

19423

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİYEL ATIKSULARIN BİYOLOJİK ARITILABİLİRLİĞİNİN
MATEMATİK BENZEŞİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Esra ATEŞ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Haziran 1991

Tezin Savunulduğu Tarih : 4 Temmuz 1991

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Derin Orhon

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Bilsen Beler Baykal

T. C. Doç.Dr. İzzet Öztürk

**Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi**

TEMMUZ, 1991

ÖNSÖZ

Dünyada ve Yurdumuzda çevre kirliliği her geçen gün varlığını daha da hissettirmektedir. Sanayiden kaynaklanan atıksular çevre kirliliğinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu suların arıtımında, biyolojik arıtma önemli bir yere sahiptir.

Böyle güncel bir konu üzerinde bana çalışma olanağı sağlayan, değerli görüşleri ile çalışmamı yönlendiren Sayın Hocam Prof. Dr. Derin Orhon'a, çalışma sırasındaki yardımlarından dolayı Sayın Doç. Dr. Nazik Artan ve Sayın Doç. Dr. Bilsen Beler Baykal'a teşekkür ederim.

Bilgisayar çalışmalarında gösterdiği yardımlardan dolayı Arş. Gör. Erdem Görgün'e , Arş. Gör. Rüya Taşlı ve diğer arkadaşları ve tezi yazan Kardeşim Şebnem Ateş'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
NOTASYON LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
 BÖLÜM I, GİRİŞ	 1
1.1 ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ	1
1.2 ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI	2
 BÖLÜM II, BİYOLOJİK ARITILABİLİRLİĞİN TEMEL ESASLARI VE GELİŞİMİ	 4
2.1 TEORİK VE DENEYSEL YAKLAŞIM	4
2.2 ARITILABİLİRLİĞE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	5
2.3 BİYOLOJİK ARITILABİLİRLİK MODELİ	5
2.3.1 Tek Substratın Giderim Kinetiği	6
2.3.2 Çoklu Substratın Giderim Kinetiği	7
2.3.3 IAWPRC Çalışma Grubu Modeli	12
2.3.4 Artan, Cimsit Modeli	15
 BÖLÜM III, KALICI PARAMETRELERİN BENZEŞİMİ	 28
3.1 ÇÖZÜNMÜŞ İNERT KOİ'NİN BELİRLENMESİ METODLARI	29
3.1.1 Kademeli Yöntem	30
3.1.2 Karşılaştırmalı Yöntem	31
3.2 ALFA (α) VE BETA (β) STOKİOMETRİK KATSAYILARININ TAYİNİ	33
3.2.1 Kullanılan Çözüm Yöntemleri	36
3.3 ÇÖZÜNMÜŞ İNERT SUBSTRAT BENZEŞİMİNDE DÖNÜŞÜM ORANININ ETKİSİ	37
3.4 PARTİKÜLER İNERT SUBSTRAT BENZEŞİMİNDE DÖNÜŞÜM ORANININ ETKİSİ	53

3.5 CANLILIK KAVRAMI İLE İLGİLİ ESASLAR	84
3.5.1 Canlılık ve Aktivite	86
3.5.2 Ölüm – Yenileme Yaklaşımı	90
3.5.3 Biyokitle Ölçüm Yöntemleri	93
BÖLÜM IV, AYRIŞABİLİR BİLEŞENLERİN BENZEŞİMİ	97
4.1 KAĞIT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARI DENEYSEL VE BENZEŞİM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	98
4.2 TASK GRUP KİNETİK SABİTLERİ KULLANILARAK ELDE EDİLEN BENZEŞİM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ	109
BÖLÜM V, ARITILABİLİRLİK SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	120
BÖLÜM VI, SONUÇ VE ÖNERİLER	149



NOTASYON LİSTESİ

- b = Spesifik içsel solunum hızı (l/gün)
 b_H = Aktif biyokitlenin spesifik bozunma hızı (l/gün)
 f_{CV} = KOI/UAKM dönüştürme faktörü
 f_E = İçsel solunum yaklaşımında biyokitlenin inert fraksiyonu
 f_P = Partiküler inert ürün fraksiyonu
 K_h = Maksimum spesifik hidroliz hızı
 K_X = Hidroliz için yarı doygunluk sabiti
 P = Ürün Konsantrasyonu (mg/l)
 Q = Besleme akımı debisi ($m^3/gün$)
 Q_w = Çamur debisi ($m^3/gün$)
 C_T = Sistem girişindeki toplam substrat konsantrasyonu (mg/l)
 C_S = Ayrışabilir çözünmüş ve partiküler substrat konsantrasyonu toplamı (mg/l)
 S_S = Çözünmüş substrat konsantrasyonu (mg/l)
 S_P = Çözünmüş kalıcı ürün konsantrasyonu (mg/l)
 S_I = Çözünmüş inert organik madde konsantrasyonu (mg/l)
 S_T = Toplam çözünmüş organik madde konsantrasyonu (mg/y)
 X_A = Aktif biyokitle konsantrasyonu (mg/l)
 X_S = Partiküler substrat konsantrasyonu (mg/l)
 X_P = Partiküler inert ürün konsantrasyonu (mg/l)
 X_I = Partiküler inert organik madde konsantrasyonu (mg/l)
 X_T = Toplam uçucu askıda madde konsantrasyonu (mg/l)
 Y = Dönüşüm Oranı
 $\hat{\mu}$ = Maksimum spesifik çoğalma hızı (l/gün)
 K_S = Yarı doygunluk sabiti (mg/l)
 α = Çoğalmaya bağlı S_p üretimi katsayısı
 β = Hidrolize bağlı S_p üretimi katsayısı
 Θ = Hidrolik bekletme süresi (saat)
 Θ_C = Çamur yaşı (gün)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 Çoklu Sıfırıncı Derece Giderim Kavramının Grafik Açıklaması	8
Şekil 2.2 On Bileşenli Bir Substratın Zaman Değişimi	9
Şekil 2.3 Bir Atıksudaki Toplam KOI'nin Fraksiyonları	16
Şekil 2.4 Bir Arıtma Tesisi Çıkışındaki Çözünmüş KOI'nin Fraksiyonları	17
Şekil 2.5 Aktif Çamur Sisteminde Uçucu Askıda Katı Maddelerin Fraksiyonları	18
Şekil 2.6 Çözünmüş İnert Ürün Oluşumu Modelinin (α) Katsayısı Kullanımı Halinde Şematik Gösterimi	20
Şekil 2.7 Çözünmüş İnert Ürün Oluşumu Modelinin (β) Katsayısı Kullanımı Halindeki Şematik Gösterimi	21
Şekil 2.8 Aktif Çamur Sisteminin Şematik Gösterimi	25
Şekil 3.1 Kesikli Reaktörler İçin Çözünmüş KOI Eğrisi	30
Şekil 3.2 Kademeli Yöntem İçin Başlangıç S_{10} Değerinin Bulunması	31
Şekil 3.3 Karşılaştırmalı Metod İle Başlangıç S_{10} Değerinin Bulunması	32
Şekil 3.4 Grafik Yöntemi İle S_t Bulunuşu	37
Şekil 3.5 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde S_t Bulunuşu	41
Şekil 3.6 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.45$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde S_t Bulunuşu	42
Şekil 3.7 $Y_G=0.45$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde S_t Bulunuşu	43
Şekil 3.8 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.023$ Olması Halinde S_t Bulunuşu	44
Şekil 3.9 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.45$, $\alpha=0.023$ Olması Halinde S_t Bulunuşu	45
Şekil 3.10 $Y_G=0.45$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.023$ Olması Halinde S_t Bulunuşu	46
Şekil 3.11 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.015$ Olması Halinde S_t Bulunuşu	47
Şekil 3.12 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.45$, $\alpha=0.015$ Olması Halinde S_t Bulunuşu	48
Şekil 3.13 $Y_G=0.45$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.015$ Olması Halinde S_t Bulunuşu	49
Şekil 3.14 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde S_t Bulunuşu($S_s=0, X_s=400\text{mg/l}$)	50
Şekil 3.15 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.45$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde S_t Bulunuşu($S_s=0, X_s=400\text{mg/l}$)	51

Şekil 3.16 $Y_G=0.45$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde S_I Bulunuşu($S_S=0, X_S=400\text{mg/l}$)	52
Şekil 3.17 Endüstriyel Atıksuyun Fiziksel Olarak Sınıflandırılması	54
Şekil 3.18 Toplam Biyokitle – Zaman Profili	54
Şekil 3.19 İnert Partiküler Madde Bulunuşu	56
Şekil 3.20 Toplam Biyokitle – Zaman Profili	66
Şekil 3.21 $Y=0.72$, $\alpha=0.023$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_I Bulunuşu	67
Şekil 3.22 $Y=0.67$, $\alpha=0.023$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_I Bulunuşu	68
Şekil 3.23 $Y=0.45$, $\alpha=0.023$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_I Bulunuşu	69
Şekil 3.24 $Y=0.72$, $\alpha=0.015$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_I Bulunuşu	70
Şekil 3.25 $Y=0.67$, $\alpha=0.015$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_I Bulunuşu	71
Şekil 3.26 $Y=0.45$, $\alpha=0.015$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_I Bulunuşu	72
Şekil 3.27 $Y=0.72$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_I Bulunuşu	73
Şekil 3.28 $Y=0.67$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_I Bulunuşu	74
Şekil 3.29 $Y=0.45$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_I Bulunuşu	75
Şekil 3.30 Toplam Substrat – Zaman Profili	76
Şekil 3.31 Toplam Substrat – Zaman Profili İle X_I Bulunuşu	78
Şekil 3.32 Toplam KOI – Zaman Profili	79
Şekil 3.33 Toplam KOI – Zaman Profili	80
Şekil 3.34 $\alpha=0.023$ Olması Halinde Toplam KOI – Zaman Profili	82
Şekil 3.35 Aktif Biyokitlenin Ve İçsel Solunum Hızı b' yi Belirlemek İçin Kesikli Bir Çürütme Deneyinde O_2 Tüketim Hızı İle Zaman Arasındaki Bağlantı	96
Şekil 4.1 Kağıt Endüstrisi İçin Başlangıç Çözünmüş KOI Ve Ölçülen KOI Arasındaki İlişki	99
Şekil 4.2 Ortalama S_I Tayini	99
Şekil 4.3 Değişken α ve S_I Değerine Karşı $S_T - S_S$ Zaman Profilleri	105
Şekil 4.4 Değişken α ve S_I Değerine Karşı $S_p - S_R$ Zaman Profilleri	106
Şekil 4.5 Değişken β ve S_I Değerine Karşı S_T ve S_S Zaman Profilleri	107
Şekil 4.6 Değişken β ve S_I Değerine Karşı S_p ve S_R Zaman Profilleri	108

Şekil 4.7 Task Grup Kinetik Sabitleri Ve Değişken α Değerine Karşı S_s Ve S_T Zaman Profilleri	111
Şekil 4.8 Task Grup Kinetik Sabitleri Ve Değişken α Değerine Karşı S_p Ve S_R Zaman Profilleri	112
Şekil 4.9 Task Grup Kinetik Sabitleri Ve Değişken β Değerine Karşı S_s Ve S_T Zaman Profilleri	113
Şekil 4.10 Task Grup Kinetik Sabitleri Ve Değişken β Değerine Karşı S_p Ve S_R Zaman Profilleri	114
Şekil 4.11 Sürekli Sistemlerde S_T , S_p , S_s , $S_i - \Theta_C$ Profilleri ($\beta=0.031$)	116
Şekil 4.12 Sürekli Sistemlerde S_T , S_p , S_s , $S_i - \Theta_C$ Profilleri ($\alpha=0.027$)	117
Şekil 4.13 Sürekli Sistemlerde S_T , S_p , S_s , $S_i - \Theta_C$ Profilleri ($S_T=3340$, $\alpha=0.027$)	118
Şekil 4.14 Sürekli Sistemlerde S_T , S_p , S_s , $S_i - \Theta_C$ Profilleri ($S_T=3340$, $\beta=0.027$)	119
Şekil 5.1 $S_T=500$ mg/l Olması Halinde S_s , S_R , $S_T - \Theta_C$ Profilleri	122
Şekil 5.2 $S_T=500$ mg/l İçin Değişken Y_i Değerine Karşı $S_R - \Theta_C$ Profilleri	123
Şekil 5.3 $S_T=500$ mg/l İçin Değişken Y_i Değerine Karşı $S_T - \Theta_C$ Profilleri	124
Şekil 5.4 $S_T=2000$ mg/l Olması Halinde S_s , S_R , $S_T - \Theta_C$ Profilleri	126
Şekil 5.5 $S_T=2000$ mg/l İçin Değişken Y_i Değerine Karşı $S_p - \Theta_C$ Profilleri	127
Şekil 5.6 $S_T=2000$ mg/l İçin Değişken Y_i Değerine Karşı $S_T - \Theta_C$ Profilleri	128
Şekil 5.7 $S_T=500$ mg/l İçin Değişken $\hat{\mu}$ Değerine Karşı $S_s - \Theta_C$ Profilleri	129
Şekil 5.8 $S_T=500$ mg/l İçin Değişken $\hat{\mu}$ Değerine Karşı $S_p - \Theta_C$ Profilleri	130
Şekil 5.9 $S_T=500$ mg/l İçin Değişken $\hat{\mu}$ Değerine Karşı $S_T - \Theta_C$ Profilleri	131
Şekil 5.10 $S_T=500$ mg/l İçin Değişken Y_p Değerine Karşı S_s , S_T , $S_p - \Theta_C$ Profilleri	132
Şekil 5.11 $S_T=500$ mg/l ve $\hat{\mu}=6$ için Değişken Y_p Değerine Karşı S_s , S_T , $S_p - \Theta_C$ Profilleri	133
Şekil 5.12 $S_T=2000$ mg/l İçin Değişken $\hat{\mu}$ Değerine Karşı $S_s - \Theta_C$ Profilleri	135
Şekil 5.13 $S_T=2000$ mg/l İçin Değişken $\hat{\mu}$ Değerine Karşı $S_p - \Theta_C$ Profilleri	136
Şekil 5.14 $S_T=2000$ mg/l İçin Değişken $\hat{\mu}$ Değerine Karşı $S_T - \Theta_C$ Profilleri	137

