, 191
- SHERRARD, J.H., EDWARDS, G.L., (1982),** Measurement and Validity of Oxygen Uptake Rate As an Activated Sludge Process Control Parameter, J. Water Pollut. Fed., 54, 1546
- SHULZE, K.L., KOOISTRA, R.D., (1969),** Oxygen Demand and Supply in Activated Sludge Plant, J. Water Pollut. Control Fed., 41, 1763
- SOLLFRANK, U., GUJER, W., (1990),** Simultaneous Determination of Oxygen Uptake Rate and Oxygen Transfer Coefficient in Activated Sludge Systems by an On-Line Method, Wat. Res., Vol.24, No.6, 725-732

- STANLEY, P., (1986),** Extraction of Adenosine Triphosphate From Microbial and Somatic Cells, *Methods in Enzymology*, M.A. Deluca and W.D. Mc Elroy (Eds.), Vol.133, Academic Press, 14-21
- SUNDSTROM, D.W., KLEI, H.E., (1979),** Wastewater Treatment, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632
- TISCHLER, L.F., ECKENFELDER, W.W.Jr., (1968),** Linear Substrate Removal in the Activated Sludge Process, Pap. No.II-4, Fourth Inst. Conf. on Water Pollut. Res., Prague
- TREVELYAN, W.E., HARRISON, J.S., (1950),** Studies on Yeast Metabolism
1.Fractionation and Microidentification of Cell Carbonhydrates,
Biochemical Journal, 50, 298
- TUCEK, F., CHUDоба, J. and MADERA, V., (1971),** Unified Basis for Desing of Biological Aerobic Treatment Processes, *Wat. Res.*, 5, 647-680
- WUHRMANN, K., (1956),** Factors Affecting Efficiency and Solids Production in the Activated Sludge Process, *Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes*, Vol.1, 49

EKLER



**EK A FARKLI F/M ORANLARI İLE BESLENEN REAKTÖRLERE AİT
S(KOI), X(BİYOKÜTLE), C(GLUKOZ), S_R(KALICI ÜRÜN)
DEĞERLERİNİN ANALİZ SONUÇLARI**

Tablo. A1 So=100, X0=500 başlangıç konsantrasyonlarında F/M= 0.2 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOI), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t	X	X	S	C	SR	t
(saat)	(mgMLSS/L)	(mgMLVSS/L)	(mgKOI/L)	(mgGlukoz/L)	(mgKOI/L)	(gün)
	500	406	98	88	6	1
0.25	508	410	83	64	5	2
0.5	519	423	62	34	7	3
0.75	531	430	48	14	8	4
1	546	445	32	5	8	5
1.5	551	448	7	0	11	6
2	550	450	7	0	10	7
					7	8
					9	9
					6	10

Tablo. A2 So=100, X0=400 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=0.25 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X(Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t	X	X	S	C	SR	t
(saat)	(mgMLSS/L)	(mgMLVSS/L)	(mgKOD/L)	(mgGlukoz/L)	(mgKOD/L)	(gün)
0	397	317	100	85	12	1
0.25	408	337	84	55	12	2
0.5	418	347	66	34	9	3
0.75	438	361	48	20	8	4
1	443	368	33	11	12	5
1.5	453	376	8	0	13	6
2	455	377	10		13	7
2.5	453	376	11		11	8
					10	9
					11	10

Tablo. A3 So=100, X0=300 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=0.33 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOD/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOD/L)	t (gün)
0	305	247	98	84	16	1
0.25	313	257	85	65	10	2
0.5	320	263	69	47	22	3
0.75	328	272	56	21	26	4
1	340	282	40	9	18	5
1.5	350	292	16	0	21	6
2	355	296	18	0	16	7
2.5	350	291	16		14	8
					17	9
					16	10

Tablo. A4 So=100, X0=200 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=0.5 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOl), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOl/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOl/L)	t (gün)
0	190	156	103	91	35	1
0.25	200	165	90	74	22	2
0.5	208	173	78	54	27	3
0.75	213	178	65	30	27	4
1	220	185	50	12	29	5
1.5	234	197	26	9	31	6
2	238	197	27	0	27	7
2.5	235	195	27	0	20	8
					27	9
					27	10

Tablo. A5 So=100, X0=100 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=1 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOD/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOD/L)	t (gün)
0	105	83	115	91	53	1
0.25	110	92	103	81	50	2
0.50	117	98	90	84	56	3
0.75	124	105	76	43	56	4
1	132	112	64	27	58	5
1.5	144	124	36	10	50	6
2	150	128	51	5	54	7
2.5	152	125	50	0	47	8
					53	9
					47	10

Tablo. A6 So=200, X0=500 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=0.4 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOD/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOD/L)	t (gün)
0	510	416	196	175	16	1
0.25	540	441	154	125	28	2
0.5	560	465	110	78	22	3
0.75	587	492	67	30	22	4
1	603	501	28	8	16	5
1.5	618	513	18	0	17	6
2	608	505	17		18	7
					20	8
					21	9
					20	10

Tablo. A7 So=200, X0=400 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=0.5 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOl), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOl/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOl/L)	t (gün)
0	385	312	195	172	24	1
0.25	430	353	153	93	28	2
0.5	445	370	113	45	27	3
0.75	476	400	67	28	27	4
1	497	416	28	10	29	5
1.5	496	415	28	9	29	6
2	490	413	27	0	28	7
					26	8
					27	9
					27	10

Tablo. A8 So=200, X0=300 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=0.67 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOD/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOD/L)	t (gün)
0	300	243	200	180	43	1
0.25	330	271	172	125	29	2
0.5	352	290	147	89	27	3
0.75	365	307	117	42	26	4
1	373	317	90	36	28	5
1.5	403	339	33	29	27	6
2	405	340	34	17	30	7
2.5	400	340	32	9	31	8
3	403	339	32	0	32	9
					32	10

Tablo. A9 So=200, X0=200 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=1 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOD/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOD/L)	t (gün)
0	215	168	213	188	53	1
0.25	242	198	190	161	51	2
0.50	256	210	164	126	52	3
0.75	270	221	138	94	52	4
1	286	238	108	70	53	5
1.5	315	265	53	32	54	6
2	313	270	58	16	53	7
2.5	320	272	51	6	53	8
3	323	273	51	0	52	9
					52	10

Tablo. A10 So=200, X0=100 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=2 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOl), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOl/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOl/L)	t (gün)
0	100	79	200	180	86	1
0.25	108	87	190	160	80	2
0.5	119	96	171	136	72	3
0.75	122	99	163	123	70	4
1	125	103	156	114	87	5
1.5	139	114	130	83	89	6
2	152	126	104	54	87	7
2.5	167	142	75	25	87	8
3	172	145	88	3	86	9
4	180	153	83	0	80	10
5	177	150	85			
6	180	153	79			
7	179	145	85			

Tablo. A11 $S_0=300$, $X_0=500$ başlangıç konsantrasyonlarında $F/M=0.6$ oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOl), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOl/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOl/L)	t (gün)
0	500	400	295	271	25	1
0.25	550	446	245	160	25	2
0.5	578	474	195	80	23	3
0.75	609	500	139	30	28	4
1	640	531	84	16	29	5
1.5	663	557	38	5	31	6
2	670	563	32	0	24	7
2.5	665	560	28		29	8
					27	9
					30	10

Tablo. A12 So=300, X0=400 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=0.75 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOI), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOI/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOI/L)	t (gün)
0	402	350	300	277	33	1
0.25	430	368	262	202	30	2
0.5	452	397	222	135	27	3
0.75	476	410	180	78	30	4
1	502	432	133	48	35	5
1.5	550	479	48	7	37	6
2	555	488	40	0	38	7
2.5	550	480	44	0	37	8
3	547	476	35	0	34	9
3.5	550	473	34	0	37	10

Tablo. A13 So=300, X0=300 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=1 oram ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOD/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOD/L)	t (gün)
0	300	240	305	285	59	1
0.25	305	250	270	240	53	2
0.5	323	266	234	185	50	3
0.75	343	288	194	121	58	4
1	365	307	151	84	59	5
1.5	407	346	68	34	62	6
2	437	377	49	19	58	7
2.5	450	380	46	9	55	8
3	460	386	50	0	53	9
					40	10

Tablo. A14 So=300, X0=200 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=1.5 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOD/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOD/L)	t (gün)
0	200	160	295	268	77	1
0.25	205	166	284	240	76	2
0.5	227	188	258	208	76	3
0.75	233	194	225	132	80	4
1	248	209	216	106	78	5
1.5	270	227	172	45	79	6
2	296	250	122	34	78	7
2.5	320	275	75	18	77	8
3	330	284	78	7	78	9
4	334	284	78	0	75	10
5	330	287	75	0	-	-
6	327	288	75	0	-	-

Tablo. A15 So=300, X0=100 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=3 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOD/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOD/L)	t (gün)
0	100	81	299	285	126	1
0.25	106	87	291	261	110	2
0.5	111	92	279	245	113	3
0.75	117	97	271	220	109	4
1	125	104	256	185	112	5
1.5	136	116	237	160	119	6
2	150	125	200	125	117	7
2.5	164	136	187	90	113	8
3	188	156	156	52	117	9
4	215	178	120	20	112	10
5	218	183	117	11		
6	220	184	114	6		
7	217	182	110	0		
8	217	181	114	0		

Tablo. A16 So=400, X0=500 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=0.8 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOl), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOl/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOl/L)	t (gün)
0	500	413	390	360	30	1
0.25	529	444	340	309	38	2
0.50	555	472	291	246	36	3
0.75	587	493	233	174	39	4
1	617	516	177	100	38	5
1.5	677	576	63	42	40	6
2	690	587	50	17	40	7
2.5	701	589	40	2	39	8
3	697	572	38	0	34	9
					36	10

Tablo. A17 So=400, X0=400 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=1 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOI), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOI/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOI/L)	t (gün)
0	390	304	390	380	55	1
0.25	430	344	344	323	52	2
0.50	454	363	295	268	52	3
0.75	481	390	242	190	55	4
1	511	419	184	113	57	5
1.5	568	471	73	54	56	6
2	585	497	53	21	53	7
2.5	604	513	45	8	55	8
3	600	509	47	0	53	9
					47	10

Tablo. A18 So=400, X0=300 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=1.33 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOD/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOD/L)	t (gün)
0	300	237	410	385	50	1
0.25	327	265	359	319	51	2
0.5	357	290	302	247	50	3
0.75	387	317	250	183	53	4
1	417	346	186	111	54	5
1.5	489	416	154	68	57	6
2	490	417	130	30	61	7
2.5	500	430	112	12	63	8
3	500	432	98	2	64	9
4	490	430	52	0	62	10
5	497	437	60			
6	480	420	60			

Tablo. A19 So=400, X0=200 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=2 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOD/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOD/L)	t (gün)
0	206	167	413	393	86	1
0.25	227	184	368	343	84	2
0.5	251	206	321	286	83	3
0.75	280	230	263	213	88	4
1	312	256	200	145	88	5
1.5	378	314	168	98	87	6
2	387	318	154	69	88	7
2.5	393	326	138	48	86	8
3	397	331	122	22	79	9
4	400	336	85	3	85	10
5	407	338	80	0		
6	410	341	84	0		
7	417	342	85			

Tablo. A20 So=400, X0=100 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=4 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOİ), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOİ/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOİ/L)	t (gün)
0	103	74	410	382	122	1
0.25	108	75	394	368	123	2
0.5	115	84	380	357	127	3
0.75	122	92	372	345	128	4
1	127	103	352	309	131	5
1.5	135	109	330	289	127	6
2	140	115	282	220	125	7
2.5	152	125	264	190	124	8
3	160	131	249	164	120	9
4	165	137	206	106	118	10
5	170	141	196	88		
6	195	164	184	54		
7	200	168	176	21		
8	220	185	164	11		
9	245	209	151	9		
10	250	213	130	0		
11	255	214	123			

Tablo. A21 So=500, X0=500 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=1 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOD/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOD/L)	t (gün)
0	495	392	490	463	57	1
0.25	520	421	478	433	53	2
0.50	547	454	427	375	50	3
0.75	573	481	372	298	52	4
1	587	493	355	265	53	5
1.5	623	536	288	180	58	6
2	664	572	211	120	61	7
2.5	707	615	130	43	55	8
3	747	635	54	17	53	9
4	745	633	50	0	53	10

Tablo. A22 So=500, X0=400 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=1.25 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOD/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOD/L)	t (gün)
0	402	322	491	466	56	1
0.25	410	336	483	451	52	2
0.5	437	363	434	369	51	3
0.75	465	386	387	312	55	4
1	478	406	364	254	57	5
1.5	516	444	293	180	62	6
2	555	477	220	105	63	7
2.5	595	518	145	50	60	8
3	639	549	62	29	57	9
4	660	561	60	9	55	10
5	647	552	57	0		

Tablo. A23 So=500, X0=300 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=1.67 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOI), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOI/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOI/L)	t (gün)
0	315	249	490	460	73	1
0.25	327	265	481	370	71	2
0.5	340	279	454	338	70	3
0.75	374	310	388	265	71	4
1	385	320	373	230	77	5
1.5	419	352	308	151	76	6
2	458	385	234	88	83	7
2.5	500	430	153	65	80	8
3	539	460	136	47	81	9
4	540	470	118	23	77	10
5	547	475	108	11		
6	550	484	85	0		
7	525	470	82			
8	545	480	78			

Tablo. A24 So=500, X0=200 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=2.5 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOD/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOD/L)	t (gün)
0	198	158	491	470	98	1
0.25	215	172	474	444	96	2
0.5	237	194	432	397	95	3
0.75	248	204	400	362	98	4
1	265	220	385	345	99	5
1.5	298	253	320	270	99	6
2	331	285	254	189	101	7
2.5	370	321	177	100	99	8
3	411	358	162	82	97	9
4	420	363	140	55	95	10
5	429	369	131	41		
6	443	394	104	14		
7	440	391	98	0		
8	443	397	97			

Tablo. A25 So=500, X0=100 başlangıç konsantrasyonlarında F/M=5 oranı ile beslenen reaktörlere ait S (KOD), X (Biyokütle), C (Glukoz), SR (Kalıcı ürün) değerlerinin analiz sonuçları

t (saat)	X (mgMLSS/L)	X (mgMLVSS/L)	S (mgKOD/L)	C (mgGlukoz/L)	SR (mgKOD/L)	t (gün)
0	102	84	488	460	137	1
0.25	117	96	456	432	135	2
0.5	123	101	450	427	130	3
0.75	127	105	439	414	128	4
1	140	119	412	407	127	5
1.5	161	135	376	354	126	6
2	177	152	343	321	130	7
2.5	185	159	320	295	135	8
3	195	170	291	263	137	9
4	215	187	280	240	134	10
5	230	202	240	201		
6	241	205	231	198		
7	250	215	203	158		
8	255	217	188	133		
9	267	220	171	121		
10	275	226	145	75		
11	285	237	135	50		
12	290	240	133	23		
13	291	248	130	0		

**EK B SABİT S_0 BAŞLANGIÇ KONSANTRASYONLARINDA DEĞİŞEN
 X_0 KONSANTRASYONLARINA BAĞLI OLARAK
FARKLI F/M ORANLARI İLE BESLENEN REAKTÖRLERE AİT
 $S(KOI)$, $X(BİYOKÜTLE)$, $C(GLUKOZ)$ VE $S_R(KALICI ÜRÜN)$
DEĞERLERİNİN ANALİZ SONUÇLARI**

Tablo B.1 Sabit $S_o=100$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 1, 0.5, 0.33, 0.25 ve 0.2 olan reaktörlerde S(KOI) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

t (saat)	F/M=1 S,mgKOl/L	F/M=0.5 S,mgKOl/L	F/M=0.33 S,mgKOl/L	F/M=0.25 S,mgKOl/L	F/M=0.2 S,mgKOl/L
0	115	103	98	100	98
0.25	103	90	85	84	83
0.5	90	78	69	66	62
0.75	76	65	56	48	48
1	64	50	40	33	32
1.5	36	26	16	8	7

Tablo B.2 Sabit $S_o=100$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 1,0.5, 0.33, 0.25 ve 0.2 olan reaktörlerde X(Biyokütle) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

T (saat)	F/M=1 X, mgMLSS/L	F/M=0.5 X, mgMLSS/L	F/M=0.33 X, mgMLSS/L	F/M=0.25 X, mgMLSS/L	F/M=0.2 X, mgMLSS/L
0	105	190	305	397	500
0.25	110	200	313	408	508
0.5	117	208	320	418	519
0.75	124	213	328	438	531
1	132	220	340	443	546
1.5	144	234	350	453	551

Tablo B.3 Sabit $S_o=100$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 1,0.5, 0.33, 0.25 ve 0.2 olan reaktörlerde C(Glukoz) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

T (saat)	F/M=1 C, mgGlukoz/L	F/M=0.5 C, mgGlukoz/L	F/M=0.33 C, mgGlukoz/L	F/M=0.25 C, mgGlukoz/L	F/M=0.2 C, mgGlukoz/L
0	91	91	84	85	88
0.25	81	74	65	55	64
0.5	64	54	47	34	34
0.75	43	30	21	20	14
1	27	12	9	11	5
1.5	10	9	0	0	0

Tablo B.4 Sabit $S_o=200$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 2, 1, 0.66, 0.5 ve 0.4 olan reaktörlerde S(KOI) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

T (saat)	F/M=2 S,mgKOl/L	F/M=1 S,mgKOl/L	F/M=0.66 S,mgKOl/L	F/M=0.5 S,mgKOl/L	F/M=0.4 S,mgKOl/L
0	200	213	200	195	196
0.25	190	190	172	153	154
0.5	171	164	147	113	110
0.75	163	138	117	67	67
1	156	108	90	28	28
1.5	130	53	33	28	18
2	104	58	34	27	17
2.5	75	51	32		

Tablo B.5 Sabit $S_o=200$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 2, 1, 0.66, 0.5 ve 0.4 olan reaktörlerde X(Biyokütle) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

t (saat)	F/M=2 X, mgMLSS/L	F/M=1 X, mgMLSS/L	F/M=0.66 X, mgMLSS/L	F/M=0.5 X, mgMLSS/L	F/M=0.4 X, mgMLSS/L
0	100	215	300	385	510
0.25	108	242	330	430	540
0.5	119	256	352	445	560
0.75	122	270	365	476	587
1	125	286	373	497	603
1.5	139	315	403	496	618
2	152	313	405	490	608
2.5	167	320	400		

Tablo B.6 Sabit $S_o=200$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 2, 1, 0.66, 0.5 ve 0.4 olan reaktörlerde C(Glukoz) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

t	F/M=2	F/M=1	F/M=0.66	F/M=0.5	F/M=0.4
(saat)	C, mgGlukoz/L	C, mgGlukoz/L	C, mgGlukoz/L	C, mgGlukoz/L	C, mgGlukoz/L
0	180	188	180	172	175
0.25	160	161	125	93	125
0.5	136	126	89	45	78
0.75	123	94	42	28	30
1	114	70	36	10	8
1.5	83	32	29	9	0
2	54	16	17	0	0
2.5	25	6	9	0	0

Tablo B.7 Sabit $S_o=300$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 3, 1.5, 1, 0.75 ve 0.6 olan reaktörlerde S(KOI) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

t	F/M=3	F/M=1.5	F/M=1	F/M=0.75	F/M=0.6
(saat)	S,mgKOl/L	S,mgKOl/L	S,mgKOl/L	S,mgKOl/L	S,mgKOl/L
0	299	295	305	300	295
0.25	291	284	270	262	245
0.5	279	258	234	222	195
0.75	271	225	194	180	139
1	256	216	151	133	84
1.5	237	172	68	48	38
2	200	122	49	40	32
2.5	187	75	46	44	28
3	156	78	50	35	
4	120	78		34	

Tablo B.8 Sabit $S_o=300$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 3, 1.5, 1, 0.75 ve 0.6 olan reaktörlerde X(Biyokütle) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

t	F/M=3	F/M=1.5	F/M=1	F/M=0.75	F/M=0.6
(saat)	X, mgMLSS/L	X, mgMLSS/L	X, mgMLSS/L	X, mgMLSS/L	X, mgMLSS/L
0	100	200	300	402	500
0.25	106	205	305	430	550
0.5	111	227	323	452	578
0.75	117	233	343	476	609
1	125	248	365	502	640
1.5	136	270	407	550	663
2	150	296	437	555	670
2.5	164	320	450	550	665
3	188	330	460	547	
4	215	334		550	

Tablo B.9 Sabit $S_o=300$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 3, 1.5, 1, 0.75 ve 0.6 olan reaktörlerde C(Glukoz) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

t	F/M=3	F/M=1.5	F/M=1	F/M=0.75	F/M=0.6
(saat)	C, mgGlukoz/L	C, mgGlukoz/L	C, mgGlukoz/L	C, mgGlukoz/L	C, mgGlukoz/L
0	285	268	285	277	271
0.25	261	240	240	202	160
0.5	245	208	185	135	80
0.75	220	132	121	78	30
1	185	106	84	48	16
1.5	160	45	34	7	5
2	125	34	19	0	0
2.5	90	18	9	0	0
3	52	7	0	0	0
4	20	0	0	0	0

Tablo B.10 Sabit $S_o=400$ mgKOI/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 4, 2, 1.33, 1 ve 0.8 olan reaktörlerde S(KOI) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

t (saat)	F/M=4 S,mgKOI/L	F/M=2 S,mgKOI/L	F/M=1.33 S,mgKOI/L	F/M=1 S,mgKOI/L	F/M=0.8 S,mgKOI/L
0	410	413	410	390	390
0.25	394	368	359	344	340
0.5	380	321	302	295	291
0.75	372	263	250	242	233
1	352	200	186	184	177
1.5	330	168	154	73	63

Tablo B.11 Sabit $S_o=400$ mgKOI/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 4, 2, 1.33, 1 ve 0.8 olan reaktörlerde X(Biyokütle) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

t (saat)	F/M=4 X, mgMLSS/L	F/M=2 X, mgMLSS/L	F/M=1.33 X, mgMLSS/L	F/M=1 X, mgMLSS/L	F/M=0.8 X, mgMLSS/L
0	103	206	300	390	500
0.25	108	227	327	430	529
0.5	115	251	357	454	555
0.75	122	280	387	481	587
1	127	312	417	511	617
1.5	135	378	489	568	677

Tablo B.12 Sabit $S_o=400$ mgKOI/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 4, 2, 1.33, 1 ve 0.8 olan reaktörlerde C(Glukoz) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

t (saat)	F/M=4 C, mgGlukoz/L	F/M=2 C, mgGlukoz/L	F/M=1.33 C, mgGlukoz/L	F/M=1 C, mgGlukoz/L	F/M=0.8 C, mgGlukoz/L
0	382	393	385	380	360
0.25	368	343	319	323	309
0.5	357	286	247	268	246
0.75	345	213	183	190	174
1	309	145	111	113	100
1.5	289	98	68	54	42

Tablo B.13 Sabit $S_o=500$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 5, 2.5, 1.67, 1.25 ve 1 olan reaktörlerde S(KOI) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

t (saat)	F/M=5 S,mgKOl/L	F/M=2.5 S,mgKOl/L	F/M=1.67 S,mgKOl/L	F/M=1.25 S,mgKOl/L	F/M=1 S,mgKOl/L
0	488	491	490	491	490
0.25	456	474	481	483	478
0.5	450	432	454	434	427
0.75	439	400	388	387	372
1	412	385	373	364	355
1.5	376	320	308	293	288
2	343	254	234	220	211
2.5	320	177	153	145	130
3	291	162	136	62	54

Tablo B.14 Sabit $S_o=500$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 5, 2.5, 1.67, 1.25 ve 1 olan reaktörlerde X(Biyokütle) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

t (saat)	F/M=5 X, mgMLSS/L	F/M=2.5 X, mgMLSS/L	F/M=1.67 X, mgMLSS/L	F/M=1.25 X, mgMLSS/L	F/M=1 X, mgMLSS/L
0	102	198	315	402	495
0.25	117	215	327	410	520
0.5	123	237	340	437	547
0.75	127	248	374	465	573
1	140	265	385	478	587
1.5	161	298	419	516	623
2	177	331	458	555	664
2.5	185	370	500	595	707
3	195	411	539	639	747

Tablo B.15 Sabit $S_o=500$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 5, 2.5, 1.67, 1.25 ve 1 olan reaktörlerde C(Glukoz) konsantrasyonlarının analiz sonuçları.

t	F/M=5	F/M=2.5	F/M=1.67	F/M=1.25	F/M=1
(saat)	C, mgGlukoz/L	C, mgGlukoz/L	C, mgGlukoz/L	C, mgGlukoz/L	C, mgGlukoz/L
0	382	393	385	380	360
0.25	368	343	319	323	309
0.5	357	286	247	268	246
0.75	345	213	183	190	174
1	309	145	111	113	100
1.5	289	98	68	54	42
2	220	69	30	21	17
2.5	190	48	12	8	2
3	164	22	2	0	0

Tablo B.16 Sabit $S_o=100$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 1, 0.5, 0.33, 0.25 ve 0.2 olan reaktörlerde S_R (Kalıcı ürün) konsantrasyonlarının analiz sonuçları

t (saat)	F/M=1 S_R (mgKOl/L)	F/M=0.5 S_R (mgKOl/L)	F/M=0.33 S_R (mgKOl/L)	F/M=0.25 S_R (mgKOl/L)	F/M=0.2 S_R (mgKOl/L)
24	53	35	16	12	6
48	50	22	10	12	5
72	56	27	22	9	7
96	56	27	26	8	8
120	58	29	18	12	8
144	60	31	21	13	11
168	54	27	16	13	10
192	47	20	14	11	7
216	53	27	17	10	9
240	47	27	16	11	6

Tablo B.17 Sabit $S_o=200$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 2, 1, 0.66, 0.5 ve 0.4 olan reaktörlerde S_R (Kalıcı ürün) konsantrasyonlarının analiz sonuçları

t (saat)	F/M=2 S_R (mgKOl/L)	F/M=1 S_R (mgKOl/L)	F/M=0.66 S_R (mgKOl/L)	F/M=0.5 S_R (mgKOl/L)	F/M=0.4 S_R (mgKOl/L)
24	86	53	43	24	16
48	80	51	29	28	28
72	72	52	27	27	22
96	70	52	26	27	22
120	87	53	28	29	16
144	89	54	27	29	17
168	87	53	30	28	18
192	87	53	31	26	20
216	86	52	32	27	20
240	80	52	32	27	21

Tablo B.18 Sabit $S_o=300$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 3, 1.5, 1, 0.75 ve 0.6 olan reaktörlerde S_R (Kalıcı ürün) konsantrasyonlarının analiz sonuçları

t (saat)	F/M=3 S_R (mgKOl/L)	F/M=1.5 S_R (mgKOl/L)	F/M=1 S_R (mgKOl/L)	F/M=0.75 S_R (mgKOl/L)	F/M=0.6 S_R (mgKOl/L)
24	126	77	59	33	25
48	110	76	53	30	25
72	113	76	50	27	23
96	109	80	58	30	28
120	112	78	59	35	29
144	119	79	62	37	31
168	117	78	58	38	24
192	113	77	55	37	29
216	117	78	53	34	27
240	112	75	40	37	30

Tablo B.19 Sabit $S_o=400$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 4, 2, 1.33, 1 ve 0.8 olan reaktörlerde S_R (Kalıcı ürün) konsantrasyonlarının analiz sonuçları

t (saat)	F/M=4 S_R (mgKOl/L)	F/M=2 S_R (mgKOl/L)	F/M=1.33 S_R (mgKOl/L)	F/M=1 S_R (mgKOl/L)	F/M=0.8 S_R (mgKOl/L)
24	122	86	50	55	30
48	123	84	51	52	38
72	127	83	50	52	36
96	128	88	53	55	39
120	131	88	54	57	38
144	127	87	57	56	40
168	125	88	61	53	40
192	124	86	63	55	39
216	120	79	64	53	34
240	118	85	62	47	36

Tablo B.20 Sabit $S_o=500$ mgKOl/L ve $X_o=100,200,300,400,500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonları için F/M oranları 5, 2.5, 1.67, 1.25 ve 1 olan reaktörlerde SR(Kalıcı ürün) konsantrasyonlarının analiz sonuçları

t (saat)	F/M=5 $S_R(\text{mgKOl/L})$	F/M=2.5 $S_R(\text{mgKOl/L})$	F/M=1.67 $S_R(\text{mgKOl/L})$	F/M=1.25 $S_R(\text{mgKOl/L})$	F/M=1 $S_R(\text{mgKOl/L})$
24	137	98	73	56	57
48	135	96	71	52	53
72	130	95	70	51	50
96	128	98	71	50	52
120	127	99	77	57	53
144	126	98	76	62	58
168	130	101	83	63	61
192	135	99	80	60	55
216	137	97	81	57	53
240	134	95	77	55	53