Şekil 5.15 $S_T=2000$ mg/l İçin $\hat{\mu}=3$ İçin Değişken Y_p Değerine Karşı $S_s, S_p, S_T - \Theta_C$ Profilleri	138
Şekil 5.16 $S_T=2000$ mg/l İçin $\hat{\mu}=6$ İçin Değişken Y_p Değerine Karşı $s_s, S_p, S_T - \Theta_C$ Profilleri	139
Şekil 5.17 $S_T=500$ mg/l İçin Değişken K_s Değerine Karşı $S_s - \Theta_C$ Profilleri	140
Şekil 5.18 $S_T=500$ mg/l İçin Değişken K_s Değerine Karşı $S_p - \Theta_C$ Profilleri	141
Şekil 5.19 $S_T=500$ mg/l İçin Değişken K_s Değerine Karşı $S_T - \Theta_C$ Profilleri	142
Şekil 5.20 $S_T=2000$ mg/l İçin Değişken K_s Değerine Karşı $S_s - \Theta_C$ Profilleri	143
Şekil 5.21 $S_T=2000$ mg/l İçin Değişken K_s Değerine Karşı $S_p - \Theta_C$ Profilleri	144
Şekil 5.22 $S_T=2000$ mg/l İçin Değişken K_s Değerine Karşı $S_T - \Theta_C$ Profilleri	145
Şekil 5.23 $S_T=500$ mg/l İçin Değişken Y Değerine Karşı $S_p, S_T - \Theta_C$ Profilleri	147
Şekil 5.24 $S_T=2000$ mg/l İçin Değişken Y Değerine Karşı $S_p, S_T - \Theta_C$ Profilleri	148

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1 IAWPRC Çalışma Grubu Modelinin Reaksiyon Matrisi (Henze ve diğerleri, 1986)	14
Tablo 2.2 Artan Modelinin Reaksiyon Matrisi (Artan, 1987)	22
Tablo 3.1 Çözünmüş İnert Ürün Oluşumu Modelinin Reaksiyon Matrisi	35
Tablo 3.2 Simülasyon Çalışması Başlangıç Koşulları	39
Tablo 3.3 Canlılık Kavramı Simülasyon Çalışmasında Kullanılan Kinetik Ve Stokiyometrik Katsayılar	58
Tablo 3.4 $X_A=200$ mg/l, $X_E=800$ mg/l, $\alpha=0.023$ Olması Halinde Sistemde Üretilen İnert Partiküler Madde Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi	60
Tablo 3.5 $X_A=200$ mg/l, $X_E=800$ mg/l, $\beta=0.026$ Olması Halinde Sistemde Üretilen İnert Partiküler Madde Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi	61
Tablo 3.6 $X_A=500$ mg/l, $X_E=500$ mg/l, $\alpha=0.023$ Olması Halinde Sistemde Üretilen İnert Partiküler Madde Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi	62
Tablo 3.7 $X_A=500$ mg/l, $X_E=500$ mg/l, $\beta=0.026$ Olması Halinde Sistemde Üretilen İnert Partiküler Madde Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi	63
Tablo 3.8 $X_A=800$ mg/l, $X_E=200$ mg/l, $\alpha=0.023$ Olması Halinde Sistemde Üretilen İnert Partiküler Madde Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi	64
Tablo 3.9 $X_A=800$ mg/l, $X_E=200$ mg/l, $\beta=0.026$ Olması Halinde Sistemde Üretilen İnert Partiküler Madde Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi	65
Tablo 4.1 Karşılaştırmalı Yöntem İle Kağıt Endüstrisi Atıksuları İçin Deney Sonuçları (Germirli, 1990)	100

Tablo 4.2 Gözlenen İlk Minimum ve Nihai KOI Değerleri	101
Tablo 4.3 Y_p Değerine Karşı Çözünmüş İnert Ürün Fraksiyonu Değerleri	101
Tablo 4.4 Kağıt Endüstrisi Atıksuyu Kinetik ve Stokiyometrik Katsayıları	102
Tablo 4.5 TASK Grup Kinetik ve Stokiyometrik Sabitleri	109
Tablo 4.6 Seçilen Y_p Değerine Karşı f_{sp} Değerleri	109
Tablo 5.1 Sürekli Sistemler İçin Seçilen Kinetik Ve Stokiyometrik Katsayılar.	120



ÖZET

Bu çalışmada çözünmüş inert substratın ve partiküler inert substratın aktif çamur sistemleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Birinci bölümde, atıksu içeriğinin aktif çamur sistemlerinin tasarım ve işletilmesindeki önemi vurgulanmıştır. Çalışmanın amaç ve kapsamı açıklanmıştır.

İkinci bölümde, biyolojik arıtılabilirlik teorik olarak ele alınmış ve arıtılabilirliğe etki eden faktörler belirlenmiştir. Aerobik arıtmanın temel prensipleri çerçevesinde geliştirilen biyolojik arıtılabilirlik modelleri incelenmiş ve ihmal ettiği konular açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, kalıcı parametrelerin benzeşimi incelenmiştir. Çözünmüş inert substrat ile ilgili olarak önerilen kavramlar açıklanmış, aktif çamur sistemlerinde çözünmüş inert ürün süreci üzerinde durulmuş ve inert ürün fraksiyonu (α veya β) formüle edilmiştir. Çözünmüş inert substrat benzeşiminde dönüşüm oranının etkisi incelenmiş ve dönüşüm oranından kaynaklanan hatanın giderilmesi için belirlenen yaklaşım açıklanmıştır. Partiküler inert substrat benzeşiminde dönüşüm oranı etkisi incelenmiş, partiküler inert substrat tayini için belirlenen yaklaşımlar belirtilmiştir. Canlılık ve aktivite ile ilgili daha önceki çalışmalar değerlendirilmiş ve biyokitle ölçüm yöntemleri ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde, ayrışabilir bileşenlerin benzeşimi ile ilgili daha önceki çalışmalar genel olarak değerlendirilmiş, kağıt endüstrisi atıksuları deneysel ve benzeşim sonuçları incelenmiş, kinetik sabitlerin değişiminin benzeşim sonuçları üzerindeki etkisi açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, sürekli sistemlerde çözünmüş inert substrat konsantrasyonunun, çözünmüş inert ürün fraksiyonunun değişiminin sistem karbon giderim verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kinetik sabitlerin değişiminin (μ , K_s , Y) bir değerlendirilmesi yapılmıştır ve son bölümde elde edilen çalışma sonuçları özetlenmiştir.

SUMMARY

MATHEMATICAL SIMULATION OF BIOLOGICAL TREATABILITY OF INDUSTRIAL WASTEWATERS

The world has been the scene of rapid industrialization for the last few decades. As a result, environmental problems, especially water pollution have cropped up. Industrial wastewater responsible for the increase of water pollution to a great extent are treated mainly by biological wastewater treatment systems, the most common of which is activated sludge. The basic components of this, process may be outlined in the following process flow diagram.

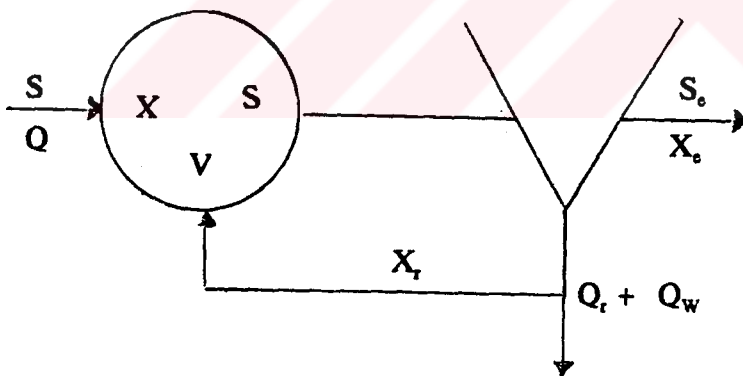


Figure 1. Typical Flow Diagram of an Activated Sludge System.

$$C_R = S_I + S_P + X_I + X_P + S_S \quad (1)$$

Where;

C_R : Ultimate COD in settled wastewater

S_I : Inert soluble substrate concentration

S_P : Inert soluble product concentration

X_I : Inert particulates concentration

X_P : Inert particulate product concentration

S_S : Soluble substrate concentration

$$C_R' = S_I' + S_P' + X_P' + S_S \quad (2)$$

where;

C_R' = Ultimate COD in filtered wastewater

S_P' = Inert soluble substrate in filtered wastewater

X_P' = Inert particulate product in filtered wastewater

$$COD_1 = C_O - C_R$$

where,

C_O : Initial COD in settled Wastewater

$$COD_2 = S_O - C_R'$$

where,

S_O : Initial COD in filtered Wastewater

$$S_P' = Y_P * S_O$$

where,

$$Y_P = S_P / S_O$$

$$S_P = S_P' \frac{\Delta COD_1}{\Delta COD_2}$$

$$X_P = X_P' \frac{\Delta COD_1}{\Delta COD_2}$$

Where:

Q: Influent Flowrate,
 Q_w : Wasted Sludge,
 Q_r : Return Sludge Flowrate,
V: Reactor Volume
 S_{so} : Influent Substrate Concentration
S: Substrate Concentration at Reactor
 S_e : Effluent Soluble Substrate
X: Biomass Concentration at the Reactor
 X_e : Effluent Biomass
 X_r : Return Biomass

The identification of influent characteristics with regard to the organic content is quite useful from the standpoint of process kinetics and therefore in design and operation strategy for biological wastewater treatment.

Until recently, it was assumed that influent and effluent substrate concentrations have the same characteristics and effluent substrate concentration is independent from influent substrate concentration in activated sludge systems. However extensive researchs conducted on this subject have shown that influent and effluent concentrations are different from each other and effluent concentration depends on the influent concentration. Research efforts have also proved that in activated sludge systems, metabolic products are released to the system during microbial activity and a part of these products is biologically inert.

Wastewater usually contains a very wide spectrum of organics with respect to biodegradability. The initially soluble inert fraction passes through the activated sludge system in an unchanged form. This fraction, not critical in conventional wastes, becomes significant in industrial effluents and especially in strong wastes since it leads to the misinterpretation of biological treatability results; it also makes it difficult to meet effluent limitation criteria expressed in terms of COD for a number of industrial categories.

The importance of soluble inert COD concentration of wastewaters has been underlined in literature and methods for the determination of this fraction have been developed. However, these methods do not take into consideration the effect of inert soluble metabolic products resulting from microbial activity in activated sludge systems. Therefore, incorrect results are reached due to the interference of soluble inert metabolic products on the initial soluble inert COD, the forget of the measurement. In activated sludge systems, the microbial inert product formation in the effluent stream can be minimized by making proper adjustment in the desing and operational conditions. Whereas the influent and effluent soluble inert waste water concentration remain the same. Thus, it is important to determine the initial inert soluble COD fraction of wastewater correctly.

Definition of organic content of wastewater is very important for the design and the operation of treatment plants. This influent organic content measured as COD is constituted by biological degradable substrate and biological nondegradable substrate, and COD measured in the effluent has biological nondegradable substrate which is produced by biological degradable products and metabolic inert products.

The soluble effluent COD of a well operated activated sludge plant is likely to be composed almost entirely of organic matter generated by microbial activity. There is evidence to show that a significant portion of this soluble organic matter is non-degradable and may be due to similar microbial mechanisms. In the literature the generation soluble residual products, (SRP), is explained by the hydrolysis of non-viable cellular materials in the reactor.

New experimental methods are developed for the assesment of initial inert soluble COD fraction in wastewaters by identifying and minimizing the inert soluble microbial products interference.

In this study, it is supposed that yield of wastewater is equal to yield of glucose ($Y_w = Y_G$). S_o , the effect of yield on soluble inert product is not taken into consideration. This assumption might cause some experimental errors. A new approach is suggested and investigated in this study to overcome these experimental errors.

Total particulate organics in activated sludge systems includes three components:

Active biomass concentration, (X_A)

Slowly degradable particulate organics, (X_S)

Inert particulate organics, (X_I)

Three method have been developed and evaluated to determine inert particulate organics in the influent.

The first approach in determining X_I is the monitoring of total biomass versus time. Ultimate value of total biomass is composed of the sum of inert particulate substrate in the influent and inert particulate substrate produced by lysis of active biomass in the system, inert particulates are determined by the subtraction of inert particulates produced in the system (X_E) from ultimate total biomass (X_T)

In the second approach separate reactors having settled wastewater, filtered waste water and glucose are operated as batch reactors with addition of sufficient seed microorganism concentration. Total biomass profile is observed with time in these reactors. Inert soluble substrate (S_I) are calculated by using these observations and inert particulate substrate (X_I) is computed same as its in the first approach.

In the third approach, the experimental procedure defined in the second approach is applied. However the calculation of X_I is different in this approach. Calculation steps are as follows:

In equation (1), S_s value is supposed to be very low (approximately 2-3 mg/l)

So, the only unknown in equation (1) is X_t . We can calculate X_t value from this equation by replacing all components calculated above.

Emphasis is placed on the basis relating viability concept and on the determination methods. The effect of kinetics constants on the carbon removal efficiency is investigated and it is seen that K_s and Y values have an effect on carbon removal efficiency.

In sum, influent substrate concentration affects effluent substrate concentration. There is a minimum Θ_x value providing minimum effluent COD concentration for each influent concentrations. Sludge age shouldn't be too long not to corrupt sludge settling ability.



BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ

Aktif çamur sistemleri, havalı ortamda organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından giderilmesi prensibine dayanmaktadır ve atıksu arıtımında çok önemli bir yer almaktadır.

Bütün mühendislik çalışmalarında olduğu gibi aktif çamur sistemlerinin tasarımı ya da belirlenen tasarım alternatiflerinin çeşitli işletme koşullarındaki olası davranışlarının incelenmesi için bugüne kadar çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu modeller, teorik bilgilerle oluşturulmuş matematik modeller olabileceği gibi, laboratuvar ölçekli reaktörler veya pilot tesisler ile kurulmuş fiziksel modellerde olabilir.

Yakın geçmişe kadar aktif çamur sistemlerinde giriş - çıkış substrat konsantrasyonlarının aynı karakterde olduğu ve çıkış substrat konsantrasyonunun, giriş substrat konsantrasyonundan bağımsız olduğu varsayılmaktaydı. Ancak bu konu üzerinde yapılan çok sayıda araştırma giriş - çıkış substrat karakterlerinin birbirinden farklı olduğunu ve çıkış substrat konsantrasyonunun giriş substrat konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda bu araştırmalar, aktif çamur proseslerinde mikroorganizma faaliyetleri sırasında sisteme metabolik ürünlerin bırakıldığını ve bu ürünlerin bir kısmının biyolojik olarak inert olduğunu ortaya koymuştur.

Atıksuların organik madde içeriğinin tanımlanması arıtma sistemlerinin tasarım ve işletilmesi açısından çok önemlidir. Bu aktif çamur sistemine girişte ölçülen KOI biyolojik olarak ayrışabilir substrattan oluşur. Sistem çıkışında ölçülen KOI ise biyolojik olarak ayrışabilen substrattan kalan, biyolojik olarak ayrışamayan substrat ve metabolik inert ürünlerden oluşur.

Endüstriyel atıksular biyolojik ayrışabilirlik açısından çok geniş bir aralıkta değişen organik maddeleri içerirler. Atıksulardaki organik maddelerin bir kısmı biyolojik olarak inert olduğundan, aktif çamur sistemlerinde hiç bir değişikliğe uğramadan olduğu gibi çıkarlar. Konvansiyonel atıksular için önemsiz olan bu kısım, biyolojik arıtılabilirlik sonuçlarının yanlış yorumlanması açısından endüstriyel atıksularda, özellikle kuvvetli atıksularda büyük öneme sahiptir. Ayrıca, bir çok endüstri kategorisi için KOI parametresi ile tanımlanan deşarj limitlerinin sağlanması açısından, atıksuların çözünmüş inert organik madde içeriğinin bilinmesi çok önemlidir.

1.2 ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Bu çalışmanın amacı atıksuların içerdiği çözünmüş inert substrat, partiküler inert substrat konsantrasyonlarının belirlenmesi, bu parametrelerin ve kinetik – stokiometrik katsayıların karbon giderim verimi üzerindeki etkilerinin belirlenmesidir.

Bu inceleme sırasında biyolojik arıtılabilirliğin temel esasları çerçevesinde arıtılabilirliğe etki eden faktörler belirlenmiş ve biyolojik arıtılabilirlik modelleri incelenmiştir.

Matematik model ve deneysel gözlemler değerlendirilmiş ve bu bilgiler ışığında çözünmüş inert ürün fraksiyonu (α veya β) formüle edilmiştir. Çözünmüş inert substrat belirlenmesi ile ilgili olarak önerilen kavramlar incelenmiştir. Yapılan benzeşim çalışmasında çözünmüş inert substrat tayininde dönüşüm oranından kaynaklanan bir hatanın yapıldığı sonucuna varılarak bu hatanın giderilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Atıksuyun içerdiği partiküler inert substrat tayini için geliştirilen üç ayrı yöntem incelenmiştir. Canlılık kavramı ile ilgili esaslar gözden geçirilerek tayin yöntemlerine yer verilmiştir.

Kağıt endüstrisi için yapılmış olan deneysel gözlemler ile elde edilen kinetik sabitler kullanılarak yapılan benzeşim sonuçları ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Task Grup kinetik sabitleri kullanılarak, kinetik sabitlerin karbon giderim verimi üzerindeki etkisi incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Çözünmüş inert substrat konsantrasyonunun ve kinetik sabitlerin değişiminin karbon giderim verimi üzerindeki etkisi incelenmiş ve yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Bölüm 6'da özetlenmiştir.



BÖLÜM II

BİYOLOJİK ARITABİLİRLİĞİN TEMEL ESASLARI VE GELİŞİMİ

2.1 TEORİK VE DENEYSEL YAKLAŞIM

Atıksularda bulunan çözünmüş ve kolloidal organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından CO_2 ve askıda biyokitleye dönüşmesini sağlayan biyolojik süreçlere aktif çamur süreçleri denir.

Aktif çamur süreçleri bugün de çeşitli tip ve modifikasyonları ile atıksu arıtımında önemini korumaktadır. Aktif çamur sistemlerinin tasarımı tüm mühendislik yapılarında olduğu gibi model kullanımını gerektirir. Aktif çamur prosesi konusunda teorik bilgilerin giderek artması ile matematik modellerin kullanımı ampirik tasarım parametrelerine göre daha pratik olmaktadır. Belirli bir atıksu arıtımında uygun aktif çamur sisteminin tasarımı veya tasarım alternatiflerinin çeşitli işletme koşullarındaki davranışlarının incelenmesi matematik modeller yardımı ile gerçekleştirilir.

Laboratuvarda, laboratuvar ölçekli reaktörler veya kurulan pilot tesisler yardımı ile atıksu karakteri belirlenebilir. Bu çalışmalar kurulacak olan aktif çamur tesis işletmesi ve dizaynında kolaylık sağlamaktadır. Ancak fiziksel modellerde sisteme verilen organik maddelerin tamamen ayışabilir olduğu kabul edilmekte ve buna bağlı olarak işletme parametreleri bulunmaktadır. Bu çalışmalar uzun zaman ve para kısıtlamaları getirmektedir. Matematik modeller çözümün hızlı ve ucuz bir tarzda değerlendirilmesi açısından fiziksel modellere üstünlük sağlamaktadır.

2.2 ARITABİLİRLİĞE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Artan (1987) yapmış olduğu çalışmalarda arıtılabilirliğe etki eden faktörleri IAWPRC Çalışma Gurubundan farklı olarak açıklamıştır. Aktif çamur tesisinin çıkışından çözünmüş KOI değerinin, ayrışabilir ve inert organik maddelerden meydana geldiğini belirtmiştir. Çözünmüş inert organik maddeler, atıksu içindeki çözünmüş inert (S_I) ile çözünmüş inert ürünlerin (S_P) toplamıdır. Arıtma tesisi çıkışındaki çözünmüş ayrışabilir organik madde, atıksudaki ayrışabilir çözünmüş maddeden (S_S) ve üretilen çözünmüş organik maddeden (S_P) kalandır.

Atıksuyun içinde bir miktar aktif biyokitle (X_A) ve inert biyokitle (X_I) bulunabilir. Aktif biyokitlenin sistem verimi üzerinde etkisi olduğu söylenmektedir (Henze, 1986). Fakat bu olayın ne derece doğru olduğu bilinmemektedir. Aktif çamur tesisinin çıkışındaki inert partiküler madde ise girişteki inert partiküler madde (X_I) ve üretilen inert partiküler madde (X_P)'nin toplamından oluşmaktadır.

2.3 BİYOLOJİK ARITILABİLİRLİK MODELİ

Aktif çamur prosesleri, atıksu arıtımında 1900'lü yılların başlarında kullanılmaya başlanmış ve 1950'lerde başlayan prosesin anlaşılmasını sağlayan bilimsel çalışmalar ise prosesin temellerini oluşturmuştur.

Aktif çamur sistemlerinde mikroorganizmalar tarafından substratın giderim mekanizması genellikle, ardaşık üç karmaşık süreç olarak tanımlanabilir. Hücrenin substrat molekülü ile karşılaşması; molekülün hücre içine taşınması; hücre içinde substratın dönüştürülmesi. Kolaylıkla hücre içine taşınamayacak kadar büyük moleküllerin öncelikle hücre dışı enzimler tarafından parçalanmaları gerekir. Aktif çamur sistemlerinde bu genel mekanizma çerçevesinde çok çeşitli substratları iki esas grupta toplamak mümkündür.

1- Doğrudan hücre içine taşınabilen substratlar,

2- Hücre içine taşınmadan önce enzim mekanizması ile hücre içine taşınabilen substratlara dönüştürülmesi gereken kompleks substratlar.

Ekama ve Marais (1984) bir basitleştirme ile birinci gruptakileri çözünmüş substratlar, ikinci gruptakileri partiküler substrat olarak ele almıştır.

Aktif çamur sistemlerinde çözünmüş substratlar tek bir organik bileşikten oluşabileceği gibi, bu tür maddelerin bileşiminden meydana gelen çok bileşenli sistemlerde olabilir. Tek ve çok bileşenli substratların giderimi konusunda farklı kinetik ifadeler verilmiştir.

2. 3. 1. Tek Substratın Giderim Kinetiği

Tek ve basit bir organik bileşiğin gideriminin çoğalma ile birlikte meydana geldiği düşünülürse substrat giderim hızı,

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y} \frac{dX}{dt} \quad (2.1)$$

şeklinde çoğalma hızı ile orantılı olarak verilir. Bu ifadedeki orantı sabiti Y, giderilen birim substrat başına üretilen biyokitle olarak tanımlanan dönüşüm oranıdır. Çoğalma hızı, Monod denklemi ile ifade edildiği zaman

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{\mu}{Y} \frac{S}{K_s + S} X \quad (2.2)$$

şeklinde, substrat giderim hızı, substrat ve mikroorganizma konsantrasyonunun fonksiyonu olarak elde edilir.

Wuhrmann (1969), tek substratların sabit bir hızla lineer olarak giderildiğini öne sürmüştür. Chudoba (1969), ise tek ve basit substratlarla yapmış olduğu deneylerde, lineer substrat giderim hızının başlangıçtaki mikroorganizma konsantrasyonuna bağlı olduğunu belirtmiştir.

$$-\frac{dS}{dt} = KX_0 \quad (2.3)$$

Chudoba (1985) daha sonraki çalışmalarında, başlangıçtaki substrat konsantrasyonunun biyokitle konsantrasyonuna oranı $S_0 / X_0 < 2-3$ (KOI/AKM) olan kesikli sistemleri çoğalmayan sistemler olarak tanımlamıştır. Bu sistemlerdeki substratın hücre replikasyonu öncesinde giderildiğini ifade etmiştir ve tek bileşenli substratların sabit bir hızla lineer olarak giderildiğini, biyokitle artış hızının da sabit olduğunu ileri sürmüştür. Fakat Chudoba çalışmalarında biyokitle artışının çoğunlukla depolanmış polimerlerle ilişkili olduğunu da ifade etmiştir.

Grau ve diğerleri (1975) sıfırıncı derece kinetik ifadenin belirli koşullarda Monod ifadesinden türetilebileceğini belirtmiştir. Lineer substrat gideriminin gözlemlendiği koşullarda ($S_0 / X_0 < 2$) biyokitle konsantrasyonunun zamanla değişmediği kabul edilerek 2.2 denkleminin integrasyonu yapılmış;

$$K_s \ln \left(\frac{S_0}{S} \right) + (S_0 - S) = \frac{\mu X_0}{Y} t \quad (2.4)$$

ifadesi elde edilmiştir. K_s değeri tek substratlar için çok küçük olduğu için ihmal edilmiş ve;

$$\frac{S_0 - S}{t} = \frac{\mu X_0}{Y} \quad (2.5)$$

ifadesi ile birim zamanda harcanan substrat miktarının sabit olduğunu gösteren sıfırıncı derece kinetiği elde edilmiştir.

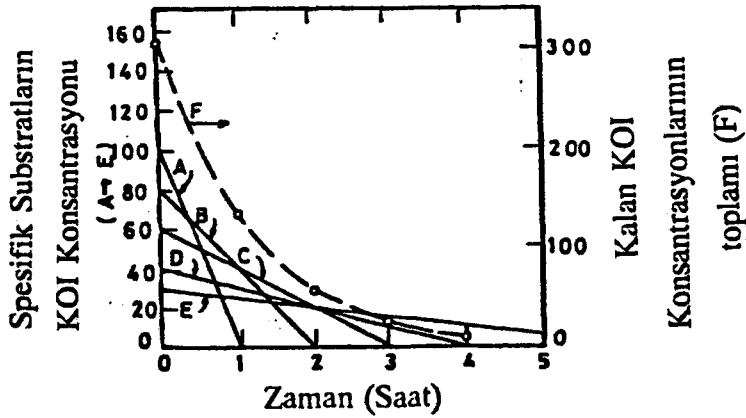
2.3.2 Çoklu Substrat Giderim Kinetiği

Tek substrat için elde edilen kinetik ifadelerin çok bileşenli substratlara uygulanabilirliği çeşitli araştırmacılar tarafından irdelenmiş ve substrat karışımından herbir bileşenin aynı anda çözeltiden giderilerek hücre içine taşındığı ileri

sürülmüştür. Fakat karışımındaki bir substratın giderim hızının diğer substratların varlığının neden olduğu enzimatik ilişkiler dolayısıyla önemli ölçüde etkilenebileceği ileri sürülmüştür.

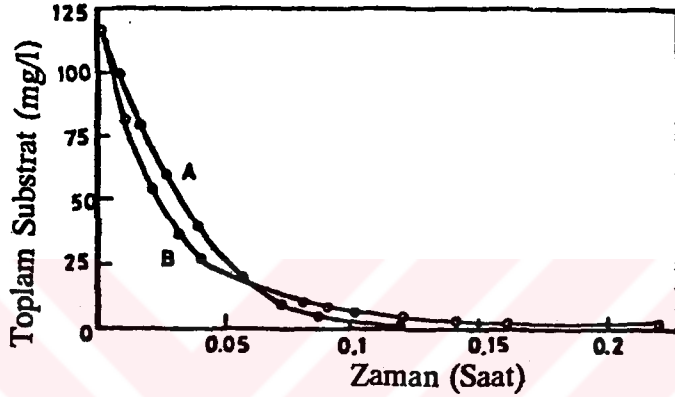
Çoklu substrat giderim mekanizmasında bazı substratlar tercihli olarak kullanılmakla kalmayıp bu substratlar önemli ölçüde ortamdan giderilinceye kadar diğer bileşiklere aklımasyonu da önler. Bunun sonucu olarak substratlar ortamdan sırasıyla giderilirler. Ghosh ve Pohland (1972) glüköz - galaktoz karışımı kullanarak çoklu substrat giderim kinetiğini incelemiş ve aktif çamur sistemlerinin çıkış KOI'sinin tek tek substratların çıkış KOI'lerinin toplamı şeklinde hesaplanamayacağı sonucunu çıkarmışlardır.

Tischler ve Echenfelder (1969) çok çeşitli mikroorganizma kültürüne sahip biyolojik arıtma sistemlerinde sırayla substrat gideriminin önemli olmadığını öne sürmüşlerdir. Tek substrat giderim mekanizmasının lineer olduğu ileri sürülürken kompleks organik atıkların biyolojik olarak arıtımında arıtma kinetiğinin sıfırıncı dereceden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Lineer olarak giderilen basit organik maddelerin karışımının bu maddelere aklime edilmiş mikroorganizmalar tarafından toplam giderimi her bir substratın gideriminin toplamıdır. Çok bileşenli atıkların biyolojik arıtımında gözlenen birinci derece kinetiği Şekil 2.1'deki gibi açıklanmaktadır.