**EK C K_s VE μ_m ' IN HESABINDA KULLANILAN (5.16) DENKLEMİNİN
MATCAD PROGRAMI İLE ÇÖZÜMLERİ**

C.1 $S_0=100$ mgKOl/L, $X_0=500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 98 \quad Y := 0.56 \quad X_0 := 500 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 554.88 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := S_i := \begin{matrix} 15 & 83 \\ 30 & 62 \\ 45 & 48 \\ 60 & 32 \\ 90 & 7 \end{matrix} \quad y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i)$$

$$S_{av} := \frac{SMS}{N}$$

$$KOlo := 8$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - S_{av} \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu_m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 77.962358 \quad cor = 0.998602$$

$$B = 0.112505 \quad SS = 0.611415$$

$$Ks = 12.874568$$

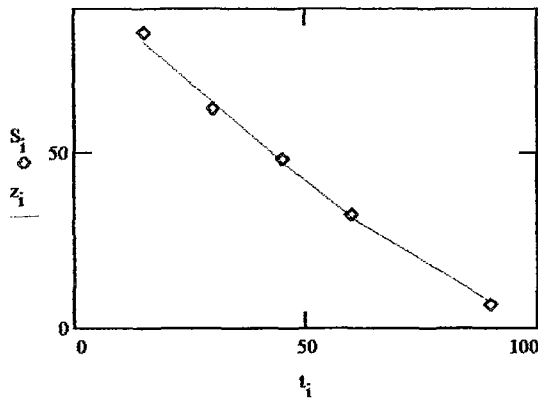
$$\mu_m = 0.001462$$

$$M := \mu_m \cdot 60$$

$$M = 0.087709$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 2.105017$$



S_i	z_i
83	80.72861
62	63.645295
48	47.026656
32	31.36957
7	7.366969

C.2 $S_0=100$ mgKOl/L, $X_0=400$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 100 \quad Y := 0.59 \quad X_0 := 397 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 456 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := \begin{array}{|c|} \hline 15 \\ \hline 30 \\ \hline 45 \\ \hline 60 \\ \hline 90 \\ \hline \end{array} \quad S_i := \begin{array}{|c|} \hline 84 \\ \hline 66 \\ \hline 48 \\ \hline 33 \\ \hline 8 \\ \hline \end{array}$$

$$y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i)$$

$$Sav := \frac{SMS}{N}$$

$$KOlo := 10$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu_m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 57.450061 \quad cor = 0.99965$$

$$B = 0.109724 \quad SS = 0.310459$$

$$Ks = 13.691418$$

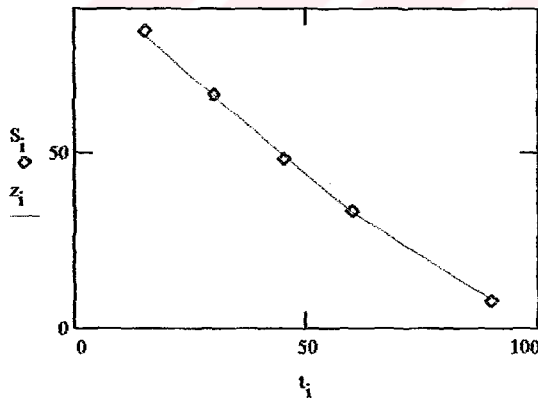
$$\mu_m = 0.001944$$

$$M := \mu_m \cdot 60$$

$$M = 0.116624$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 2.798975$$



S_i	z_i
84	82.726061
66	65.541041
48	48.729412
33	32.800425
8	8.064661

C.3 $S_0=100$ mgKOl/L, $X_0=300$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 98 \quad Y := 0.54 \quad X_0 := 305 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 357.92 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := S_i :=$$

15	85
30	69
45	56
60	40
90	16

$$y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right)$$

$$x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)]$$

$$TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2]$$

$$TT := \sum_i [(t_i)^2]$$

$$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i)$$

$$XT := \sum_i (x_i \cdot t_i)$$

$$Sav := \frac{SMS}{N}$$

$$KOI_0 := 18$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT}$$

$$B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX}$$

$$B := \frac{B1}{B2}$$

$$A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX}$$

$$u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i$$

$$Do_i := S_i - Sav$$

$$FF := \sum_i (D_i \cdot D_i)$$

$$SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}}$$

$$SS := \frac{\sqrt{FF}}{N}$$

$$Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)}$$

$$\mu m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 48.822109 \quad cor = 0.999163$$

$$B = 0.093219 \quad SS = 0.434952$$

$$Ks = 13.860008$$

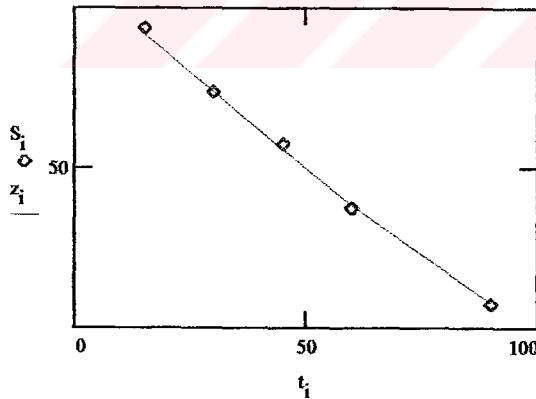
$$\mu m = 0.001949$$

$$M := \mu m \cdot 60$$

$$M = 0.116958$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 2.806984$$



S_i	z_i
85	83.493557
69	68.98742
56	54.644367
40	40.73008
16	16.298823

C.4 $S_0=200$ mgKOl/L, $X_0=500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..4 \quad N := 4 \quad S_0 := 196 \quad Y := 0.5 \quad X_0 := 510 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 608 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := \quad S_i := \quad y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

15	154
30	110
45	67
60	28

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i)$$

$$KOIo := 28 \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu_m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 85.888293$$

$$SS = 0.165259$$

$$B = 0.250749$$

$$cor = 0.999975$$

$$Ks = 14.324708$$

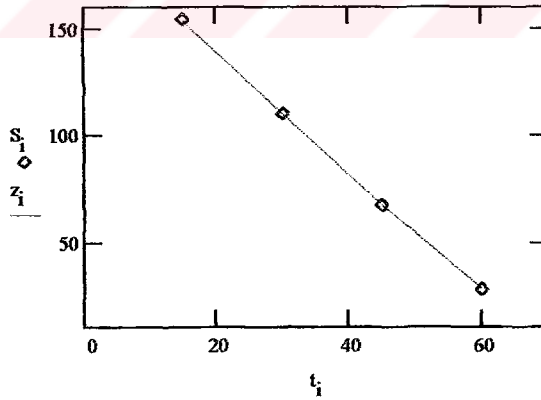
$$\mu_m = 0.002954$$

$$M := \mu_m \cdot 60$$

$$M = 0.177232$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 4.253575$$



S_i	z_i
154	153.377602
110	110.087426
67	67.201811
28	27.965103

C.5 $S_0=100$ mgKOl/L, $X_0=200$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 103 \quad Y := 0.52 \quad X_0 := 190 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 243.56 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := S_i := \begin{matrix} 15 & 90 \\ 30 & 78 \\ 45 & 65 \\ 60 & 50 \\ 90 & 26 \end{matrix} \quad y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i) \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

$$KOI_0 := 22 \quad B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 30.448131 \quad cor = 0.999352 \\ B = 0.079583 \quad SS = 0.35916$$

$$Ks = 15.905411$$

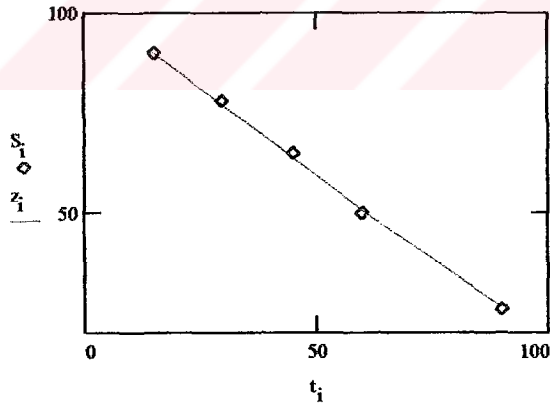
$$\mu m = 0.002702$$

$$M := \mu m \cdot 60$$

$$M = 0.162149$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 3.891574$$



S_i	z_i
90	90.061799
78	76.960818
65	63.807902
50	50.776148
26	26.343045

C.6 $S_0=200$ mgKOl/L, $X_0=400$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..4 \quad N := 4 \quad S_0 := 195 \quad Y := 0.53 \quad X_0 := 385 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 488.35 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := \quad S_i := \quad y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

15	153
30	113
45	67
60	28

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i)$$

KOl₀ := 23

$$S_{av} := \frac{SMS}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - S_{av} \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad K_s := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu_m := \frac{B \cdot Y \cdot K_s}{a}$$

$$A = 60.98184 \quad cor = 0.999642$$

$$B = 0.242091 \quad SS = 0.62973$$

$$K_s = 15.361568$$

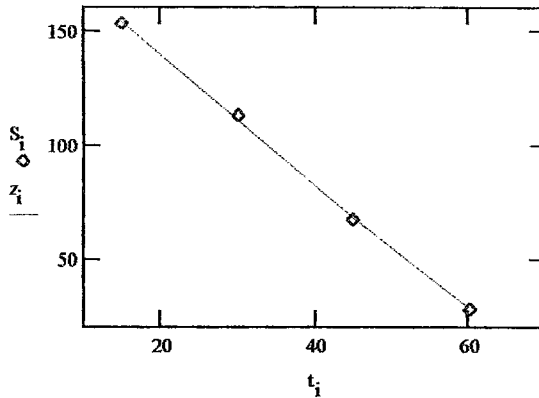
$$\mu_m = 0.004036$$

$$M := \mu_m \cdot 60$$

$$M = 0.242165$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 5.811954$$



S_i	z_i
153	153.452634
113	110.687406
67	67.826429
28	28.330162

C.7 $S_0=300$ mgKOl/L, $X_0=500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..4 \quad N := 4 \quad S_0 := 295 \quad Y := 0.56 \quad X_0 := 500 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 665.2 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := \begin{matrix} 15 \\ 30 \\ 45 \\ 60 \end{matrix} \quad S_i := \begin{matrix} 245 \\ 195 \\ 139 \\ 84 \end{matrix} \quad y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i) \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

$$KOIo := 41$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu_m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 73.30104 \quad cor = 0.999808$$

$$B = 0.278809 \quad SS = 0.589957$$

$$Ks = 16.429323$$

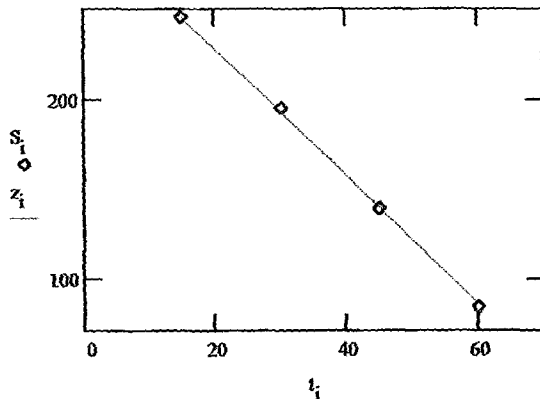
$$\mu_m = 0.003856$$

$$M := \mu_m \cdot 60$$

$$M = 0.231374$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 5.55297$$



S_i	z_i
245	244.970879
195	192.862602
139	139.12627
84	84.991731

C.8 $S_0=200$ mgKOl/L, $X_0=300$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 200 \quad Y := 0.53 \quad X_0 := 300 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 406 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

15	172
30	147
45	117
60	90
90	33

$$t_i := S_i := y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i)$$

$$Sav := \frac{SMS}{N}$$

KOl₀ := 45

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 49.01738 \quad cor = 0.999764$$

$$B = 0.1601 \quad SS = 0.467739$$

$$Ks = 15.953343$$

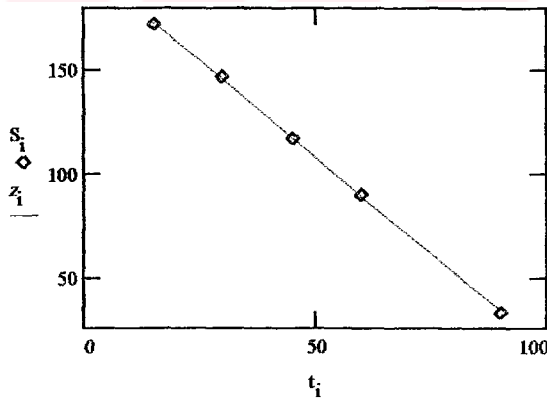
$$\mu m = 0.003334$$

$$M := \mu m \cdot 60$$

$$M = 0.200052$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 4.801252$$



S_i	z_i
172	173.312119
147	145.745784
117	117.460413
90	88.773542
33	33.677196

C.9 $S_0=300$ mgKOL/L, $X_0=400$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 300 \quad Y := 0.56 \quad X_0 := 400 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 570 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

15	262
30	222
45	180
60	133
90	48

$$t_i := \quad S_i := \quad y_i := \ln\left(\frac{S_0}{S_i}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i) \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