Şekil 2.1 Çoklu Sıfırıncı Derece Giderim Kavramının Grafik Açıklaması

Jones (1973) tek substrat giderim kinetiğinin Monod eşitliğine uyduğu kabulü ile çok bileşenli substrat giderim mekanizmasını incelemiştir. Jones rastgele seçilmiş olan ve kinetik sabitleri bilen (μ , K_s) 10 adet substrat-bakteri sisteminin zaman-konsantrasyon eğrileri 2.2 denklemi integrasyonu ile kesikli bir sistem için substrat-zaman değişimi şekil 2.2 de görüldüğü gibi B eğrisi ile çizilmiştir. Karışımdaki substrat ve mikroorganizmanın toplanabilir olduğu kabulü ile elde edilen B eğrisi tek substrat-mikroorganizma sistemi için elde edilen A eğrisinden farklılık göstermiştir.



Şekil 2.2 On Bileşenli Bir Substratın Zamanla Değişimi

Jones (B) eğrisinin Monod ve birinci derece kinetiğine uymadığını görmüştür. Çoklu substrat giderim sistemlerinde birinci derece kinetiğinin daha iyi bir yaklaşım olduğunu ve Monod kinetiğinin doğru olmadığı sonucunu çıkarmıştır. Bu çalışma çoklu substrat gideriminde tek bir kinetik ifadenin yeterli olmadığını göstermiştir. Çok bileşenli substratların gideriminde Monod kinetiğinin kullanılması ve ortalama kinetik sabitler verebilmek ancak giderim hızları birbirine yakın substrat grupları için geçerli olabilir.

Dold ve arkadaşları (1980) tarafından karbonlu organik maddelerin ayrışması için geliştirilen madde, iki ayrı KOI fraksiyonunun yeni hücre sentezinde kullanıldığını kabul etmiştir. Herbir grup içinde substrat kullanım hızı merteye olarak birbirinden çok farklı olmamasına rağmen iki grup arasında substrat giderim hızları birbirinden farklıdır. Dold ve arkadaşları birinci gruptaki substratları kolay ayrışabilen çözünmüş substrat olarak tanımlamışlardır. Bu grup Monod ifadesi ile modellenmiştir. Bu reaksiyon çok hızlıdır.

$$-\frac{dS_s}{dt} = \frac{1}{Y} \frac{\mu S_s}{K_s + S_s} X_A \quad (2.6)$$

Yukarıdaki eşitlikte S_s çözeltideki kolay ayrışabilen substrat konsantrasyonunun ifadesidir.

İkinci grup ise, kompleks organik yapıların katı kolloidal ve çözünmüş organik parçacıklarının karışımından meydana gelen, yavaş ayrışan partiküler substratlardır. Bu grup substratın en belirgin özelliği hücre duvarından geçememeleridir. Bu maddeler absorblanmadan önce hücre dışında hidroliz olmalıdır.

Dold, Ekama, Marais (1980) partiküler substratın metabolize edilmesini;

- 1- Adsorbsiyon ve depolama,
- 2- Kompleks organik maddelerin hücre duvarından geçecek kadar küçük moleküllere enzimatik olarak parçalanması,
- 3- Adsorbsiyon ve sentez,

olaylarının gerçekleşmesi şeklinde sıralamıştır. Giriş akımında bulunan ve çamur fazına geçen ayrışabilir partiküler maddeler S_{bp} olarak tanımlanmıştır. Depolanmış olan substrat (X_s) vermek üzere heterotrofik mikroorganizmalar tarafından (X_A) adsorblanır.

$$\frac{dS_p}{dt} = -K_A S_{bp} X_A \left(1 - \frac{X_s}{X_A}\right) \quad (2.7)$$

Dold ve diğerleri depolama hızını yukarıdaki şekilde ifade etmiştir ve depolanmış substratın sentez için kullanım hızının, aktif mikroorganizmanın çoğalma hızı ile depolanmış substrat arasında Monod tipi bir ilişki kurularak aşağıdaki şekilde ifade edileceğini belirtmiştir.

$$\frac{dX_s}{dt} = -\frac{K_{mp} X_s}{K_{sp} + X_s} X_A \quad (2.8)$$

K_{mp} : Maksimum spesifik depolanmış substrat kullanım hızı

(mg KOI/mg UAKM/gün)

K_{sp} : Yarı doygunluk sabiti (mg KOI/mg UAKM)

Bu sabitler sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. 20 °C sıcaklık için

$K_{mp}=3.0$ mgKOI/mgUAKM/gün,

$K_{sp}=0.04$ mg KOI/mgUAKM olarak verilmiştir.

Partiküler maddenin gideriminde toplam reaksiyon hızı yavaştır. Bunun nedeni depolanmış partiküler maddenin hücre dışında enzimatik olarak, hücre içine taşınabilecek küçük moleküllere ayrılmasıdır. Mikroorganizma yüzeyindeki hücre dışı enzimler aracılığı ile depolanmış substrat yüzeyde hidroliz olur. Çözünmüş substrat ise hücre içinde absorblanır. Yavaş ayrılan substratın gideriminde hidroliz-absorblanma-sentez tek bir süreç olarak ele alınmaktadır. Partiküler substrat giderim hızının formülasyonunda Levenspiel'in yüzey reaksiyonu kinetiğinden yararlanarak hacimsel konsantrasyon yerine yüzeyde adsorblanmış substrat konsantrasyonu kullanılmıştır. Aktif biyokitlenin birim yüzeyde toplanmış substrat konsantrasyonuna oranı (X_S/X_A) ile ifade edilerek partiküler kullanım hızı aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

$$\frac{dX_S}{dt} = - \frac{K_{mp} X_S / X_A}{K_{sp} + X_S / X_A} X_A \quad (2.9)$$

Yapılan birçok model çalışmalarında sadece substrat giderim kinetiği üzerinde durulmuştur ve sistemde oluşan biyokitlenin % 100 canlı olduğu kabul edilmiştir. Ancak daha sonra yapılan çalışmalarda canlılık kaybının açıklanması ve inert biyokitle oluşumu kavramı modellere geniş bir açıklık getirmiştir. Aktif çamur sistemlerinde bakım enerjisi gereksinimi, protozoaların bakteriler üzerinde çoğalması, hücre erimesi, biyokitle kaybına yol açmaktadır ve bütün bu süreçlerin sabit bir terim vasıtasıyla ifade edilmesi uygun görülmektedir. Bu modellerde biyokitlenin, genellikle birinci dereceden bir ifade ile sabit bir katsayı ile azaldığı ve içsel solunum ile oksijen tüketim hızının biyokitle azalma hızının oksijen eşdeğeri kadar olduğu varsayılır (Jenkins ve Orhon 1972, Marais ve Ekama 1976).

Grady ve Roper (1974) aktif çamur sistemlerinde biyokitle ve canlılık kaybını doğal ölüm kavramı ile ölü hücrelerin "decay" ile yokolmasını birleştirerek açıklamıştır. Dold (1980) geliştirdiği modelinde biyokitle kaybını, klasik içsel solunum kavramı yerine ölüm-yenilenme kavramı ile açıklamıştır. Bu yaklaşımlar Bölüm 3.5'te ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

2.3.3 IAWPRC Çalışma Grubu Modeli

Biyolojik atıksu arıtımının tasarlanması ve işletilmesi konusunda, IAWPRC tarafından hazırlanan matematik model karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon proseslerini içeren kapsamlı bir aktif çamur modelidir. Aktif çamur sistemlerinde çok sayıda bileşen ve bu bileşenler arasındaki çok sayıda reaksiyonun hesaplanması gerekmektedir. IAWPRC Çalışma Grubu sistem içinde meydana gelen en önemli süreçleri kapsamasını amaçlamış ve bu süreçlerin sistem bileşenleri üzerinde etkisini belirlemiştir. Modelin geliştirilmesi sırasında belirlenen temel süreçler için uygun kinetik ve stokiometrik ifadeler seçilmiştir.

Modelin sunulmasında matris formatı kullanılması model bileşenleri arasındaki karşılıklı ilişkilerin görülmesini kolaylaştırmıştır. Model bileşenlerinin tanımlanması ve tablonun üst kısmında sembol olarak ve alt kısımda da adı ve birimi ile verilmesiyle model kurulmuştur. Tablo 2.1 IAWPRC tarafından önerilen isimlendirmeye göre (Grau ve diğerleri, 1982) çözünmüş bileşenleri S esas sembolü ile ve çözünmeyen bileşenleri X ile göstermiştir. Bir bileşenin tanımlanmasında da alt semboller kullanılmıştır. Substratın S, heterotrofik biyokitlenin X_H ile gösterimi gibi. Matrisin kurulmasında ikinci adım olarak sistemde meydana gelen biyolojik süreçler tanımlanarak matrisin sol tarafında yer almıştır. Böylece i bileşen sayısını, j ise süreçlerin sayısını vermek üzere (i,j) boyutunda bir matris elde edilmiştir.

Stokiometrik katsayıları basitleştirmek için organik bileşenler KOI eşdeğeri olarak verilmiştir. Buna göre matris içinde tüketim için (-), üretim için (+) sembolü kullanılmıştır.

Matris şeklinde gösterimin bir avantajı da çok sayıda süreçten etkilenen bir bileşenin kütle dengesinin kolaylıkla yazılmasıdır. Tanımlanmış herhangi bir sistem içinde kütle dengesi için temel eşitlik;

$$\text{Girdi} + \text{Çıktı} + \text{Reaksiyon} = \text{Birikim}$$

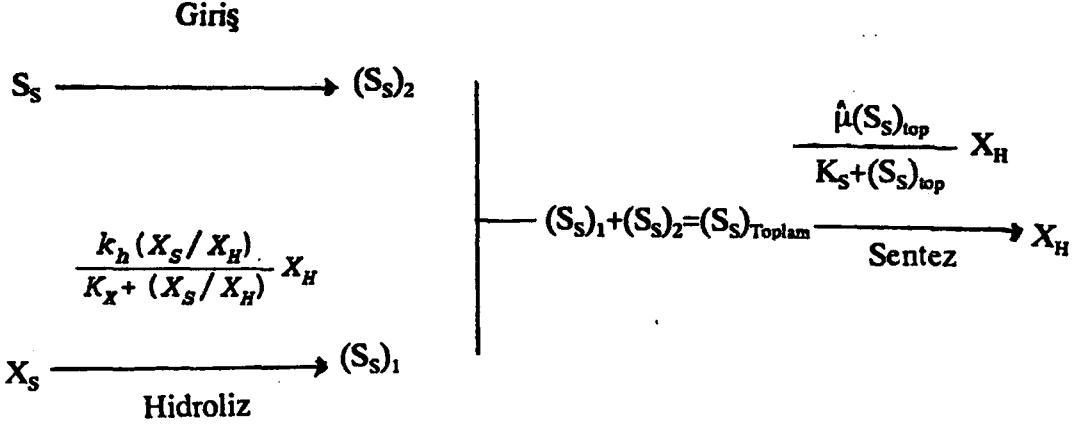
şeklindedir.

Çalışma Grubu modelinin diğer modellerden farkı, partiküler maddenin tamamen çamur fazında tutulduğu ve metabolize edilmese bile çökeltme tankı üst akımında bulunmayacağı kabulüdür.

Ancak bu grup partiküler substratın organizma kütlesi üzerinde absorblandığı ve depolanmış substratın doğrudan kullanıldığı görüşünü reddetmektedir. Bunun yerine, çamurda tutulan partiküler substratın, mikroorganizma kütlesi tarafından salgılanan hücre dışı enzimlerle hidroliz edilerek, kolay ayrışan substrat halinde sıvı kütlesi içine salıverildiği kabulüdür. Hidroliz sonucunda ortaya çıkan kolay ayrışan substrat, giriş akımından gelenle birlikte denklem 2.6 ya göre sentez için kullanılmaktadır.

Tablo 2.1 LAWPRC Çalışma Grubu Modelinin Reaksiyon Matrisi
(Henze ve diğ.,1986)

	Bileşen	→	i	1	2	3	4	5	Süreç Hızı ρ_j
j	Süreç	↓		S_s	X_s	X_H	X_p	S_0	
1	Aerobik Heterotrofik Çoğalma		$-1/Y_H$			1		$-(1-Y)/Y$	$\mu \left(\frac{S_s}{K_s + S_s} \right) \left(\frac{S_0}{K_0 + S_0} \right) X_H$
2	Heterotrofların Bozunması				$(1-f_E)$	-1	f_E		$b_{H1} * X_H$
3	Tutulan Organik Maddenin Hidrolizi		1		-1				$K_h \left(\frac{X_s/X_H}{K_x + X_s/X_H} \right) \left(\frac{S_0}{K_0 + S_0} \right) X_H$
Gözlenen reaksiyon hızı $r_i = \sum_j v_{ij} \rho_j$									
Stokiyometrik Parametreler				Biyolojik olarak kolay ayrışabilir substrat $M(KOI)L^{-3}$	Biyolojik olarak yavaş ayrışabilir substrat $M(KOI)L^{-3}$	Aktif heterotrofik biyokitle $M(KOI)L^{-3}$	Pariküller inert ürün $M(KOI)L^{-3}$	Oksijen (Negatif KOI) $M(KOI)L^{-3}$	Kinetik Parametreler: Heterotrofik Çoğalma $\hat{\mu}, K_s, K_0$ Heterotrofik Bozunma b_{H1} Hidroliz k_h, K_x
Y									
f_E									

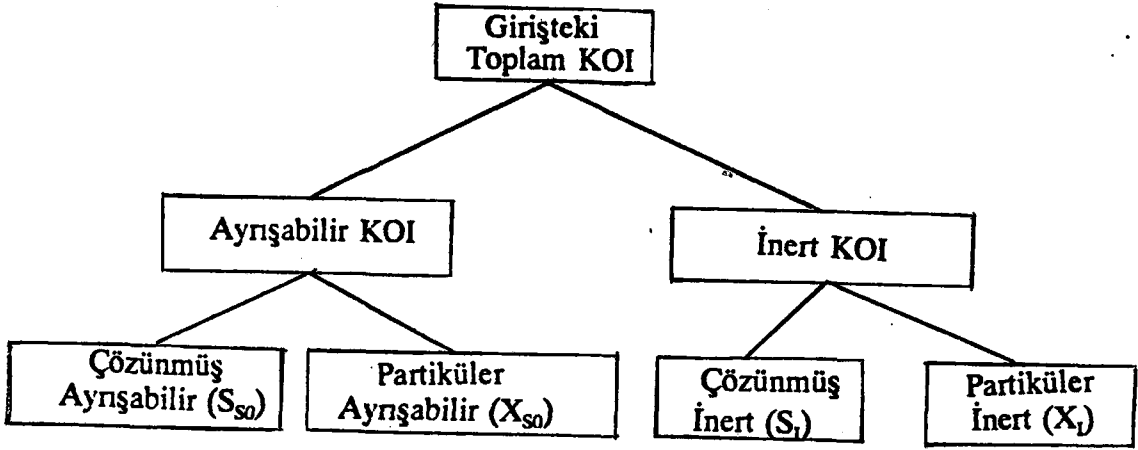


Çalışma Grubu modelinde, yavaş ayrışan substrat hidroliz yolu ile çözünürleştikten sonra giriş akımından gelen kolay ayrışan (çözünmüş) substratla birlikte ve aynı hızla çoğalmada kullanılmaktadır. Aktif heterotrofik biyokitlenin çoğalması başlangıçtaki ve hidroliz yolu ile oluşan kolay ayrışan substratların toplamı üzerinde olmaktadır. Hidroliz kavramı aktif çamur sistemlerinde yavaş kolay ayrışabilir substrat üretimi kavramını oluşturmaktadır. Fakat bu artış hidroliz hız kısıtlayıcı olduğu için düşük seviyededir.

2.3.4 Artan-Cimşit Modeli

Artan (1987) karbon oksidasyonu gerçekleştirmek üzere çalıştırılan aktif çamur sistemleri için çözünmüş inert organik madde üretimini de içeren bir matematik model geliştirmiştir.

Bu modele göre bir atıksu içindeki organik maddeler çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler. Biyolojik arıtma amacı düşünüldüğünde ayrışabilirlik sınıflandırmada önceliklidir. Organik maddeler, atıksu içinde fiziksel durumlarına göre çözünmüş ve askıda organik madde olarak sınıflandırılabilir. Aktif çamur tesisine girişteki organik maddeler şekil 2.3 de gösterilmiştir (Ekama ve diğerleri 1986; Artan 1987).



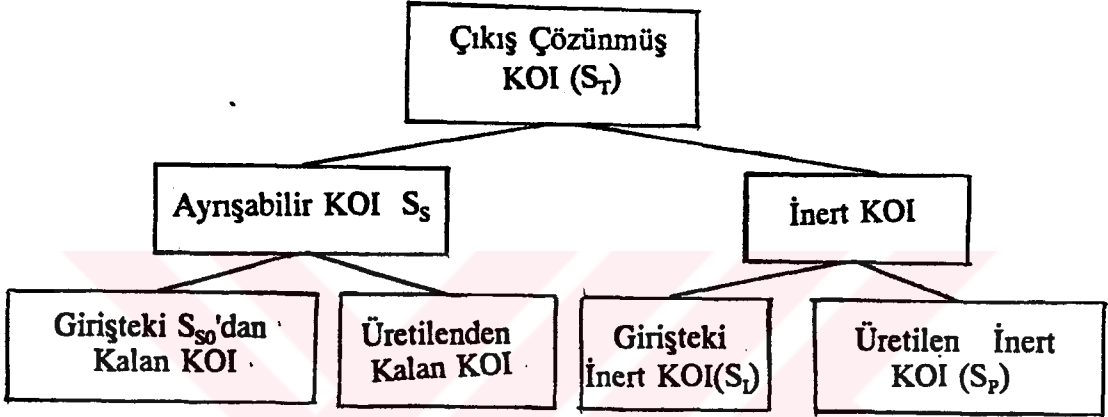
Şekil 2.3 Bir Atıksudaki Toplam KOI'nin Fraksiyonları

Bir aktif çamur sisteminde ayrışamayan organik maddeler biyolojik olarak inerttir ve hiçbir değişikliğe uğramadan sistemi terk ederler. İnert çözünmüş organik madde (S_i), sisteme girdiği konsantrasyonda çıkar inert askıda organik madde (X_i) çamur fazına geçtiği için sistemden sadece çamur atılması yoluyla çıkar. Aktif çamur debisi daima sistemin debisinden küçük olduğu için kütle dengesi sistemdeki X_i konsantrasyonunun giriştekenden büyük olmasını gerektirir.

Ayrışabilir organik maddeler, kolay ayrışabilir ve yavaş ayrışabilir organik maddeler olarak ikiye ayrılmaktadır. Modelde kolay ayrışabilir organik maddelerin çözünmüş halde olduğu (S_s), yavaş ayrışan organik maddelerin (X_s) ise partiküler olduğu kabul edilmektedir. Çözünmüş ayrışabilir organik maddeler, heterotrofik bakteriler tarafından doğrudan alınabilir ve yeni biyokitlenin çoğalmasında kullanılır. Partiküler ayrışabilir organik maddelerin ise biyokitle tarafından kullanılabilmesi için daha önce hücre dışında çözünürleştirilerek kolay ayrışan organik maddeye dönüştürülmesi gerekmektedir.

Bir aktif çamur tesisinin çıkışındaki çözünmüş KOI, inert ve ayrışabilir organik maddelerden meydana gelmektedir. Çözünmüş inert organik maddeler, atıksu

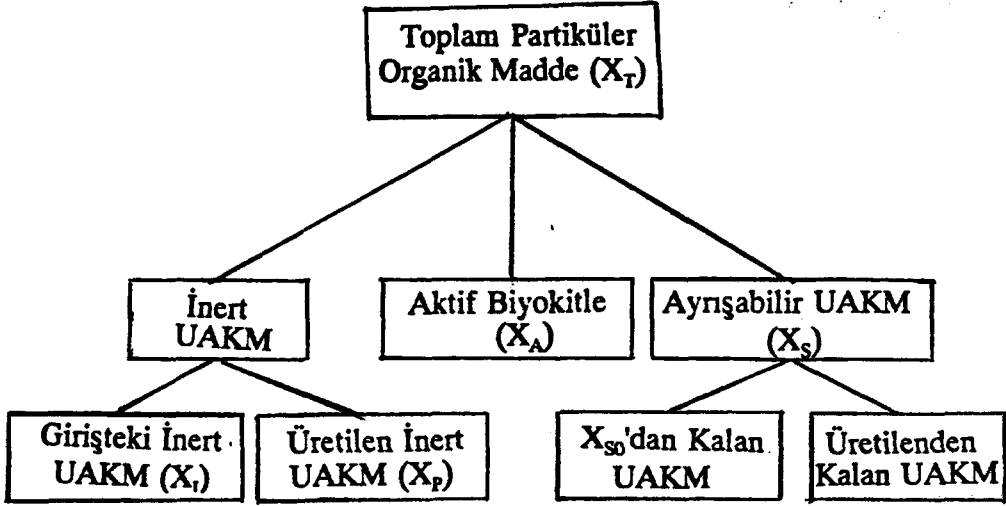
içindeki çözünmüş inert organikler (S_I) ve çözünmüş inert ürünlerin (S_P) toplamından oluşmaktadır. Bir arıtma tesisinin çıkışındaki çözünmüş ayrışabilir organik madde, atıksudaki ayrışabilir çözünmüş organik maddeden ve üretilen çözünmüş ayrışabilir organik maddelerden kalanlardır. Ayrışabilir partiküler organik maddelerin hücre dışında çözünürleştirilmesi (hidroliz) sonucu kolay ayrışabilir organik maddeler üretilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Bir Arıtma Tesisi Çıkışındaki Çözünmüş KOI'nin Fraksiyonları

Çoğalma için yeterli miktarda besi maddesinin ortamda bulunduğu varsayılmıştır. Yeterli oksijenin sağlandığı ve bütün reaktörde aerobik koşulların sürekli olduğu düşünülmüştür. Dolayısıyla, biyokitle oksijen kullanan heterotrofik organizmalardan oluşmaktadır. Heterotrofik biyokitle, kolay ayrışan substrat üzerinde çoğalarak üretilmiştir. Biyokitlenin aktivitesini kaybetmesi sonucu yavaş ayrışan substrat (X_S) ve inert partiküler ürünler (X_P) oluşmaktadır (Şekil 2.5).

Modelde S sembolü ile tanımlanan dört çözünmüş bileşen (S_S , S_I , S_P , S_{SO}) ile X sembolü ile tanımlanan dört partiküler bileşen (X_A , X_S , X_P , X_I) dikkate alınmıştır. Yavaş ayrışan organik maddenin (X_S) çamur fazına geçerek giderildiği varsayılmaktadır. Bunun sonucunda bioflok içinde tutulan organik maddenin sadece hidroliz yolu ile kolay ayrışan organik maddeye dönüşen kısmı oksijen tüketimine katkıda bulunmaktadır.



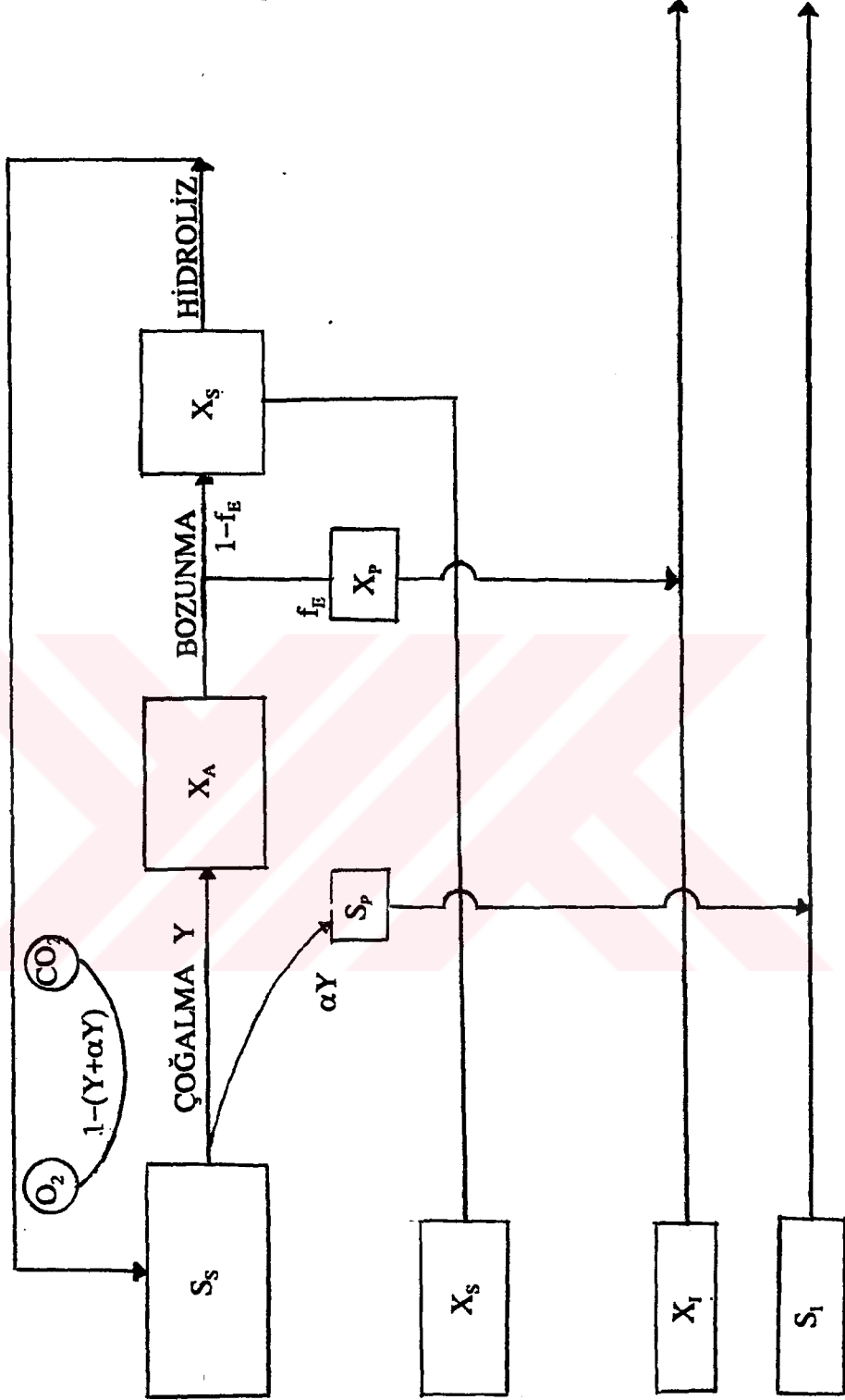
Şekil 2.5 Aktif Çamur Sisteminde Uçucu Askıda Katı Maddelerin Fraksiyonları

Artan modelinde çıkış çözünmüş KOİ konsantrasyonunun daha doğrusu hesaplanabilmesi için Çalışma Grubu modelinde iki değişiklik yapmıştır. Çözünmüş substratın ayrışmayan ya da çok yavaş ayrıştığı için verilen bekletme süreleri için pratik olarak ayrışmıyor kabul edilebilecek bir kısmı (S_i) dışında kalan kısmının tamamı kolay ayrışan substrat (S_s) olarak kabul edilmiştir. İkinci önemli değişiklik reaktörde meydana gelen süreçlerin bir yan ürünü olarak çözünmüş inert organik madde (S_p) üretiminin modele dahil edilmesidir.