KOLo := 46

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu_m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 58.682023 \quad cor = 0.999815$$

$$B = 0.216057 \quad SS = 0.637576$$

$$Ks = 17.646003$$

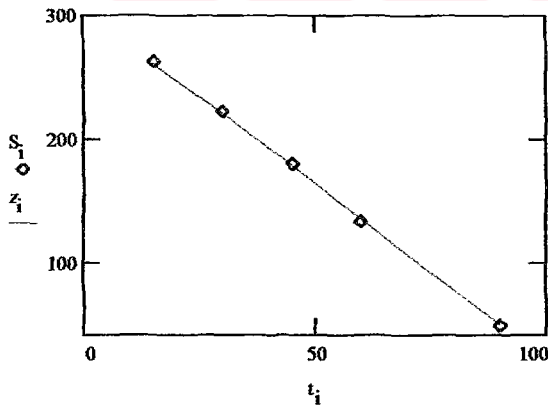
$$\mu_m = 0.003746$$

$$M := \mu_m \cdot 60$$

$$M = 0.224739$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 5.393746$$



S_i	z_i
262	261.035839
222	220.367765
180	178.13555
133	134.674745
48	48.536516

C.10 $S_0=400$ mgKOl/L, $X_0=500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 390 \quad Y := 0.53 \quad X_0 := 500 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 706.7 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := \begin{bmatrix} 15 \\ 30 \\ 45 \\ 60 \\ 90 \end{bmatrix} \quad S_i := \begin{bmatrix} 340 \\ 291 \\ 233 \\ 177 \\ 63 \end{bmatrix} \quad y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln\left[1 + b \cdot (S_0 - S_i)\right] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i) \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

$$KO_0 := 25$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu_m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 74.893713 \quad cor = 0.999872$$

$$B = 0.267156 \quad SS = 0.687141$$

$$Ks = 18.044786$$

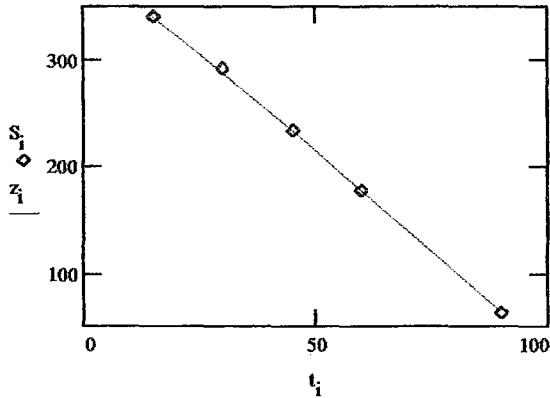
$$\mu_m = 0.003615$$

$$M := \mu_m \cdot 60$$

$$M = 0.216925$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 5.206191$$



S_i	z_i
340	339.969529
291	287.699859
233	233.306311
177	177.103625
63	63.898696

C.11 $S_0=100$ mgKOl/L, $X_0=100$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 115 \quad Y := 0.5 \quad X_0 := 105 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 162.5 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := S_i :=$$

15	103
30	90
45	76
60	64
90	36

$$\text{KOIo} := 40$$

$$y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln\left[1 + b \cdot (S_0 - S_i)\right] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i) \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}}$$

$$SS := \frac{\sqrt{FF}}{N}$$

$$Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)}$$

$$\mu m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$Ks = 18.560567$$

$$\mu m = 0.004463$$

$$M := \mu m \cdot 60$$

$$M = 0.267789$$

$$MM := M \cdot 24$$

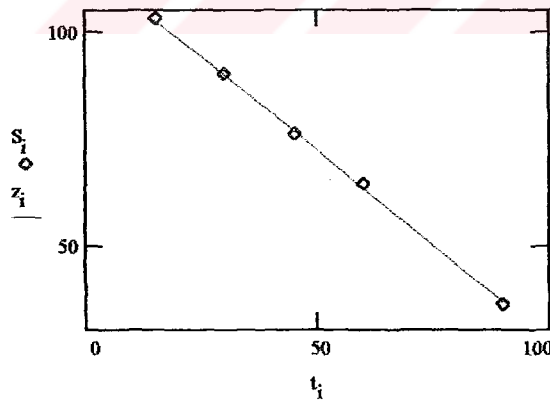
$$MM = 6.426928$$

$$A = 18.510241$$

$$cor = 0.999716$$

$$B = 0.078151$$

$$SS = 0.24514$$



S_i	z_i
103	102.640506
90	89.806304
76	76.577492
64	63.091339
36	36.420024

C.12 $S_0=200$ mgKOl/L, $X_0=200$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 213 \quad Y := 0.53 \quad X_0 := 215 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 327.89 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := S_i \quad y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

15	190
30	164
45	138
60	108
90	53

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i)$$

$$KOI_0 := 56$$

$$S_{av} := \frac{SMS}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - S_{av} \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu_m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 33.238584 \quad cor = 0.999692$$

$$B = 0.137619 \quad SS = 0.525841$$

$$Ks = 19.19006$$

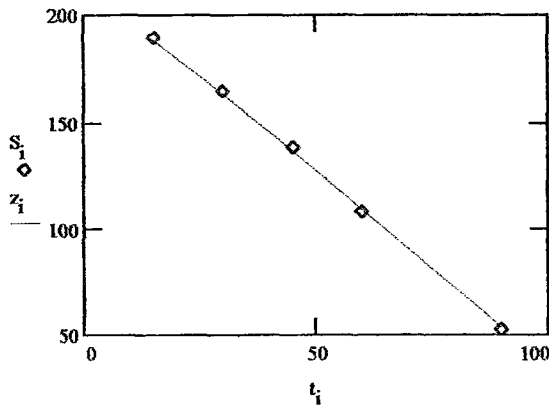
$$\mu_m = 0.004269$$

$$M := \mu_m \cdot 60$$

$$M = 0.256126$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 6.147029$$



S_i	z_i
190	188.585711
164	163.029554
138	136.426849
108	108.98363
53	53.72691

C.13 $S_0=300$ mgKOl/L, $X_0=300$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 305 \quad Y := 0.50 \quad X_0 := 300 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 452.5 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := \begin{matrix} 15 \\ 30 \\ 45 \\ 60 \\ 90 \end{matrix} \quad S_i := \begin{matrix} 270 \\ 234 \\ 194 \\ 151 \\ 68 \end{matrix} \quad y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

15	270
30	234
45	194
60	151
90	68

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i)$$

$$KOlo := 34$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu_m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 51.974531 \quad cor = 0.999836$$

$$B = 0.208257 \quad SS = 0.567817$$

$$Ks = 17.753964$$

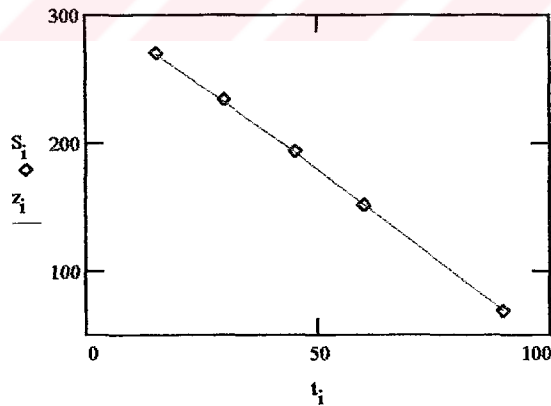
$$\mu_m = 0.004086$$

$$M := \mu_m \cdot 60$$

$$M = 0.245131$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 5.88314$$



S_i	z_i
270	269.353884
234	231.918453
194	192.762067
151	152.082903
68	68.777781

C.14 $S_0=400$ mgKOl/L, $X_0=400$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 390 \quad Y := 0.51 \quad X_0 := 390 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 588.9 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := S_i := \begin{matrix} 15 & 344 \\ 30 & 295 \\ 45 & 242 \\ 60 & 184 \\ 90 & 73 \end{matrix} \quad y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i) \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

$$KOIo := 29$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 57.819392 \quad cor = 0.999833$$

$$B = 0.240667 \quad SS = 0.768588$$

$$Ks = 20.322391$$

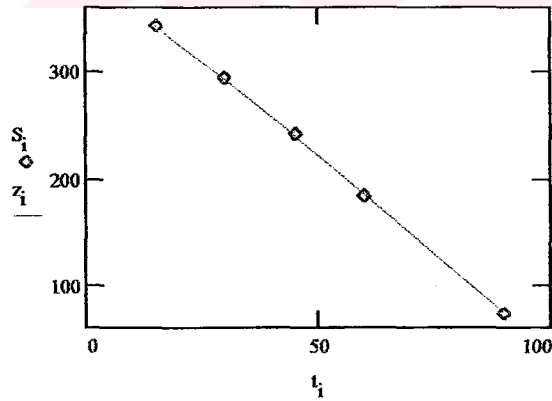
$$\mu m = 0.004236$$

$$M := \mu m \cdot 60$$

$$M = 0.254139$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 6.099342$$



S_i	z_i
344	342.556815
295	292.587281
242	240.171928
184	185.58343
73	74.007526

C.15 $S_0=400$ mgKOl/L, $X_0=300$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 410 \quad Y := 0.52 \quad X_0 := 300 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 513.2 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

15	359
30	302
45	250
60	186
90	50

$$t_i := S_i :=$$

$$y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)]$$

$$TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i (x_i^2) \quad TT := \sum_i (t_i^2) \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i) \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

KOlo := 52

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 48.92511 \quad cor = 0.999572$$

$$B = 0.284261 \quad SS = 1.391891$$

$$Ks = 20.593027$$

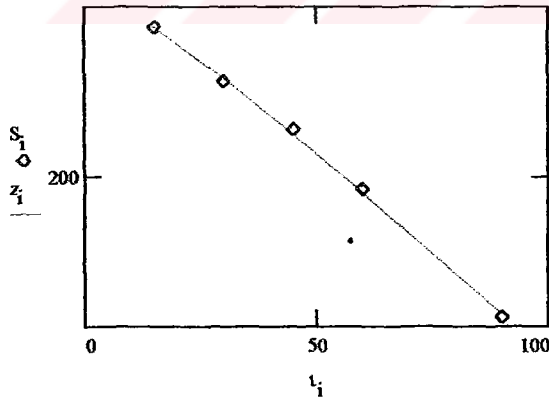
$$\mu m = 0.005931$$

$$M := \mu m \cdot 60$$

$$M = 0.355881$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 8.541147$$



S_i	z_i
359	359.164889
302	304.315804
250	245.422971
186	182.760535
50	53.405955

C.16 $S_0=400$ mgKOl/L, $X_0=200$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 413 \quad Y := 0.50 \quad X_0 := 206 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 412.5 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

t_i	S_i
15	368
30	321
45	263
60	200
90	68

$$y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln\left[1 + b \cdot (S_0 - S_i)\right] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i) \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

KOl₀ := 61

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 37.951416 \quad cor = 0.999725$$

$$B = 0.274813 \quad SS = 1.096658$$

$$Ks = 22.326614$$

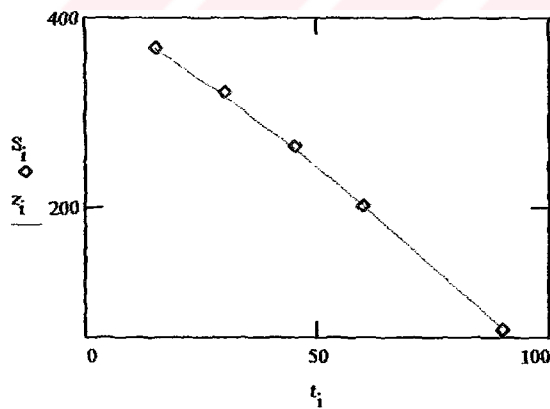
$$\mu m = 0.007437$$

$$M := \mu m \cdot 60$$

$$M = 0.446229$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 10.709496$$



S_i	z_i
368	367.150546
321	316.606616
263	261.144107
200	200.787317
68	70.445174

C.17 $S_0=500$ mgKOl/L, $X_0=500$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 490 \quad Y := 0.53 \quad X_0 := 495 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 754.7 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := S_i := y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln\left[1 + b \cdot (S_0 - S_i)\right] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

60	355
90	288
120	211
150	130
180	54

$$XX := \sum_i \left[\left(\frac{x_i}{t_i} \right)^2 \right] \quad TT := \sum_i \left[\left(\frac{t_i}{x_i} \right)^2 \right] \quad XY := \sum_i \left(\frac{x_i}{t_i} \cdot y_i \right) \quad XT := \sum_i \left(\frac{x_i}{t_i} \cdot t_i \right) \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

$$KOlo := 65$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 75.32135 \quad cor = 0.999829$$

$$B = 0.172122 \quad SS = 0.890555$$

$$Ks = 19.159532$$

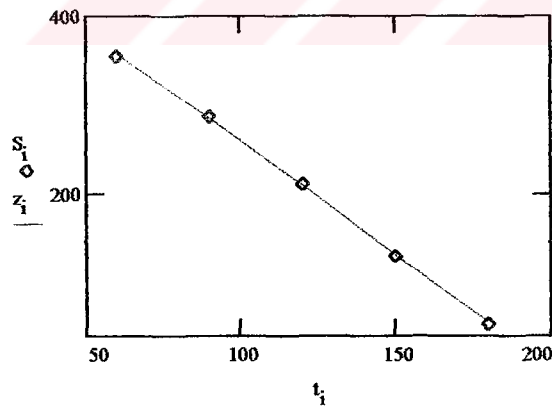
$$\mu m = 0.002316$$

$$M := \mu m \cdot 60$$

$$M = 0.138955$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 3.33491$$



S_i	z_i
355	357.235342
288	284.964191
211	209.141252
130	130.994487
54	55.081837

C.18 $S_0=500$ mgKOl/L, $X_0=400$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 491 \quad Y := 0.53 \quad X_0 := 402 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 662.23 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := S_i :=$$

60	364
90	293
120	220
150	145
180	62

$$y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln\left[1 + b \cdot (S_0 - S_i)\right] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i) \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

KOl₀ := 70

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 66.021583 \quad cor = 0.999845$$

$$B = 0.175022 \quad SS = 0.837861$$

$$Ks = 19.216551$$

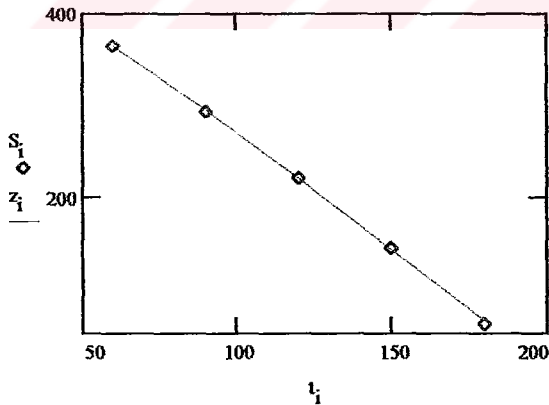
$$\mu m = 0.002692$$

$$M := \mu m \cdot 60$$

$$M = 0.161505$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 3.87612$$



S _i	z _i
364	364.24413
293	294.067852
220	219.549428
145	141.668965
62	64.247566

C.19 $S_0=300$ mgKOl/L, $X_0=200$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 295 \quad Y := 0.51 \quad X_0 := 200 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 350.45 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := S_i := y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)]$$

$$TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

30	258
60	216
90	172
120	122
150	75

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i) \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

KOIo := 78

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}}$$

$$SS := \frac{\sqrt{FF}}{N}$$

$$Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)}$$

$$\mu_m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 32.473292 \quad cor = 0.999854$$

$$B = 0.105427 \quad SS = 0.49771$$

$$Ks = 21.833015$$

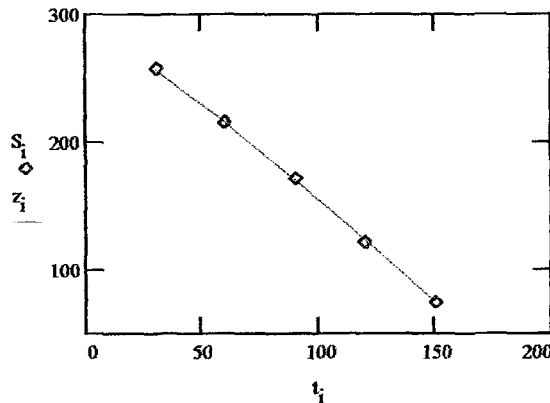
$$\mu_m = 0.00335$$

$$M := \mu_m \cdot 60$$

$$M = 0.200983$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 4.823595$$



S_i	z_i
258	256.72895
216	215.263897
172	170.693199
122	123.504787
75	75.251721

C.20 $S_0=500$ mgKOl/L, $X_0=300$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 490 \quad Y := 0.52 \quad X_0 := 315 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 569.8 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := \begin{matrix} 60 \\ 90 \\ 120 \\ 150 \\ 180 \end{matrix} \quad S_i := \begin{matrix} 373 \\ 308 \\ 234 \\ 153 \\ 78 \end{matrix} \quad y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln\left[1 + b \cdot (S_0 - S_i)\right] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i) \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

$$KO_{lo} := 85$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu_m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 50.947693 \quad cor = 0.999715$$

$$B = 0.15667 \quad SS = 1.125958$$

$$Ks = 21.938335$$

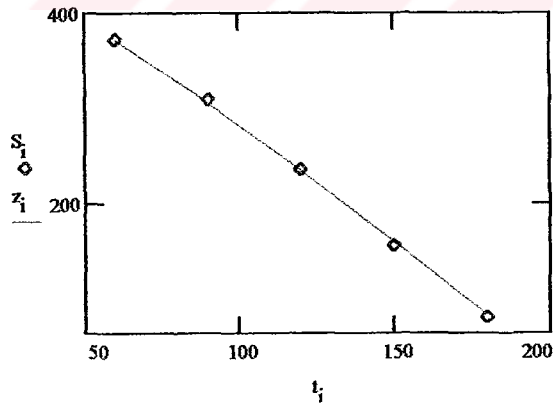
$$\mu_m = 0.003137$$

$$M := \mu_m \cdot 60$$

$$M = 0.188201$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 4.516823$$



S_i	z_i
373	371.214832
308	304.286507
234	232.376544
153	156.279901
78	79.150792

C.21 $S_0=200$ mgKOl/L, $X_0=100$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..4 \quad N := 4 \quad S_0 := 200 \quad Y := 0.52 \quad X_0 := 100 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 204 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := S_i := \begin{array}{|c|c|} \hline 60 & 156 \\ \hline 90 & 130 \\ \hline 120 & 104 \\ \hline 150 & 75 \\ \hline \end{array} \quad y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln\left[1 + b \cdot (S_0 - S_i)\right] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i)$$

$$KOlo := 79$$

$$Sav := \frac{SMS}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 17.994574 \quad cor = 0.999904$$

$$B = 0.066472 \quad SS = 0.208888$$

$$Ks = 23.084291$$

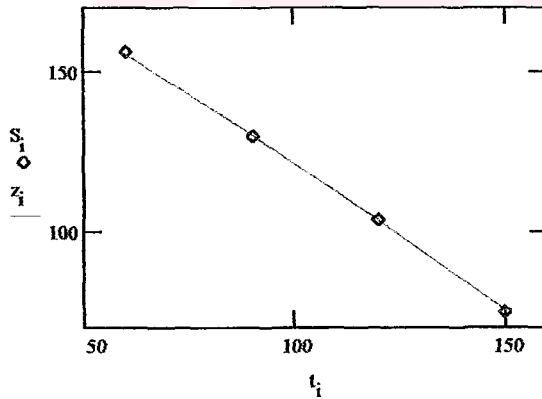
$$\mu m = 0.003911$$

$$M := \mu m \cdot 60$$

$$M = 0.234682$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 5.632357$$



S_i	z_i
156	155.608699
130	130.448229
104	103.498227
75	75.303881

C.22 $S_0=500$ mgKOl/L, $X_0=200$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 491 \quad Y := 0.50 \quad X_0 := 198 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 a = 443.5 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := S_i :=$$

60	385
90	320
120	254
150	177
180	96

$$y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i) \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

KOl₀ := 83

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu_m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 35.674404 \quad cor = 0.999925$$

$$B = 0.145856 \quad SS = 0.558896$$

$$Ks = 25.580829$$

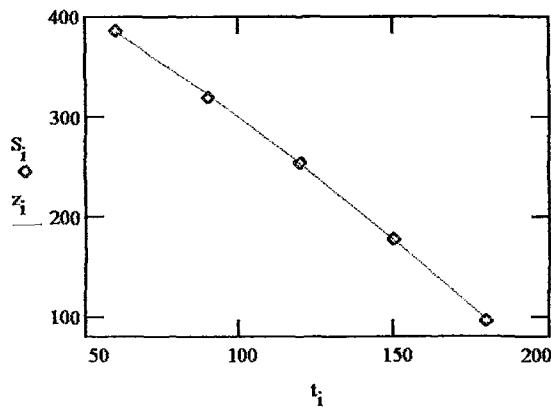
$$\mu_m = 0.004206$$

$$M := \mu_m - 60$$

$$M = 0.252386$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 6.057275$$



S _i	z _i
385	384.365887
320	321.606836
254	252.168802
177	176.471204
96	97.091879

C.23 $S_0=300$ mgKOl/L, $X_0=100$ mgMLSS/L başlangıç konsantrasyonlarında kinetik katsayılar.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 299 \quad Y := 0.55 \quad X_0 := 100 \quad a := X_0 + Y \cdot S_0 \quad a = 264.45 \quad b := \frac{Y}{X_0}$$

$$t_i := S_i :=$$

15	291
45	271
90	237
150	187
240	94

$$y_i := \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad x_i := \ln[1 + b \cdot (S_0 - S_i)] \quad TY := \sum_i (t_i \cdot y_i) \quad SMS := \sum_i S_i \quad Sav := \frac{SMS}{N}$$

$$XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad TT := \sum_i [(t_i)^2] \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad XT := \sum_i (x_i \cdot t_i)$$

$$KOIo := 110$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{TY}{XT} \quad B2 := \frac{TT}{XT} - \frac{XT}{XX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} + B \cdot \frac{XT}{XX} \quad u_i := (A \cdot x_i - B \cdot t_i)$$

$$D_i := S_i - z_i \quad Do_i := S_i - Sav \quad FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad Ks := \frac{a}{Y \cdot (A - 1)} \quad \mu_m := \frac{B \cdot Y \cdot Ks}{a}$$

$$A = 18.978717 \quad cor = 0.999924$$

$$B = 0.064286 \quad SS = 0.389604$$

$$Ks = 26.743743$$

$$\mu_m = 0.003576$$

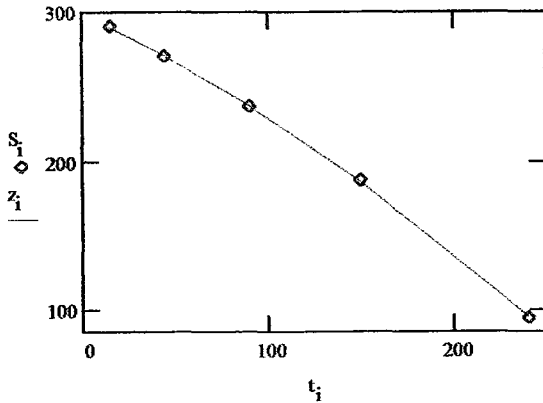
$$\mu_m = 0.003576$$

$$M := \mu_m \cdot 60$$

$$M = 0.21454$$

$$MM := M \cdot 24$$

$$MM = 5.148968$$



S_i	z_i
291	289.836758
271	270.189736
237	237.186336
187	186.074429
94	94.945369

**EK D K_s , μ_m VE Y DEĞERLERİNİN F/M ORANLARINA GÖRE DEĞİŞİM
İFADELERİNİN MATCAD PROGRAMI İLE BELİRLENMESİ**

D.1 23 Reaktörün analiz sonuçlarından (5.16) denklemine göre hesaplanmış K_s değerlerinin F/M oranları cinsinden ifadesini veren MATCAD programı.

$i := 1..23$

$N := 23$

$c := .48$

$FM_i := Ks_i := \mu_i :=$

$x_i := (FM_i)^c$

$y_i := Ks_i$

$XX := \sum_i (x_i \cdot x_i)$

$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i)$

$SX := \sum_i x_i$

$SY := \sum_i y_i$

$SAF := \frac{SY}{N}$

$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX}$

$B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX}$

$B := \frac{B1}{B2}$

$A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$

$KS_i := A \cdot x_i + B$

$D_i := KS_i - Ks_i$

$Do_i := KS_i - SAF$

$FF := \sum_i (D_i \cdot D_i)$

$SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$

$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}}$

$SS := \frac{\sqrt{FF}}{N}$

$A = 11.36864$

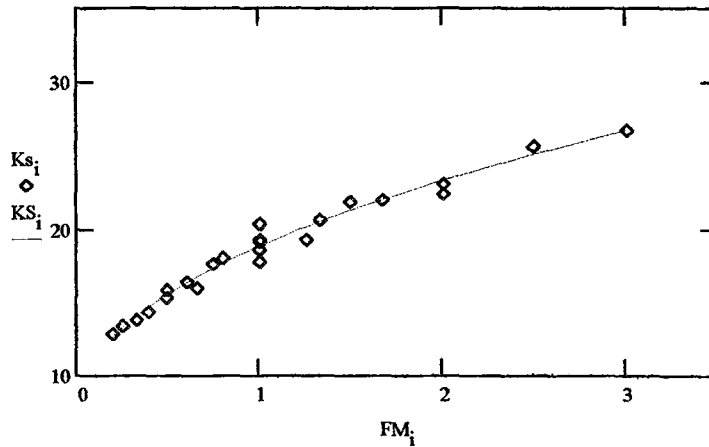
$cor = 0.98797$

$B = 7.42817$

$SS = 0.1185$

0.2	12.875	2.105
0.25	13.380	2.561
0.33	13.860	2.806
0.4	14.325	4.254
0.5	15.905	3.892
0.5	15.362	5.812
0.6	16.429	5.553
0.66	15.953	4.801
0.75	17.646	5.394
0.8	18.045	5.206
1	18.561	6.427
1	19.190	6.147
1	17.753	5.883
1	20.322	6.1
1	19.159	3.335
1.25	19.217	3.876
1.33	20.593	8.541
1.5	21.833	4.824
1.67	21.938	4.517
2	23.084	5.633
2	22.327	10.710
2.5	25.581	6.057
3	26.744	5.150

Ks_i	KS_i
12.875	12.6787
13.38	13.2723
13.86	14.10538
14.325	14.75131
15.905	15.57923
15.362	15.57923
16.429	16.32471
15.953	16.74117
17.646	17.33051
18.045	17.64207
18.561	18.79681
19.19	18.79681
17.753	18.79681
20.322	18.79681
19.159	18.79681
19.217	20.0821
20.593	20.46456
21.833	21.2394
21.938	21.96978
23.084	23.28451
22.327	23.28451
25.581	25.07716
26.744	26.6913



D.2 F/M oranları 0.2-2 değerlerine eşit reaktörlerin analiz sonuçlarından (5.16) denkleminde göre hesaplanmış μ_m değerlerinin F/M oranları cinsinden ifadesini veren MATCAD programı.

$$i := 1..16 \quad N := 16 \quad c := .753$$

$$FM_i := \mu_i :=$$

0.2	2.105
0.25	2.561
0.33	2.806
0.4	4.254
0.5	3.892
0.5	5.812
0.6	5.553
0.66	4.801
0.75	5.391
0.8	5.206
1	6.427
1	6.147
1	5.883
1	6.1
1.33	8.541
2	10.710

$$x_i := (FM_i)^c \quad y_i := \mu_i \quad XX := \sum_i (x_i \cdot x_i)$$

$$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad SX := \sum_i x_i \quad SY := \sum_i y_i \quad SAM := \frac{SY}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$$

$$\mu_{u_i} := A \cdot x_i + B$$

$$D_i := \mu_i - \mu_{u_i}$$

$$Do_i := \mu_i - SAM$$

$$FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$$

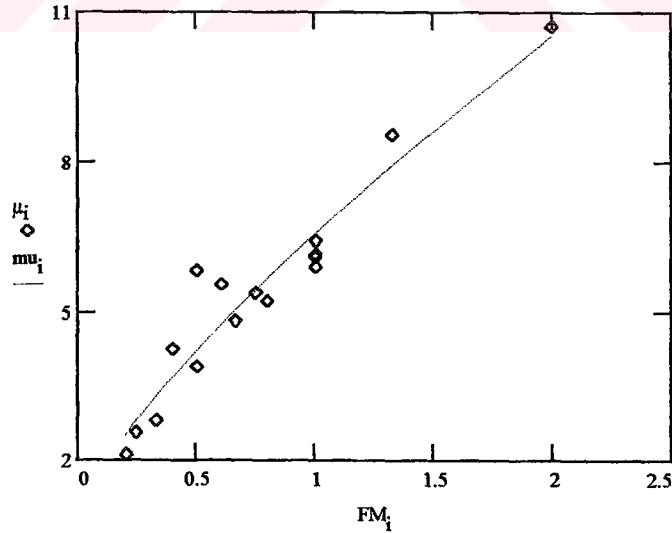
$$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}}$$

$$SS := \frac{\sqrt{FF}}{N}$$

μ_i	μ_{u_i}
2.105	2.487944
2.561	2.803775
2.806	3.278565
4.254	3.670862
3.892	4.20313
5.812	4.20313
5.553	4.709553
4.801	5.003292
5.391	5.431869
5.206	5.664428
6.427	6.561456
6.147	6.561456
5.883	6.561456
6.1	6.561456
8.541	7.950702
10.71	10.535926

$$A = 5.799661 \quad cor = 0.958849$$

$$B = 0.761795 \quad SS = 0.148695$$



D.3 F/M oranları 1-2.5 değerlerine eşit reaktörlerin analiz sonuçlarından (5.16) denkleminde göre hesaplanmış μ_m değerlerinin F/M oranları cinsinden ifadesini veren MATCAD programı.