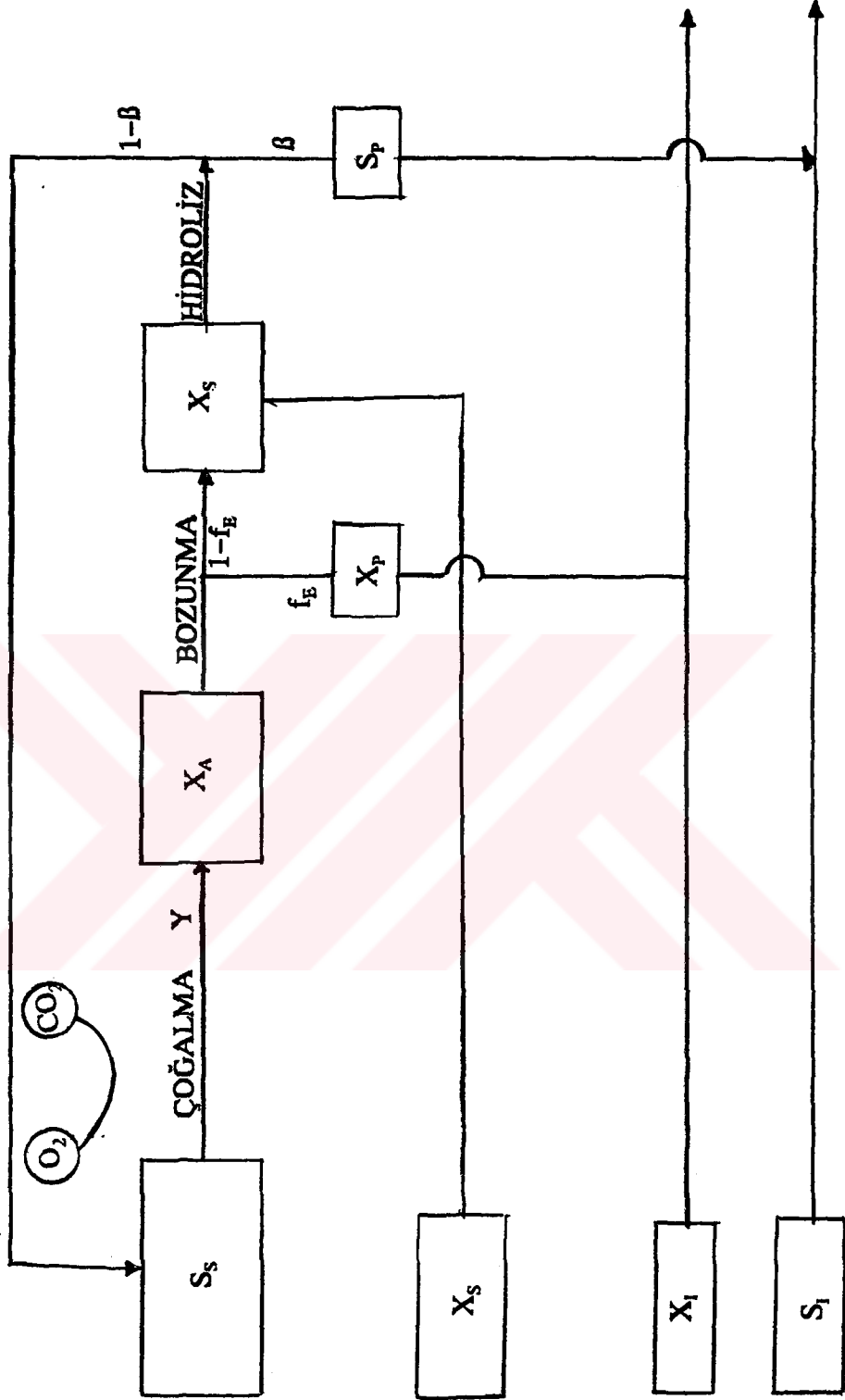
Aktif çamur sistemlerinde çok çeşitli çözünmüş organik maddeler farklı süreçler sonunda mikroorganizmalar tarafından üretilmektedir. Bu bileşenlerin ayrışabilirliği aktif çamur verimi açısından önemlidir. Aktif biyokitleden hücre dışına salgılanan metabolik ara ürünler ayrışabilir niteliktedir. Bu ürünlerin dışında çoğalma ile doğrudan ilişkili olan ürünler aktif biyokitlenin aktivitesini kaybetmesi ve hidroliz ile oluşan, sıvı fazına geçen çözünmüş organik maddelerdir. Bu çözünmüş organik maddelerin büyük bir kısmı ayrışabilir niteliktedir ve aktif

biyokitle tarafından yeni biyokitle sentezinde kullanılır. Aktif çamur kültüründe oluşan ürünlerin çoğalma ile mi yoksa aynı anda gerçekleşen diğer süreçlerle mi ilişkili olduğu ayırt edilemez. Çözünmüş inert ürünlerin kimyasal analizi bu ürünlerin hücrenin kompleks yapılarının bileşenleri olduğunu göstermiştir. Kompleks ürünlerin çoğalma ile ilişkili olarak üretilen ürün tipinde olmadığı bilinmektedir. Bunun için çözünmüş inert ürün oluşumunun hidroliz sürecine bağlanması daha doğru olur. Aktif çamur sisteminde substrat kaynağı tükendiğinde aktivite, içsel mekanizma ile değil hidroliz ile üretilen çözünmüş substrat üzerinde çoğalma ile devam eder. Çoğalma ile ilişkili olarak inert ürün oluştuğu varsayılırsa üretim, hidrolize bağlı inert ürün oluşumunda olduğu gibi aktivite sınırlanmaya kadar sürekli olmaktadır. Çözünmüş inert ürün oluşumunun modellenmesinde hangi yaklaşımın (çoğalmaya bağlı veya hidrolize bağlı) daha gerçekçi sonuçlar üreteceğinin anlaşılabilmesi için her iki alternatifte gözönüne alınmıştır. (Artan, 1987) Çözünmüş inert ürün oluşumu modelinin şematik gösterimi Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de verilmiştir.

Model bileşenleri arasındaki ilişkilerin daha iyi görülebilmesi ve reaksiyon ifadelerinin çıkarılması için model bileşenleri, model süreçleri matris formunda Tablo 2.2'de gösterilmiştir. Tablonun 1. ve 2. kolunda yer alan inert çözünmüş ve partiküler organik maddeler proses verimi açısından önemli olduklarından dolayı matriste yer almalarına rağmen dönüşüm sürecinde yer almadıkları için bu kolonlarda stokiometrik katsayılar bulunmamaktadır. Tablo incelendiğinde çözünmüş ayrışabilir organik maddenin heterotrofik mikroorganizma çoğalması ile giderilmekte ve partiküler ayrışabilir organik maddenin bioflok içinde tutulması ve hidrolizi sonucu artmaktadır. Dördüncü kolonda yer alan çözünmüş inert ürünlerin iki ayrı şekilde oluştuğu düşünülmüştür. Çoğalma süreci durumunda aktif biyokitlede meydana gelen artışın sabit bir fonksiyonu (α) kadar çözünmüş inert ürün oluştuğu veya ikinci durumda ise hidroliz olan partiküler ayrışabilir substratın bir kısmının (β) inert olduğu kabul edilmiştir. Sistemde aktif biyokitle aerobik çoğalma ile oluşmakta ve bozunma ile yokolmaktadır. X_s ise aktif biyokitlenin aktivitesini kaybetmesi sonucu oluşmakta ve hidroliz ile azalmaktadır. Sistemdeki inert partiküler ürünler aktif biyokitlenin aktivitesini kaybetmesi sonucu oluşmakta ve inert olduğu için giderilememektedir.



Şekil 2.6 Çözünmüş İnert Ürün Oluşumu Modelinin (α) Katsayısı Kullanımı Halinde Şematik Gösterimi



Şekil 2.7 Çözünmüş İnert Ürün Oluşumu Modelinin (β) Katsayısı Kullanımı Halindeki Şematik Gösterimi

Tablo 2.2 Artan Modelinin Reaksiyon Matrisi (Artan, 1987)

	Bileşen	i	1	2	3	4	5	6	7	Süreç Hızı ρ_j
j	Süreç		S_i	X_i	S_s	S_p	X_A	X_s	X_p	
1	Aerobik Heterotrofik Çoğalma				$-1/Y$	α	1			$\frac{\mu S_s}{K_s + S_s} X_A$
2	Heterotrofların Bozunması						-1	$1-f_E$	f_E	$b_H X_A$
3	Tutulan Organik Maddenin Hidrolizi				$1-\beta$	β		-1		$k_h \frac{X_s/X_A}{K_x + X_s/X_A} X_A$
Gözlenen reaksiyon hızı			$r_i = \sum_j v_{ij} \rho_j$							
Stokiyometrik Parametreler Dönüşüm oranı: Y Partiküler İnert Ürün Fraksiyonu: f_E Çözünmüş inert Ürün Fraksiyonu (α veya β)			Çözünmüş İnert Organik Madde $M(KOI)L^{-3}$	Partiküler İnert Organik Madde $M(KOI)L^{-3}$	Biyolojik olarak kolay ayrışabilir substrat $M(KOI)L^{-3}$	Çözünmüş İnert Ürün $M(KOI)L^{-3}$	Aktif heterotrofik biyokitle $M(KOI)L^{-3}$	Biyolojik olarak yavaş ayrışabilir substrat $M(KOI)L^{-3}$	Partiküler inert ürün $M(KOI)L^{-3}$	Kinetik Parametreler Çoğalma: μ, K_s Bozunma: b_H Hidroliz: k_h, K_x

Modelde temel olarak üç süreç gözönüne alınmıştır (bi-substrat, ölüm-yenileme, hidroliz). Modellemede kolaylık açısından heterotrofik biyokitlenin çoğalması için tek substrat kaynağının çözünmüş ayrışabilir organik madde olduğu kabul edilmiştir. Partiküler ayrışabilir organik madde bioflok içinde tutularak süspansiyondan ayrılmakta ve hücre dışında enzimler vasıtasıyla çözünürleştirilerek kolay ayrışan substrata dönüştürülmektedir. Bu olaya modelde hidroliz denilmektedir. Modelde bozunma ise, aktif biyokitlenin inert partiküler ürünlere ve hidroliz, çoğalma ve bozunma çevirimine girecek olan partiküler substrata dönüşümü olarak kabul edilmektedir.

Bu model çalışmasında ilk süreç aerobik ortamda heterotrofik çoğalmadır. Bu süreçte çözünmüş substrat ve oksijen tüketilerek biyokitle oluşmaktadır. Süreç sonunda çözünmüş metabolik ürün oluşmadığı zaman çözünmüş substratın giderimi çoğalma ile doğru orantılıdır.

Aerobik ortamda heterotrofik çoğalma gözönüne alındığında yeterli oksijenin sürekli olarak sağlandığı düşüncesiyle, oksijenin hız kısıtlayıcı olmadığı düşünülmüştür. Bunun için çoğalma hızı üzerinde sadece substratın hız kısıtlayıcı olduğu varsayılmış ve modelde Monod kinetiği kullanılmıştır.

$$\rho_1 = \mu \frac{S_s}{K_s + S_s} X_A \quad (2.10)$$

Heterotrofik biyokitlenin bozunma süreci ölüm-yenileme yaklaşımına göre modellenmiştir. Hız ifadesi ise aktif biyokitleye göre birinci derecededir.

$$\rho_2 = b_H X_A \quad (2.11)$$

Modelde 3.süreç bioflok içinde tutunma yoluyla süspansiyondan ayrılan partiküler substrat ile bozunma sonucunda oluşan partiküler substratın hidrolizidir. Hidroliz sürecinin hızı, partiküler substratın yüzeysel konsantrasyonuna (X_s / X_A) göre doygunluk fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$\rho_3 = k_h \frac{X_s / X_A}{K_x + X_s / X_A} X_A \quad (2.12)$$

TASK Grubu modelinde olduğu gibi hidroliz ürünlerinin sıvı kütlesi içine geçtiği ve hidroliz ürünlerinin bir kısmının substrat olarak diğer kısmının ise çözünmüş inert ürün olarak kaldığı kabul edilmiştir.

Bir aktif çamur sistem sınırları içinde kütle dengesi için temel eşitlik yazılırsa;

Birikim=Girdi-Çıktı+Reaksiyon

şeklindedir. C_I konsantrasyonundaki bir bileşenin kütle dengesi ise,

$$\frac{dVC_I}{dt} = QC_{I0} - QC_I + VR_I \quad (2.13)$$

şeklinde yazılır.

Tam karışımlı kesikli bir reaktörde giren ve çıkan kütle olmadığı için süreklilik denklemine göre, bir (I) bileşenin zamanla değişim hızı, reaksiyon hızına eşit olur.

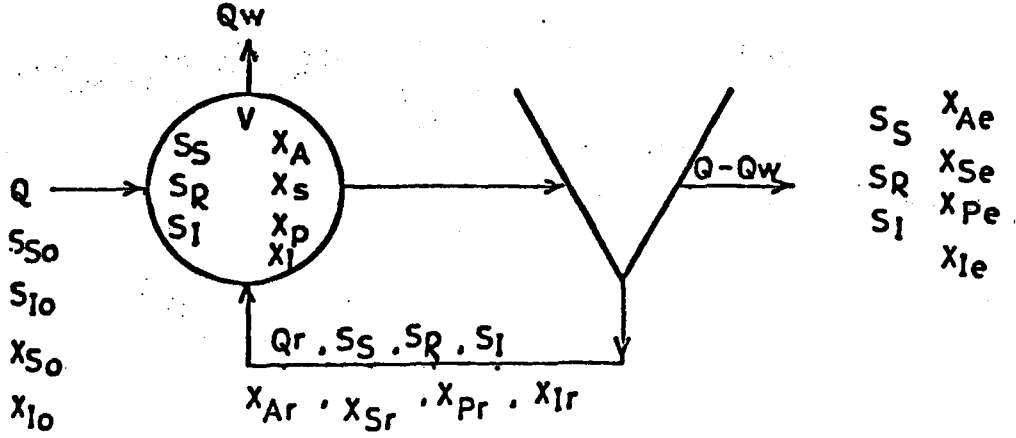
$$\frac{dVC_I}{dt} = VR_I \quad (2.14)$$

Hacim sabit olduğu zaman,

$$\frac{dC_I}{dt} = r_I$$

konsantrasyonun zamanla değişimi reaksiyon ifadesine eşit olur. Model bileşenlerinin, tam karışımlı kesikli bir reaktörde zamanla değişimi reaksiyon ifadeleri ile bulunur.

Tablo 2.2 yardımı ile modelde her bir bileşen için reaksiyon ifadesi kolaylıkla yazılabilir. Tabloda ele alınan bileşenin bir süreçteki stokiometrik katsayısı süreç hızı ile çarpılarak bileşenin o süreçteki değişimi elde edilir. Her süreçteki değişimlerin toplamı ise bileşenin reaksiyon ifadesini verir.



Şekil 2.8 Aktif Çamur Sisteminin Şematik Gösterimi

Şekil 2.8 de verilen geri devirli tam karışımli sürekli reaktörde model bileşenleri için kütle dengeleri kurularak süreklilik denklemleri elde edilmiştir.

$$V \frac{dS_S}{dt} = QS_{S0} - QS_S + Vr_{SS} \quad (2.15)$$

$$\frac{VdX_S}{dt} = QX_{S0} - Q_{WX_S} + Vr_{XS} \quad (2.16)$$

$$\frac{VdX_A}{dt} = -Q_{WX_A} + Vr_{XA} \quad (2.17)$$

$$\frac{VdX_P}{dt} = -Q_W X_P + Vr_{XP} \quad (2.18)$$

$$\frac{VdS_R}{dt} = -QS_R + Vr_{SR} \quad (2.19)$$

Hidrolik bekletme süresi, $D_H = 1/\Theta = Q/V$

Çamur yaşı, $D_X = 1/\Theta_C = Q_w/V$

tanımları ve 2.12 denklemi ile verilen hidroliz eşitliği kararlı hal için

$$X_S < X_A \quad \text{ve} \quad \frac{X_S}{X_A} < K_X$$

varsayımı yapılarak X_S 'e göre 1.dereceye indirilir. Hidroliz prosesi kararlı denge durumu için;

$$\rho_3 = KX_S \quad (2.20)$$

birinci derece olarak ele alınır.

$$K = \frac{k_h}{K_X}$$

Kararlı denge durumunda süreklilik denklemleri

$$D_H S_{S0} - D_H S_S \frac{1}{Y} \mu \frac{S_S}{K_S + S_S} X_A + (1 - \beta) K X_S = 0 \quad (2.21)$$

$$D_H X_{S0} - D_X X_S + (1 - f_E) b_H X_A - K X_S = 0 \quad (2.22)$$

$$-D_X X_A + \mu \frac{S_S}{K_S + S_S} X_A - b_H X_A = 0 \quad (2.23)$$

$$-D_X X_P + f_E b_H X_A = 0 \quad (2.24)$$

$$-D_H S_R + \alpha \mu \frac{S_S}{K_S + S_S} X_A + \beta K X_S = 0 \quad (2.25)$$

şeklini alır.

$$2.23 \text{ eşitliğinden} \quad \mu \frac{S_S}{K_S + S_S} = D_X + b_H = \mu \quad (2.26)$$

elde edilir.