$i := 1..6$ $N := 6$

$FM_i := \mu_i :=$

1	3.335
1.25	3.876
1.5	4.824
1.67	4.517
2.0	5.633
2.5	6.057

$$x_i := \ln(FM_i) \quad y_i := \mu_i \quad XX := \sum_i (x_i \cdot x_i) \quad SMU := \sum_i \mu_i$$

$$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad SX := \sum_i x_i \quad SY := \sum_i y_i \quad SAM := \frac{SMU}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$$

$$m_i := B + A \cdot x_i \quad D_i := \mu_i - m_i \quad Do_i := \mu_i - SAM$$

$FM_i :=$

1	3.335
1.25	3.876
1.5	4.824
1.67	4.517
2.0	5.633
2.5	6.057

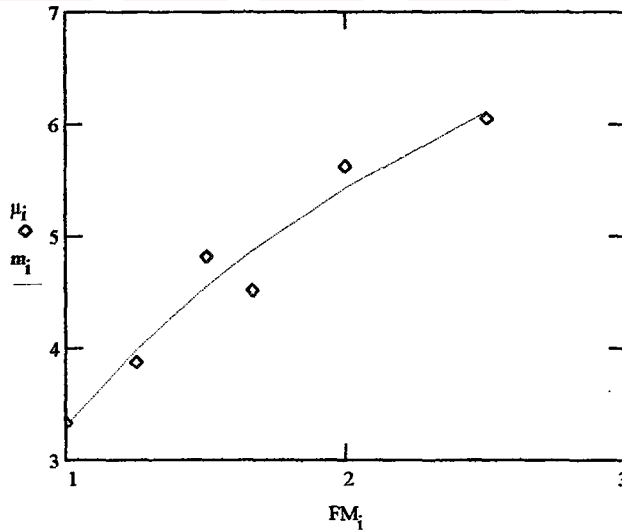
μ_i	m_i
3.335	3.301297
3.876	3.985459
4.824	4.54446
4.517	4.873624
5.633	5.426499
6.057	6.110661

$$FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i) \quad cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}}$$

$$SS := \frac{\sqrt{FF}}{N}$$

$$A = 3.066018 \quad cor = 0.974793$$

$$B = 3.301297 \quad SS = 0.085629$$



D.4 Y değerlerinin F/M oranları cinsinden ifadesini veren MATCAD programı.

i := 1..23 N := 23

$FM_i := So_i := Xo_i := Yi :=$
 $x_i := FM_i \quad y_i := \ln(Y_i) \quad XX := \sum_i (x_i \cdot x_i) \quad SMU := \sum_i Y_i$
 $Z_i := Y_i$
 $XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad SX := \sum_i x_i \quad SY := \sum_i y_i \quad SAM := \frac{SMU}{N}$
 $B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$
 $yy_i := \exp(B + A \cdot x_i) \quad D_i := Y_i - yy_i \quad Do_i := Y_i - SAM$
 $Fi := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$
 $cor := \sqrt{1 - \frac{Fi}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{Fi}}{N}$
 $A = -0.034002$
 $B = -0.605076$
 $cor = 0.57077$
 $SS = 0.003931$

D.5 $X_0=100$ MLSS/L, $S_0=100,200,300$ mgKOl/L başlangıç konsantrasyonlarında $Y \cdot K_s$ değerleri.

$i := 1..3$ $N := 3$ $XO := 100$

$So_i := Y_i := Ks_i :=$

100	.5	18.797
200	.52	23.285
300	.51	26.691

$$x_i := \ln(So_i) \quad y_i := \ln(Y_i \cdot Ks_i) \quad XX := \sum_i (x_i \cdot x_i) \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i)$$

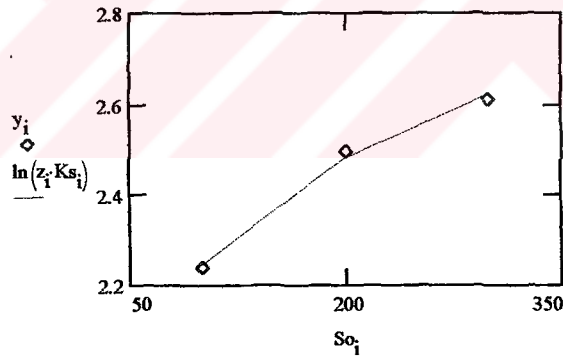
$$SX := \sum_i x_i \quad SY := \sum_i y_i \quad SMY := \sum_i (Y_i \cdot Ks_i) \quad SAF := \frac{SMY}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$$

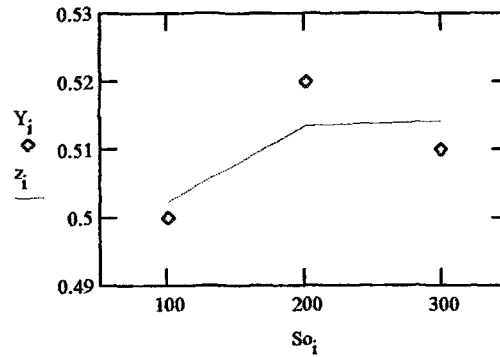
$$z_i := \exp(A \cdot x_i + B) \cdot \frac{1}{Ks_i} \quad D_i := Y_i - z_i \quad Do_i := Y_i \cdot Ks_i - SAF$$

$$FI := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i) \quad cor := \sqrt{1 - \frac{FI}{SO}} \quad SS := \sqrt{\frac{FI}{N}}$$

$$A = 0.340229 \quad B = 0.678456 \quad SS = 0.002714 \quad cor = 0.999996$$



Y_i	z_i
0.5	0.502365
0.52	0.513394
0.51	0.514131



D.6 $X_0=200$ MLSS/L, $S_0=100,200,300,400,500$ mgKOl/L başlangıç konsantrasyonlarında $Y \cdot K_s$ değerleri.

$i := 1..5$ $N := 5$ $XO := 200$

$So_i :=$ $Y_i :=$ $Ks_i :=$

100	.53	15.579
200	.53	18.797
300	.51	21.239
400	0.5	23.285
500	0.5	25.077

$$x_i := \ln(So_i) \quad y_i := \ln(Y_i \cdot Ks_i) \quad XX := \sum_i (x_i \cdot x_i) \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i)$$

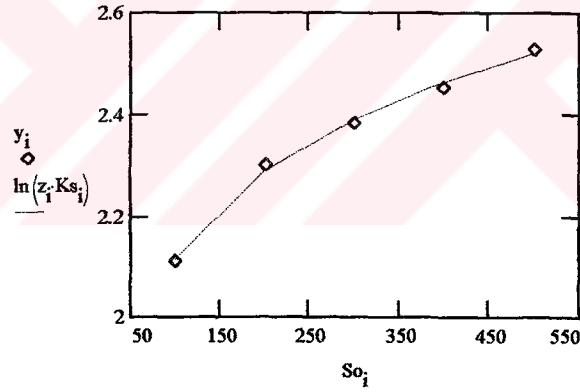
$$SX := \sum_i x_i \quad SY := \sum_i y_i \quad SMY := \sum_i (Y_i \cdot Ks_i) \quad SAF := \frac{SMY}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$$

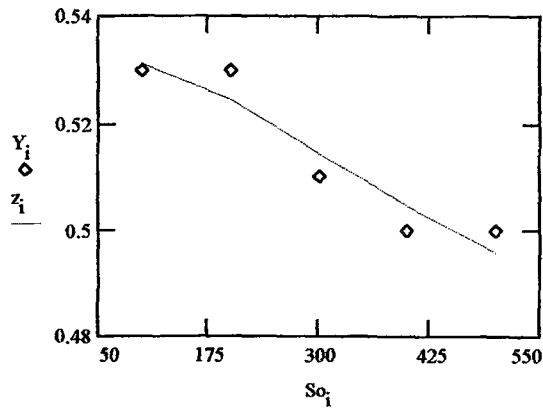
$$z_i := \exp(A \cdot x_i + B) \cdot \frac{1}{Ks_i} \quad D_i := Y_i - z_i \quad Do_i := Y_i \cdot Ks_i - SAF$$

$$FI := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i) \quad cor := \sqrt{1 - \frac{FI}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FI}}{N}$$

$$A = 0.252779 \quad B = 0.949039 \quad cor = 0.999996 \quad SS = 0.00189$$



Y_i	z_i
0.53	0.531106
0.53	0.524476
0.51	0.514272
0.5	0.504467
0.5	0.495598



D.7 $X_0=300$ MLSS/L , $S_0=100, 200, 300, 400, 500$ mgKOl/L başlangıç konsantrasyonlarında $Y.K_s$ değerleri.

$i := 1..5$ $N := 5$ $XO := 300$

$So_i := Y_i := Ks_i :=$

100	0.54	14.105
200	0.53	16.741
300	0.5	18.797
400	0.52	20.405
500	0.52	21.97

$$x_i := \ln(So_i) \quad y_i := \ln(Y_i \cdot Ks_i) \quad XX := \sum_i (x_i \cdot x_i) \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i)$$

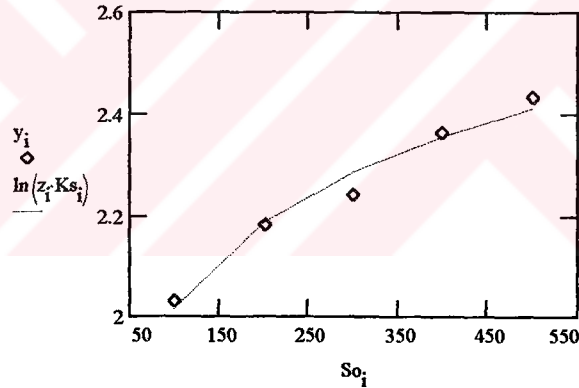
$$SX := \sum_i x_i \quad SY := \sum_i y_i \quad SMY := \sum_i (Y_i \cdot Ks_i) \quad SAF := \frac{SMY}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$$

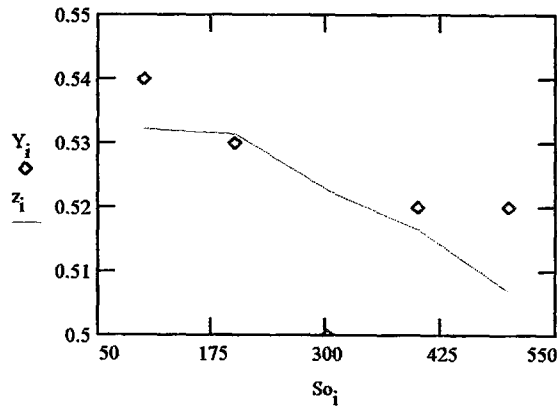
$$z_i := \exp(A \cdot x_i + B) \cdot \frac{1}{Ks_i} \quad D_i := Y_i - z_i \quad Do_i := Y_i \cdot Ks_i - SAF$$

$$FI := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i) \quad cor := \sqrt{1 - \frac{FI}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FI}}{N}$$

$$A = 0.244981 \quad B = 0.887546 \quad cor = 0.999957 \quad SS = 0.005523$$



Y_i	z_i
0.54	0.532165
0.53	0.531355
0.5	0.522656
0.52	0.516626
0.52	0.506785



D.8 $X_0=400$ MLSS/L , $S_0=100, 200, 300, 400, 500$ mgKOl/L başlangıç konsantrasyonlarında $Y.K_s$ değerleri.

$i := 1..5$ $N := 5$ $XO := 400$

$So_i :=$ $Y_i :=$ $Ks_i :=$

100	0.59	13.272
200	0.53	15.579
300	0.56	17.331
400	0.51	18.797
500	0.53	20.082

$$x_i := \ln(So_i) \quad y_i := \ln(Y_i \cdot Ks_i) \quad XX := \sum_i (x_i \cdot x_i) \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i)$$

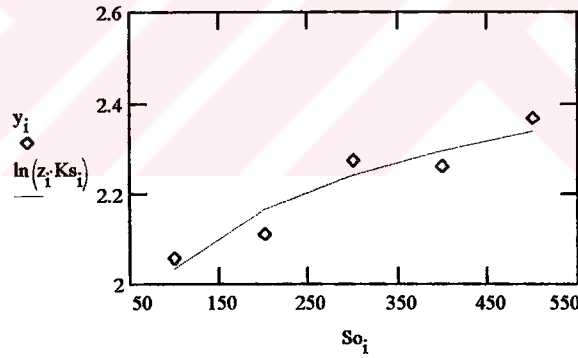
$$SX := \sum_i x_i \quad SY := \sum_i y_i \quad SMY := \sum_i (Y_i \cdot Ks_i) \quad SAF := \frac{SMY}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$$

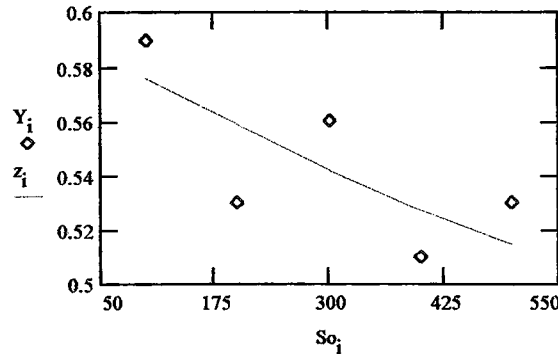
$$z_i := \exp(A \cdot x_i + B) \cdot \frac{1}{Ks_i} \quad D_i := Y_i - z_i \quad Do_i := Y_i \cdot Ks_i - SAF$$

$$FI := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i) \quad cor := \sqrt{1 - \frac{FI}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FI}}{N}$$

$$A = 0.187638 \quad B = 1.169643 \quad cor = 0.99982 \quad SS = 0.008686$$



Y_i	z_i
0.59	0.575849
0.53	0.558714
0.56	0.541935
0.51	0.527382
0.53	0.514744



D.9 $X_0=500$ MLSS/L , $S_0=100, 200, 300, 400, 500$ mgKOL/L başlangıç konsantrasyonlarında $Y.K_s$ değerleri.