2.25 eşitliğinde α veya β sıfır alınır.

$\beta=0$ için

$$S_R = \alpha \mu X_A \Theta \quad (2.27)$$

2.26 denklemini 2.27'da yerine yazılırsa

$$S_R = \alpha (D_X + b_H) X_A \Theta \quad (2.28)$$

$\alpha=0$ için

$$S_R = \beta K X_S \Theta \quad (2.29)$$

Kararlı denge durumunda X_{S0} 'ın başlangıçta sıfır olduğu kabul edilmiştir.

2.22 denkleminde,

$$X_S = \frac{(1 - f_E) b_H X_A}{D_X + K} \quad (2.30)$$

olarak elde edilir. 2.30 eşitliği 2.29 denkleminde yerine yazılırsa;

$$S_R = \beta K \frac{(1-f_E) b_H}{D_X + K} X_A \theta \quad (2.31)$$

elde edilir. 2.28 ve 2.31 denklemlerinden kolayca görülür ki ürün konsantrasyonu aktif biyokitleye bağlıdır. 2.21 denklemi yeniden düzenlenirse;

$$-\frac{\mu}{Y} X_A \theta + (1-\beta) K X_S \theta = -S_{SO} + S_S \quad (2.32)$$

2.30 denklemi 2.32 de yerine yazılır ve D_X değeri K değerinin yanında ihmal edilirse;

$$X_A \theta = \frac{Y(S_{SO} - S_S)}{D_X + b_H [1 - Y(1 - f_E)]} \quad (2.33)$$

eşitliği elde edilir. 2.33 denklemi 2.28 de yerine yazılırsa;

$$S_{R_{\text{em } \theta c}} = \frac{\alpha Y (D_X + b_H)}{D_X + [1 - Y(1 - \beta)(1 - f_E)] b_H} (S_{SO} - S_S) \quad (2.34)$$

$$S_R = \frac{\alpha Y}{1 - Y(1 - f_E)} (S_{SO} - S_S) \quad (2.35)$$

Benzer şekilde 2.33 denklemi 2.29 da yerine yazılırsa;

$$S_{R_{1 \text{ in } \theta c}} = \frac{\beta (1 - f_E) b_H Y \theta_c (S_{SO} - S_S)}{1 + [1 - Y(1 - \beta)(1 - f_E)] b_H \theta_c} \quad (2.36)$$

$$S_R = \beta (1 - f_E) \frac{Y}{1 - Y(1 - \beta)(1 - f_E)} (S_{SO} - S_S) \quad (2.37)$$

Çoğalmaya bağlı çözünmüş inert ürün oluşumu 2.35 denklemi, hidrolize bağlı çözünmüş inert ürün oluşumu ise 2.37 denklemi ile hesaplanabilir.

Aktif çamur modellerinde çözünmüş inert ürünün çoğalma sürecine veya hidroliz sürecine bağlı olarak oluştuğu varsayılmıştır. Çoğalma süreci durumunda aktif biyokitlede meydana gelen artışın sabit bir fonksiyonu (α) kadar çözünmüş inert ürün oluştuğu kabul edilmiştir. Bu durumda hidroliz süreci fonksiyonu $\beta=0$ olarak ele alınır. İkinci durumda ise hidroliz olan partiküler ayrışabilir substratın bir kısmının (β) inert olduğu kabul edilerek çoğalma süreci fonksiyonu $\alpha=0$ alınır. Yapılan çalışmalar (Orhon ve Artan 1989) bu kabullerin doğruluğunu göstermiştir.

BÖLÜM III

KALICI PARAMETRELERİN BENZEŞİMİ

Hızlı endüstrileşen ülkemizde ve dünyada su kirlenmesi çevre sorunları açısından önemli bir problem oluşturmaktadır. Su kirlenmesi açısından önemli bir yere sahip olan endüstriyel atıksuların arıtımında biyolojik arıtma sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Aktif çamur sistemlerinde yakın bir geçmişe kadar çıkış substrat konsantrasyonunun giriş substrat konsantrasyonundan bağımsız olduğu, giriş ve çıkış substrat karakterlerinin aynı olduğu varsayılmaktaydı. Son zamanlarda yapılan çalışmalar çıkış substrat konsantrasyonunun giriş substrat konsantrasyonuna bağlılığını ve bu iki substratın karakterinin tamamıyla birbirinden farklı olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan son çalışmalar aktif çamur sistemlerinde mikroorganizmal faaliyetler sırasında bir kısım metabolik ürünlerin sisteme verildiğini ve bu ürünlerin biyolojik olarak inert olduğunu ortaya koymuştur.

Endüstriyel atıksular biyolojik ayrışabilirlik açısından çok geniş bir aralıkta değişen organik maddeleri içerirler. Atıksulardaki çözünmüş organik maddenin bir bölümü biyolojik olarak inert olduğu için, aktif çamur sistemlerinde hiç bir değişikliğe uğramadan sistemi terk ederler. Konvansiyonel atıksular için önemsiz olan bu kısım, biyolojik arıtılabilirlik sonuçlarının yanlış yorumlanmasına neden olduğu için ve özellikle kuvvetli endüstriyel atıksular için çok önemlidir. Bir çok endüstri kategorisi için KOI parametresi ile tanımlanan deşarj kriterlerinin sağlanması açısından da atıksuların çözünmüş inert organik madde içeriğinin bilinmesi gerekir.

Endüstriyel atıksular çözünmüş inert organik madde içerdikleri gibi partiküler inert organik madde de içerebilirler. Partiküler organik madde ise aktif çamur sistemlerinin işletilmesinde etkili olmaktadır. Çamur geri devrini ve sistemin hacminin belirlenmesini etkilemektedir.

3.1 ÇÖZÜNMÜŞ İNERT KOİ'NİN BELİRLENMESİ METODLARI

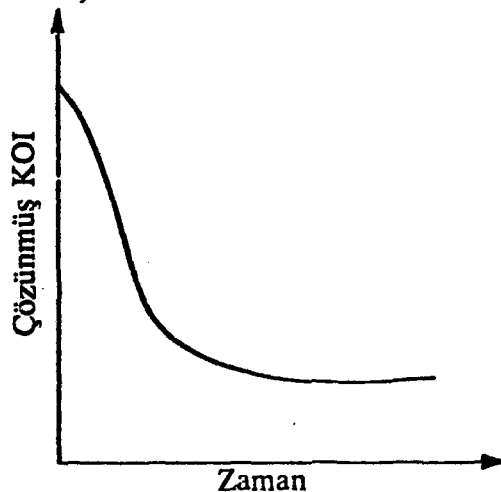
Atıksulardaki çözünmüş inert KOİ konsantrasyonlarının, (S_{10}) önemi literatürde de belirtilmiş ve bu fraksiyonun bulunabilmesi için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Yüksek çamur yaşına sahip aktif çamur sistemlerinde çözünmüş çıkış KOİ konsantrasyonunun S_{10} olarak belirlenmesi ve kesikli aerobik bir reaktörden alınan örneklerde yapılan KOİ ölçümlerinin sabit kaldığı değeri S_{10} olarak tanımlanması esasına dayanır. Fakat bu metodların en büyük sakıncası ve hata kaynağı aktif çamur sistemlerinde mikroorganizma faaliyetleri sırasında sisteme verilen çözünmüş ürünlerin hesaba katılmamasıdır. Literatürde yer alan pek çok çalışmada, tamamen biyolojik olarak kolay ayrışabilir nitelikte olan glukoz gibi substratlar kullanılarak yürütülen deneylerde aktif çamur sistemlerinin çıkışında ölçülen KOİ değerlerinin, girişte beslenen orjinal substratları değil, mikroorganizma metabolizmalarının ürettiği ürünlerden kaynaklandığı belirtilmektedir. Çözünmüş metabolik ürünlerin yapısı tam olarak tanımlanmamakla birlikte literatürde bugüne kadar yapılan çalışmalar bu ürünlerin biyolojik olarak ayrışabilir olduğunu ancak ayrışma hızlarının sisteme beslenen giriş substratının ayrışma hızından çok daha düşük olduğunu ve pratik olarak aktif çamur uygulamalarında kullanılan normal hidrolik bekletme süreleri ve çamur yaşlarında inert kabul edilebileceklerini göstermektedir. Aktif çamur sistemlerinde girişteki KOİ değeri biyolojik olarak kolay ayrışabilir substrat S_{50} ve inert substrat S_{10} dan meydana gelirken çıkışta ölçülen KOİ değeri girişteki biyolojik olarak kolay ayrışabilir substrattan kalan S_s , sistemde üretilen inert ve ayrışabilir metabolik ürünleri S_p ve inert substratı içerir. Çıkışta ölçülen inert fraksiyon girişte atıksuda bulunan inert substrat konsantrasyonu S_{10} ve metabolik ürünlerin inert kısmı S_R 'dan oluştuğu için çözünmüş inert metabolik ürünler (S_R) ölçülmek istenen atıksuyun çözünmüş inert substrat konsantrasyonu (S_{10}) üzerine girişim yaparak yanlış sonuçlara neden olmaktadır.

Çözünmüş inert KOI (S_i) belirlenmesi için iki farklı deneysel yöntem kesikli reaktörler kullanılarak test edilmiştir Germirli (1990). Önerilen iki metodda S_i içermeyen glukoz kullanılarak mikroorganizmal ürünlerin varlığı ispatlanmıştır(Grady ve diğerleri 1972, Cimsit,1986)

Her iki metod için de ilave substrat olarak literatürde metabolik ürünler üzerinde yapılan araştırmalarda pek çok kez kullanılan ve inert KOI'sı S_{i0} bulunmadığı, tamamen kolay ayrışabilir substrattan meydana geldiği kabul edilen glukoz kullanılmıştır ve deneylerde kullanılan biyokitlenin aklımasyonu, doldur-boşalt reaktörlerde % 50 çözünmüş atıksu ve % 50 glukoz çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

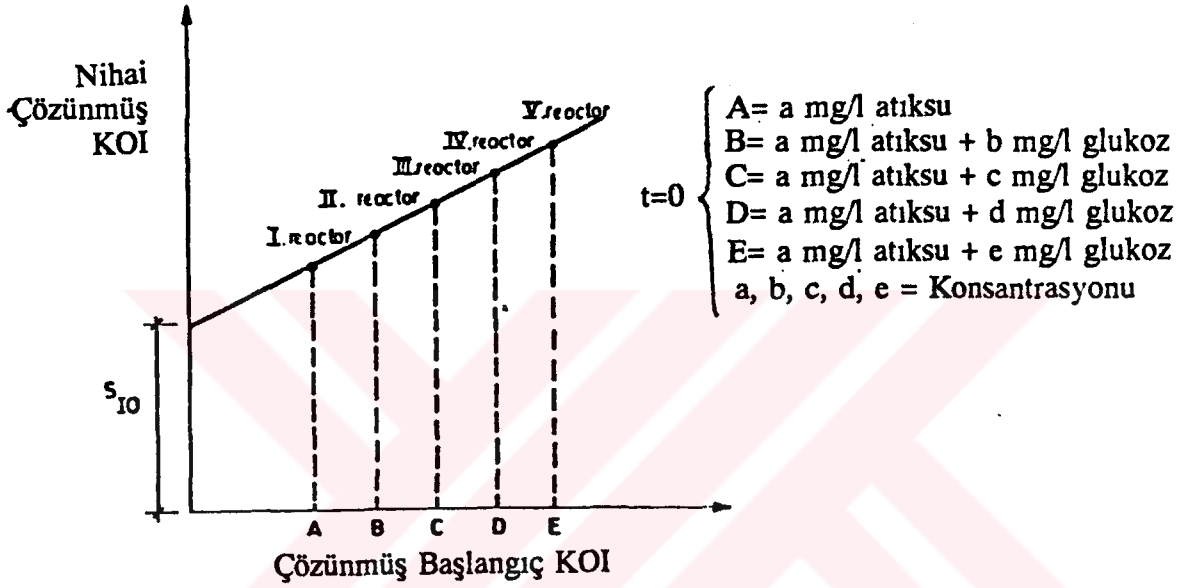
3.1.1 Kademeli Yöntem

Kademeli yöntemde kesikli reaktörlerde aynı konsantrasyonda seyreltik çözünmüş atıksu üzerine kademeli olarak artan konsantrasyonlarda glukoz ilave edilir. Elde edilen sistemlere az miktarda aşı mikroorganizma eklenerek çalıştırılması sonucu zamana karşı çözünmüş KOI ölçümlerinin profilinin oluşturulması ile S_i belirlenir. İlk reaktörde seyreltik çözünmüş atıksu bulunur ve diğer reaktörlere kademeli olarak glukoz ilave edilir. Bu yöntemle her bir reaktördeki S_{i0} konsantrasyonu sabit tutulmakta ancak S_{s0} konsantrasyonları farklı olduğundan, farklı S_R değerlerine erişilmektedir. Bu reaktörler KOI-zaman profili bir platoya erişene kadar çalıştırılır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Kesikli Reaktörler İçin Çözünmüş KOI Eğrisi

Bütün reaktördeki çözünmüş KOI değerlerinin ulaştıkları ilk minimum değer veya nihai değerler esas alınarak, çözünmüş KOI'ye karşı çözünmüş giriş KOI değerleri çizilmiş ve bu doğrunun KOI ekseninin kestiği değer, atıksuyun çözünmüş inert KOI konsantrasyonu olarak saptanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Kademeli Yöntem İçin Başlangıç S_{IO} Değerinin Bulunması