$i:=1..5$ $N:=5$ $XO:=500$

$So_i := Y_i := Ks_i :=$

100	0.56	12.679
200	0.5	14.751
300	0.56	16.325
400	0.53	17.642
500	0.53	18.797

$$x_i := \ln(So_i) \quad y_i := \ln(Y_i \cdot Ks_i) \quad XX := \sum_i (x_i \cdot x_i) \quad XY := \sum_i (x_i \cdot y_i)$$

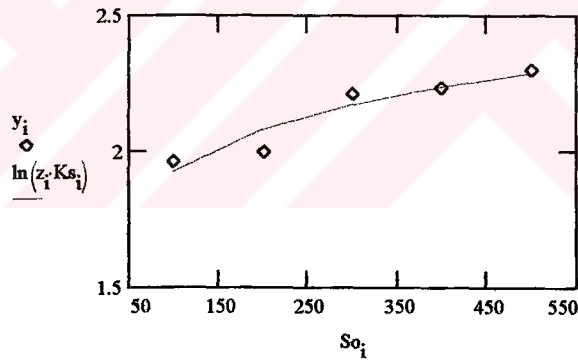
$$SX := \sum_i x_i \quad SY := \sum_i y_i \quad SMY := \sum_i (Y_i \cdot Ks_i) \quad SAF := \frac{SMY}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$$

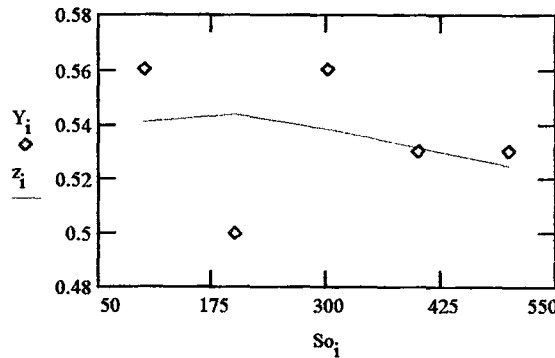
$$z_i := \exp(A \cdot x_i + B) \cdot \frac{1}{Ks_i} \quad D_i := Y_i - z_i \quad Do_i := Y_i \cdot Ks_i - SAF$$

$$FI := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i) \quad cor := \sqrt{1 - \frac{FI}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FI}}{N}$$

$$A = 0.2256 \quad B = 0.886139 \quad cor = 0.999785 \quad SS = 0.01053$$



Y_i	z_i
0.56	0.540706
0.5	0.543422
0.56	0.538061
0.53	0.53128
0.53	0.524379



**EK E DENKLEM (5.25)'DEKİ α VE β KATSAYILARININ X_0 'A GÖRE
DEĞİŞİMLERİNİN MATCAD PROGRAMI**

E.1 Denklem (5.25)'teki α katsayısının X_0 'a göre değişimini veren MATCAD programı.

$i := 1..5$ $N := 5$

$Xo_i := \alpha_i := \beta_i :=$

100	.3402	0.6785
200	.2528	0.9490
300	.2458	0.8838
400	.1876	1.1696
500	.2256	0.8861

$$x_i := \ln(Xo_i) \quad y_i := \ln(\alpha_i) \quad XX := \sum_i (x_i \cdot x_i) \quad SMY := \sum_i (\alpha_i)$$

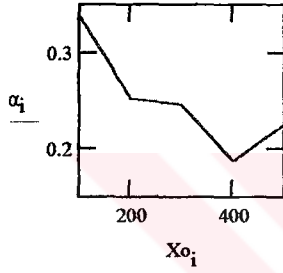
$$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad SX := \sum_i x_i \quad SY := \sum_i y_i \quad SAF := \frac{SMY}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$$

$$z_i := \exp(A \cdot x_i + B)$$

$$D_i := \alpha_i - z_i$$

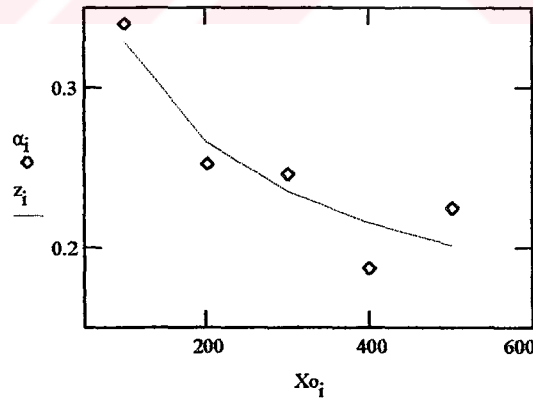
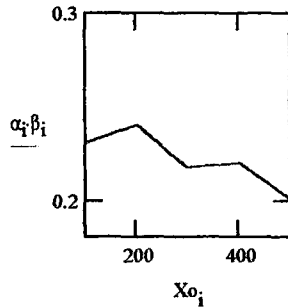
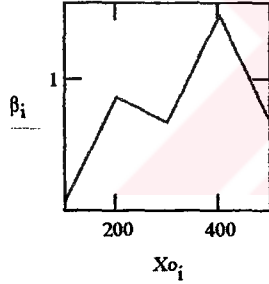
$$Do_i := \alpha_i - SAF$$



$$FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i) \quad cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}}$$

$$A = -0.303558295 \quad cor = 0.926498558$$

$$B = 0.284784118 \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N} \quad SS = 0.008464568$$



(α_i)	z_i
0.3402	0.3285
0.2528	0.2662
0.2458	0.2354
0.1876	0.2157
0.2256	0.2016

E.2 Denklem (5.25)' deki $\alpha^{1.3} \cdot \beta$ çarpımlarının X_0 'a göre değişimini veren MATCAD programı.

i := 1..5 N := 5

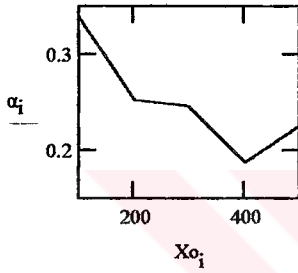
$X_{0_i} := \alpha_i := \beta_i :=$ $c := 1.3$ $d := 1$
 $x_i := X_{0_i}$ $Z_i := (\alpha_i)^c \cdot (\beta_i)^d$ $XX := \sum_i (x_i \cdot x_i)$ $SMY := \sum_i [(\alpha_i)^c \cdot (\beta_i)^d]$

100	.3402	0.6785
200	.2528	0.9490
300	.2458	0.8838
400	.1876	1.1696
500	.2256	0.8861

$y_i := \ln(Z_i)$

$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i)$ $SX := \sum_i x_i$ $SY := \sum_i y_i$ $SAF := \frac{SMY}{N}$

$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX}$ $B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX}$ $B := \frac{B1}{B2}$ $A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$



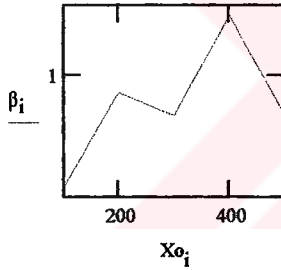
$z_i := \exp(A \cdot x_i + B)$ $D_i := (\alpha_i)^c \cdot (\beta_i)^d - z_i$ $Do_i := (\alpha_i)^c \cdot (\beta_i)^d - SAF$

$FF := \sum_i (D_i \cdot D_i)$ $SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$ $cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}}$

$A = -7.12876 \cdot 10^{-4}$ $cor = 0.98884$

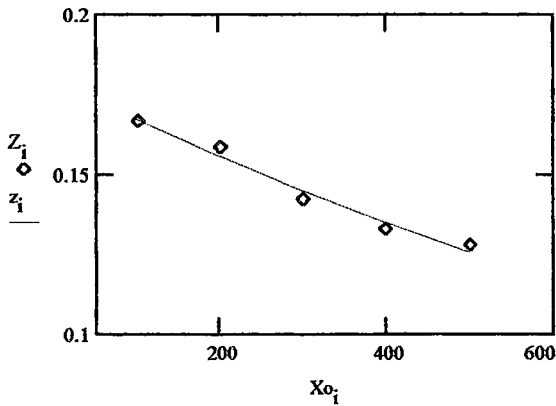
$B = -1.71669$ $SS = 9.9733 \cdot 10^{-4}$

$SS := \frac{\sqrt{FF}}{N}$



$a_i := 1.329475 \cdot (X_{0_i})^{-.303553}$

$b_i := .12407 \cdot (X_{0_i})^{.39462} \cdot \exp(-.0007128761 \cdot X_{0_i})$



Z_i	z_i	α_i	a_i	β_i	b_i
0.16703	0.1673	0.3402	0.32853	0.6785	0.71113
0.15881	0.15579	0.2528	0.26619	0.949	0.87052
0.1426	0.14507	0.2458	0.23537	0.8838	0.95128
0.13281	0.13509	0.1876	0.21568	1.1696	0.99232
0.12789	0.12579	0.2256	0.20156	0.8861	1.0091

**EK F KALICI ÜRÜN (S_R) DEĞERLERİNİN F/M ORANLARI CİNSİNDEN
İFADESİNİ VEREN MATCAD PROGRAMI**

F.1 Kalıcı ürün (SR) konsantrasyonunun F/M oranı ile değişimini veren MATCAD programı.

$i := 1..25$ $N := 25$ $c := -1.39$

$$FM_i := SR_i := x_i := (FM_i)^c \quad y_i := \frac{1}{SR_i} \quad XX := \sum_i (x_i \cdot x_i) \quad SMU := \sum_i SR_i$$

$$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad SX := \sum_i x_i \quad SY := \sum_i y_i \quad SAM := \frac{SMU}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$$

$$sr_i := \frac{1}{B + A \cdot x_i} \quad D_i := SR_i - sr_i \quad Do_i := SR_i - SAM$$

$$Fi := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i) \quad cor := \sqrt{1 - \frac{Fi}{SO}}$$

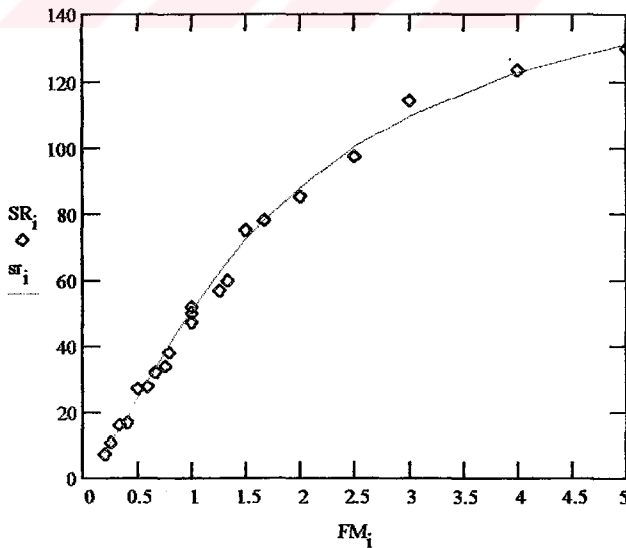
$$SS := \frac{\sqrt{Fi}}{N}$$

$$A = 0.01361525 \quad cor = 0.99701788$$

$$B = 0.00618454 \quad SS = 0.52704531$$

$i := 1..25$

FM_i	SR_i	sr_i
0.2	7	7.5
0.25	11	10
0.333	16	14.5
0.4	17	18.2
0.5	27	23.9
0.5	27	23.9
0.6	28	29.5
0.667	32	33.2
0.75	34	37.7
0.8	38	40.4
1	50	50.5
1	52	50.5
1	50	50.5
1	47	50.5
1	50	50.5
1.25	57	61.8
1.333	60	65.3
1.5	75	71.8
1.667	78	77.7
2	85	87.9
2	85	87.9
2.5	97	100.1
3	114	109.4
4	123	122.4
5	130	130.9



F.2 Sabit $S_0=100$ mgKOI/L konsantrasyonu için X_0 'a göre S_R değerlerinin değişimini veren MATCAD programı.

$$i := 1..5 \quad N := 5$$

$$S_0 := 100$$

$$X_{0_i} := SR_i :=$$

$$x_i := X_{0_i} \quad y_i := \ln(SR_i) \quad XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad SX := \sum_i x_i$$

100
200
300
400
500

50
27
16
11
7

$$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad SY := \sum_i y_i \quad SF := \sum_i SR_i \quad SMU := \frac{SF}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - B \cdot \frac{SX}{XX}$$

$$f_i := \exp(A \cdot x_i + B) \quad D_i := (SR_i - f_i) \quad Do_i := (SR_i - SMU)$$

$$FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i) \quad cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}}$$

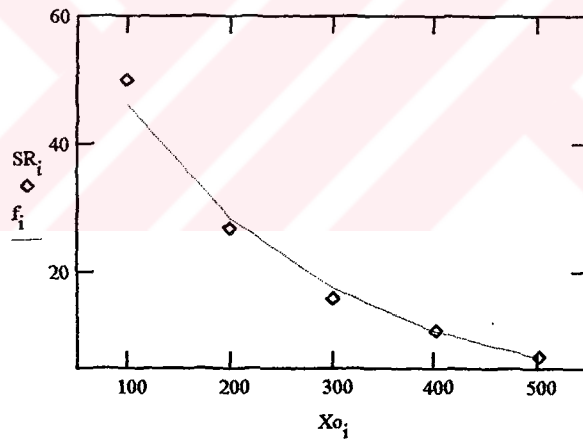
$$A = -0.00483$$

$$cor = 0.991656$$

$$B = 4.313901$$

$$SS = 0.889711$$

$$SS := \frac{\sqrt{FF}}{N}$$



SR_i	f_i
50	46.103288
27	28.442017
16	17.546435
11	10.824738
7	6.677992

F.3 Sabit $S_0=200$ mgKOI/L konsantrasyonu için X_0 'a göre S_R değerlerinin değişimini veren MATCAD programı.

$i := 1..5$ $N := 5$ $S_0 := 200$

$X_{0_i} := SR_i :=$

100
200
300
400
500

85
52
32
27
17

$$x_i := X_{0_i} \quad y_i := \ln(SR_i) \quad XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad SX := \sum_i x_i$$

$$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad SY := \sum_i y_i \quad SF := \sum_i SR_i \quad SMU := \frac{SF}{N}$$

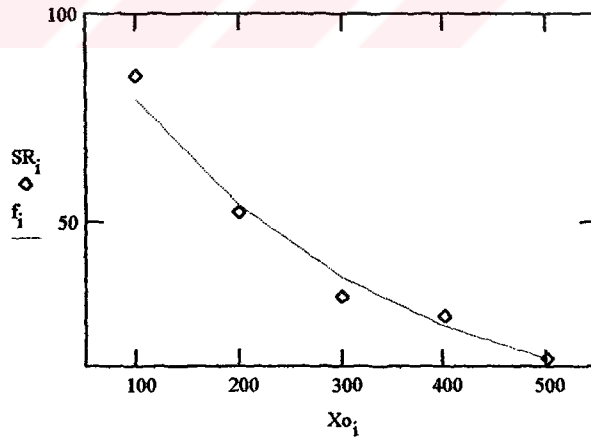
$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - B \cdot \frac{SX}{XX}$$

$$f_i := \exp(A \cdot x_i + B) \quad D_i := (SR_i - f_i) \quad Do_i := (SR_i - SMU)$$

$$FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i) \quad cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N}$$

$$A = -0.003874 \quad cor = 0.98931$$

$$B = 4.760021 \quad SS = 1.569885$$



SR_i	f_i
85	79.248838
52	53.794137
32	36.515478
27	24.786718
17	16.825232

F.4 Sabit $S_0=300$ mgKOl/L konsantrasyonu için X_0 'a göre S_R değerlerinin değişimini veren MATCAD programı.

$i := 1..5$ $N := 5$ $S_0 := 300$

$X_{0_i} := SR_i :=$

100	114
200	75
300	50
400	34
500	28

$$x_i := X_{0_i} \quad y_i := \ln(SR_i) \quad XX := \sum_i (x_i^2) \quad SX := \sum_i x_i$$

$$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad SY := \sum_i y_i \quad SF := \sum_i SR_i \quad SMU := \frac{SF}{N}$$

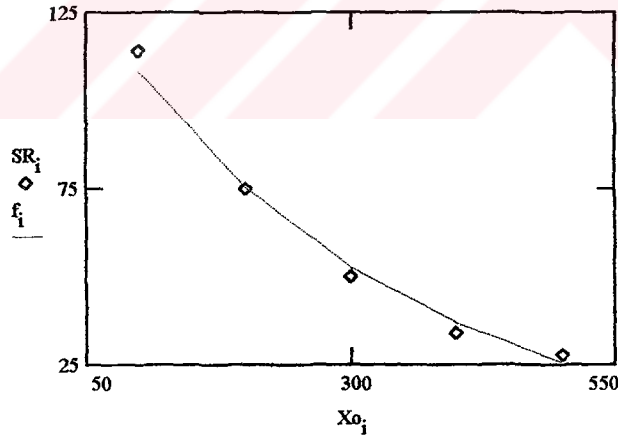
$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - B \cdot \frac{SX}{XX}$$

$$f_i := \exp(A \cdot x_i + B) \quad D_i := (SR_i - f_i) \quad Do_i := (SR_i - SMU)$$

$$FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i) \quad cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N}$$

$$A = -0.003599 \quad cor = 0.994559$$

$$B = 5.04459 \quad SS = 1.464506$$



SR_i	f_i
114	108.275403
75	75.547868
50	52.712621
34	36.779601
28	25.662527

F.5 Sabit $S_0=400$ mgKOl/L konsantrasyonu için X_0 'a göre S_R değerlerinin değişimini veren MATCAD programı.

$i := 1..5$ $N := 5$ $S_0 := 400$

$$X_{0_i} := SR_i := \begin{array}{|c|} \hline 100 \\ \hline 200 \\ \hline 300 \\ \hline 400 \\ \hline 500 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline 123 \\ \hline 85 \\ \hline 60 \\ \hline 47 \\ \hline 38 \\ \hline \end{array} \quad x_i := X_{0_i} \quad y_i := \ln(SR_i) \quad XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad SX := \sum_i x_i$$

$$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad SY := \sum_i y_i \quad SF := \sum_i SR_i \quad SMU := \frac{SF}{N}$$

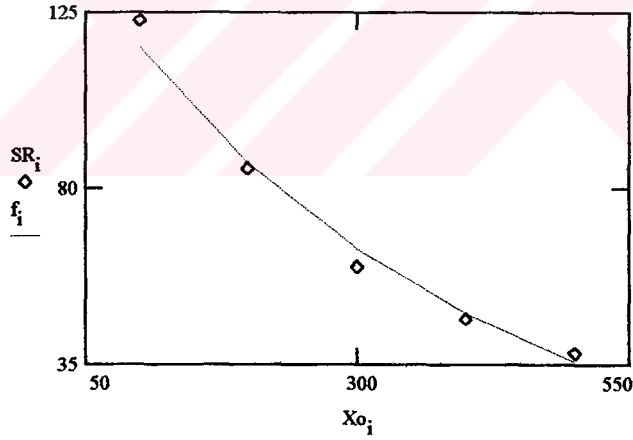
$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - B \cdot \frac{SX}{XX}$$

$$f_i := \exp(A \cdot x_i + B) \quad D_i := (SR_i - f_i) \quad Do_i := (SR_i - SMU)$$

$$FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i) \quad cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \frac{\sqrt{FF}}{N}$$

$$A = -0.002942 \quad cor = 0.991989$$

$$B = 5.049893 \quad SS = 1.729339$$



F.6 Sabit $S_0=500$ mgKOL/L konsantrasyonu için X_0 'a göre S_R değerlerinin değişimini veren MATCAD programı.

$$i := 1..5 \quad N := 5 \quad S_0 := 500$$

$$X_{0_i} := SR_i :=$$

100	130
200	97
300	78
400	57
500	50

$$x_i := X_{0_i} \quad y_i := \ln(SR_i) \quad XX := \sum_i [(x_i)^2] \quad SX := \sum_i x_i$$

$$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad SY := \sum_i y_i \quad SF := \sum_i SR_i \quad SMU := \frac{SF}{N}$$

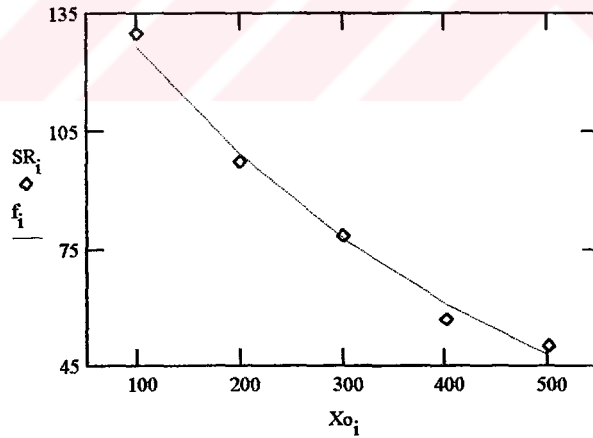
$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - B \cdot \frac{SX}{XX}$$

$$f_i := \exp(A \cdot x_i + B) \quad D_i := (SR_i - f_i) \quad Do_i := (SR_i - SMU)$$

$$FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i) \quad cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}} \quad SS := \sqrt{\frac{FF}{N}}$$

$$A = -0.002443 \quad cor = 0.995566$$

$$B = 5.08361 \quad SS = 1.218191$$



SR_i	f_i
130	126.386191
97	98.995458
78	77.540913
57	60.736051
50	47.573181

**EK G DENKLEM (5.31)'DEKİ A VE B KATSAYILARININ S_0 'A GÖRE
DEĞİŞİMLERİNİN MATCAD PROGRAMI**

G.1 Denklem (5.31)'e göre A denklem sabitinin S_0 'a göre değişimini veren MATCAD programı.

$i := 1..5$ $N := 5$

$S_i := AA_i :=$

100	4.83
200	3.874
300	3.599
400	2.942
500	2.443

$x_i := S_i$

$y_i := \ln(AA_i)$

$XX := \sum_i (x_i \cdot x_i)$

$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i)$ $SX := \sum_i x_i$ $SY := \sum_i y_i$ $SAM := \frac{SY}{N}$

$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX}$ $B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX}$ $B := \frac{B1}{B2}$ $A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$

$aa_i := \exp(A \cdot x_i + B)$ $D_i := AA_i - aa_i$ $Do_i := AA_i - SAM$

$FF := \sum_i (D_i \cdot D_i)$

$SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$

$cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}}$

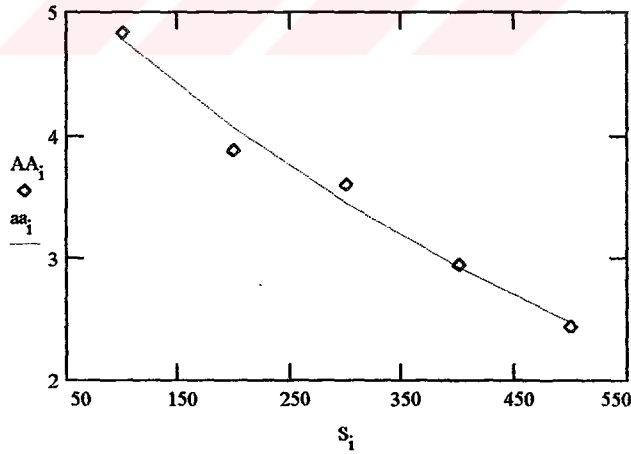
$SS := \frac{\sqrt{FF}}{N}$

$A = -0.001638$

$cor = 0.99896$

$B = 1.727952$

$SS = 0.049783$



AA_i	aa_i
4.83	4.778414
3.874	4.056275
3.599	3.443269
2.942	2.922904
2.443	2.481179

G.2 Denklem (5.31)'e göre B denklem sabitinin S_0 'a göre değişimini veren MATCAD program (Tablo 5.6' daki ilk üç değer).

$i := 1..3$ $N := 3$

$S_i :=$ $BB_i :=$

100	74.739
200	116.746
300	155.182

$x_i := S_i$ $y_i := BB_i$ $XX := \sum_i (x_i \cdot x_i)$

$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i)$ $SX := \sum_i x_i$ $SY := \sum_i y_i$ $SAM := \frac{SY}{N}$

$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX}$ $B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX}$ $B := \frac{B1}{B2}$ $A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$

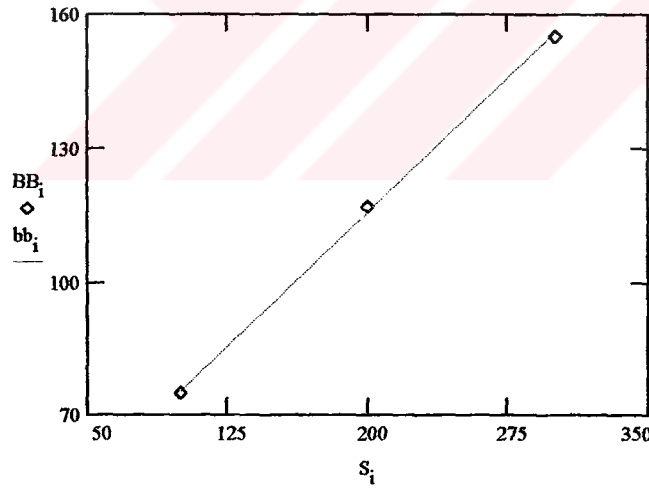
$bb_i := B + A \cdot x_i$ $D_i := BB_i - bb_i$ $Do_i := BB_i - SAM$

$FF := \sum_i (D_i \cdot D_i)$ $SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i)$ $cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}}$

$A = 0.402215$ $cor = 0.999672$

$B = 35.112667$ $SS = 0.485952$

$SS := \frac{\sqrt{FF}}{N}$



BB_i	bb_i
74.739	75.334167
116.746	115.555667
155.182	155.777167

G.3 Denklem (5.31)'e göre B denklem sabitinin S_0 'a göre değişimini veren MATCAD program (Tablo 5.6' daki son üç değer).

$i := 1..3$ $N := 3$

$S_i :=$ $BB_i :=$

300	155.182
400	156.007
500	161.354

$$x_i := S_i \quad y_i := \ln(BB_i) \quad XX := \sum_i (x_i \cdot x_i) \quad SF := \sum_i BB_i$$

$$XY := \sum_i (x_i \cdot y_i) \quad SX := \sum_i x_i \quad SY := \sum_i y_i \quad SAM := \frac{SF}{N}$$

$$B1 := \frac{XY}{XX} - \frac{SY}{SX} \quad B2 := \frac{SX}{XX} - \frac{N}{SX} \quad B := \frac{B1}{B2} \quad A := \frac{XY}{XX} - \frac{SX}{XX} \cdot B$$

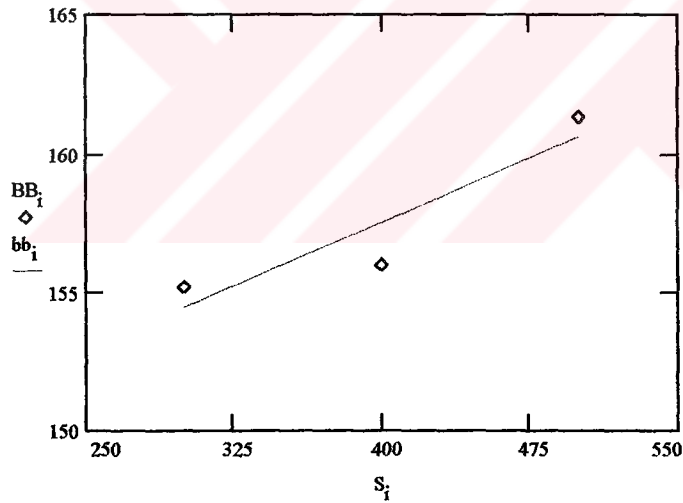
$$bb_i := \exp(B + A \cdot x_i) \quad D_i := BB_i - bb_i \quad Do_i := BB_i - SAM$$

$$FF := \sum_i (D_i \cdot D_i) \quad SO := \sum_i (Do_i \cdot Do_i) \quad cor := \sqrt{1 - \frac{FF}{SO}}$$

$$SS := \frac{\sqrt{FF}}{N}$$

$$A = 1.950104 \cdot 10^{-4} \quad cor = 0.923146$$

$$B = 4.981363 \quad SS = 0.607258$$



BB_i	bb_i
155.182	154.44927
156.007	157.490752
161.354	160.592127

ÖZGEÇMİŞ

Seval Kutlu AKAL, Kırklareli'nde doğdu. 1982 yılında İstanbul Nişantaşı Kız Lisesini bitirdi. 1982 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde üniversite öğrenimine başladı. 1986 yılında lisans eğitimini iyi derece ile tamamladı. 1987 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı programında Yüksek Lisans eğitimine başladı. 1990 yılında pekiyi derece ile mezun oldu ve Yüksek Mühendis ünvanı aldı. Halen Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