3.1.2 Karşılaştırmalı Metod

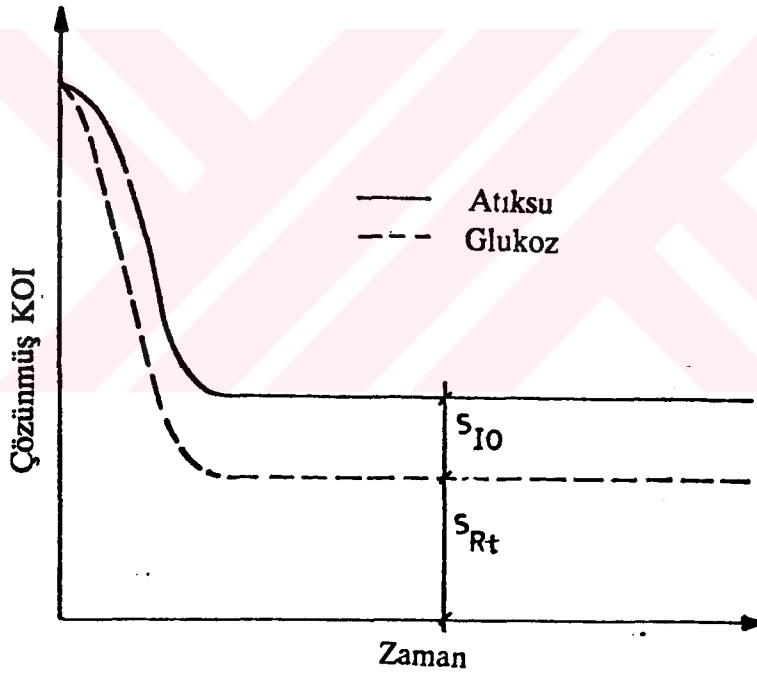
Karşılaştırmalı yöntem çok daha basıttır ve bu yöntemde çözünmüş endüstriyel atıksu ve aynı konsantrasyonda glukoz çözeltisi iki ayrı reaktörde aşırı mikroorganizma ilavesi ile kesikli olarak çalıştırılmış ve zamana karşı çözünmüş KOI değerleri izlenmiştir. Atıksuyun KOI profilinin eriştiği minimum değer $S_{IO} + S_p$ olduğuna ve glukoz profilinin minimum değeri ise glukozda S_{IO} bulunmadığından dolayı S_p olarak alınabileceğine göre

$$(S_{I0})_{Atıksu} = (S_{I0} + S_P)_{Atıksu} - (S_P)_{Glukoz} \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir. Glukoz ve atıksu sistemlerinin başlangıçtaki S_{S0} konsantrasyonları eşit olduğundan;

$$(S_P)_{Atıksu} = (S_P)_{Glukoz} \quad (3.2)$$

kabulü yapılabilir (Şekil 3.3). Atıksu profilinin ulaştığı nihai çözünmüş KOI değerinden, glukoz profilinin ulaştığı nihai çözünmüş KOI değeri çıkarılarak atıksuyun çözünmüş inert KOI içeriği bulunabilir.



Şekil 3.3 Karşılaştırmalı Metod İle Başlangıç S_{I0} Değerinin Bulunması

Bu çalışmalar sonucu sistemde bulunan çözünmüş inert substratın (S_I), toplam substrata oranı Y_I olarak tanımlanmıştır.

$$Y_I = \frac{S_I}{S_{T0}} \quad (3.3)$$

Sistemde mikroorganizmaların metabolik faaliyeti sonucu üretilen çözünmüş inert ürün konsantrasyonunun (S_p) ayrışabilir substrat ($S_s=S_T-S_I$) konsantrasyonuna oranı ise Y_p olarak ifade edilmiştir.

$$Y_p = \frac{S_p}{S_{T0} - S_I} \quad (3.4)$$

3.2 ALFA(α) VE BETA(β) STOKİOMETRİK KATSAYILARININ TAYİNİ

Aktif çamur sistemlerinde mikroorganizmalar tarafından üretilen çözünmüş inert ürün konsantrasyonunun belirlenmesinde kullanılan 2.35 ve 2.37 denklemlerinde yer alan α ve β katsayılarının belirlenmesi için aşağıdaki yöntem geliştirilmiştir.

Artan modelinden (1987) hareketle Germirli'nin (1990) laboratuvar çalışmaları sonucu elde ettiği Y_p değeri yardımı ile matris yeniden kurulmuş ve süreklilik denklemleri tekrar yazılmıştır. Y_p değeri S_p / S_{S0} olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada çözünmüş inert ürün oluşumunun $-Y_p dS_s/dt$ 'ye bağlı olarak sadece çözünmüş ayrışabilir substrat üzerinde olduğu kabul edilmiştir. Bunun sonucu oluşturulan matris yardımı ile çözünmüş inert ürün için elde edilen süreklilik denklemi Bölüm 2.3.4'de çözünmüş inert ürün için elde edilen süreklilik denklemine eşitlenerek α ve β stokiometrik katsayıların gerçeğe uygun değerleri bulunmuştur.

Tablo 3.1 yardımı ile modelde her bir bileşen için kütle dengeleri kurularak reaksiyon denklemleri yazılabilir. Hidroliz eşitliği Bölüm 2.3.4'de 2.20 denkleminde verildiği gibi birinci derece olarak ele alınırsa,

$$\frac{dS_s}{dt} = D_H(S_{S0} - S_s) - \frac{\mu}{Y} \frac{S_s}{K_s + S_s} X_A + KX_s \quad (3.5)$$

$$\frac{dX_s}{dt} = D_H X_{S0} - D_H X_s + (1 - f_E) b_H X_A - KX_s \quad (3.6)$$

$$\frac{dX_A}{dt} = -D_X X_A + \mu \frac{S_s}{K_s + S_s} - b_H X_A \quad (3.7)$$

$$\frac{dX_P}{dt} = -D_X X_P + f_E b_H X_A \quad (3.8)$$

$$\frac{dS_R}{dt} = -D_H S_R + \frac{Y_P}{Y} \mu \frac{S_S}{K_S + S_S} X_A - Y_P K X_S \theta \quad (3.9)$$

Yukarıdaki denklemler incelendiğinde Bölüm 2.3.4'te verilen 2.21 ve 2.24 arasındaki denklemler ile 3.5 ve 3.8 arasındaki denklemlerin aynı olduğu sadece 2.25 ve 3.9 denklemlerinin farklı olduğu kolayca görülebilir. 3.9 eşitliğinden;

$$S_R = \frac{Y_P}{Y} \mu X_A \theta - Y_P K X_S \theta \quad (3.10)$$

eşitliği elde edilir ve 2.26 denklemi 3.10'da yerine yazılırsa,

$$S_R = \frac{Y_P}{Y} (D_X + b_H) X_A \theta - Y_P K X_S \theta \quad (3.11)$$

2.30 denklemi 3.11'de yerine yazılırsa

$$S_R = \frac{Y_P}{Y} (D_X + b_H) X_A \theta - Y_P K \frac{(1-f_E) b_H X_A \theta}{D_X + K} \quad (3.12)$$

D_X değeri K değeri yanında ihmal edilirse

$$S_R = \frac{Y_P}{Y} (D_X + b_H) X_A \theta - Y_P (1-f_E) b_H X_A \theta \quad (3.13)$$

eşitliği elde edilir ve kolayca görülür ki S_R konsantrasyonu $X_A \theta$ değerine göre değişir.

$$S_R = \left[\frac{Y_P}{Y} (D_X + b_H) - Y_P (1-f_E) b_H \right] X_A \theta \quad (3.14)$$

Tablo 3.1 Çözünmüş İnert Ürün Oluşumu Modelinin Reaksiyon Matrisi

	Bileşen	$\rightarrow$	i	1	2	3	4	5	6	7	Süreç Hızı P_j
j	Süreç	$\downarrow$		S_i	X_i	S_s	S_p	X_A	X_s	X_p	
1	Aerobik Heterotrofik Çoğalma					$-1/Y$	Y_p/Y	1			$\mu \frac{S_s}{K_s + S_s} X_A$
2	Heterotrofların Bozunması							-1	$(1-f_E)$	f_E	$b_H X_A$
3	Tutulan Organik Maddenin Hidrolizi					1	$-Y_p$		-1		$k_h \frac{X_s/X_A}{K_x + X_s/X_A} X_A$
$r_T = \sum_j v_{Tj} P_j$											
Gözlenen reaksiyon hızı											
Stokiyometrik Parametreler			Çözünmüş İnert Organik			Paritiküler İnert Organik			Biyolojik olarak kolay ayrışabilir substrat $M(KOI)L^{-3}$		
Dönüşüm oranı: Y									Aktif Heterotrofik		
Partiküler İnert Ürün									Biyokitle $M(KOI)L^{-3}$		
Fraksiyonu: f_E									Biyolojik olarak yavaş ayrışabilir substrat $M(KOI)L^{-3}$		
									Paritiküler inert ürün $M(KOI)L^{-3}$		
									Kinetik Parametreler		
									Çoğalma: $\hat{\mu}, K_s$		
									Bozunma: b_H		
									Hidroliz: k_h, K_x		

2.33 denklemi 3.14'de yerine yazılır ise;

$$S_{R_{11m}C} = \left[\frac{Y_P}{Y} (D_X + b_H) - Y_P (1 - f_E) b_H \right] \frac{Y (S_{S0} - S_S)}{D_X + b_H [1 - Y (1 - f_E)]} \quad (3.15)$$

$$S_R = Y_P (S_{S0} - S_S) \frac{1 - (1 - f_E) Y}{1 - Y (1 - f_E)} \quad (3.16)$$

$$S_R = Y_P \Delta S \quad (3.17)$$

2.35 denklemi ve 3.17 denkleminin eşit olduğunu kabul edersek;

$$\frac{\alpha Y}{1 - Y (1 - f_E)} (S_{S0} - S_S) = Y_P (S_{S0} - S_S) \quad (3.18)$$

$$Y_P = \frac{\alpha Y}{1 - Y (1 - f_E)} \quad (3.19)$$

$$\alpha = \frac{Y_P [1 - Y (1 - f_E)]}{Y} \quad (3.20)$$

Benzer şekilde 2.37 denklemi ve 3.17 denklemi eşitlenirse;

$$\beta (1 - f_E) \frac{Y}{1 - Y (1 - \beta) (1 - f_E)} (S_{S0} - S_S) = Y_P (S_{S0} - S_S) \quad (3.21)$$

$$Y_P = \beta (1 - f_E) \frac{Y}{1 - Y (1 - \beta) (1 - f_E)} \quad (3.22)$$

$$\beta = \frac{1 - Y (1 - f_E)}{(1 - f_E) \frac{Y}{Y_P} + Y (f_E - 1)} \quad (3.23)$$

eşitlikleri elde edilir.

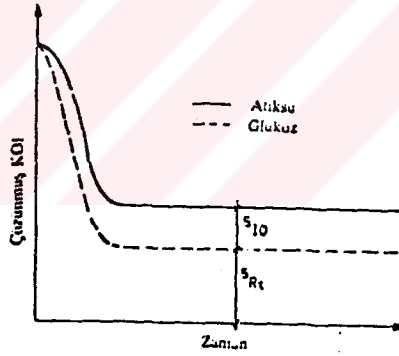
3.2.1 Kullanılan Çözüm Yöntemleri

Kesikli bir reaktörde model bileşenlerinin (S_S , X_S , X_A , X_P , S_P) konsantrasyon profillerini elde etmek için model denklemleri ile verilen beş diferansiyel denklemin çözümü yapılmalıdır. Bu denklemlerin sayısal çözümü için 4.mertebe Runge-Kutta yöntemi kullanılmıştır. Sayısal integrasyon $\Delta t = 1/1000$ gün artımla bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır.

Tam karışimli reaktörlerde kararlı hal için çözüm süreklilik denklemlerinin eliminasyon yöntemi ile çözülmesi sonucu elde edilmiştir.

3.3 ÇÖZÜNMÜŞ İNERT SUBSTRAT BENZEŞİMİNDE DÖNÜŞÜM ORANININ ETKİSİ

Bugüne kadar aktif çamur sistemlerinde çözünmüş inert substrat (S_I) bulunması ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar Bölüm 3.1'de geniş olarak anlatılmıştır. Germirli (1990) yapmış olduğu çalışmalarında iki ayrı yöntem geliştirmiştir. Karşılaştırmalı yöntem ve kademeli yöntem. Germirli bu çalışmalarındaki deney setlerinde %50 atıksu- %50 glukoz karışımına aklime olmuş mikroorganizma kültürü kullanmıştır ve glukozun tamamının kolay ayrışabilir substrat olduğu, çözünmüş inert organik madde içermediğini belirtmiştir.



Şekil 3.4 Grafik Yöntemi İle S_I Bulunuşu

Atıksuyun nihai KOI değerinin (S_{RA}), çözünmüş inert substrat ile çözünmüş metabolik ürün ($S_I + S_{PA}$) toplamından oluştuğu, glukozun çözünmüş inert substrat içermediği kabul edilerek çözünmüş inert substrat (S_I) değeri

$$S_{II} = S_{RA} - S_{PG} \quad (3.24)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Ancak bulunan çözünmüş inert madde (S_{II}) konsantrasyonu, atıksuyun gerçek çözünmüş inert madde (S_{IA}) konsantrasyonuna eşit olmayabilir. Bunun nedeni yapılan çalışmalarda atıksuyun dönüşüm oranının (Y_A),

glukozun dönüşüm oranına (Y_G) eşit olduğu kabulünün yapılmasıdır. Oysa bu kabul geçerli olmayabilir. Bunun için çözünmüş inert ürün fraksiyonlarının eşit olması ($\alpha_A = \alpha_G = \alpha$) kabulü daha gerçekçi görülmektedir.

Çözünmüş inert ürün fraksiyonunun (α veya β) bulunabilmesi için öncelikle laboratuvar da kesikli sistemlerde atıksuyun dönüşüm oranı (Y_A) ve glukozun dönüşüm oranı (Y_G) ölçülmelidir. Bölüm 3.1.2'de anlatıldığı gibi çözünmüş endüstriyel atıksu ve aynı konsantrasyonda glukoz çözeltisi iki ayrı reaktörde, aş mikroorganizma ilavesi ile kesikli olarak çalıştırılmalı ve zamana karşı çözünmüş KOI değerleri izlenmelidir.

Bu çalışma sonucu glukoz için elde edilen nihai KOI değeri glukozun çözünmüş inert substrat içermediği kabulü ile çözünmüş inert ürün olarak ele alınır. Glukozun ölçülen dönüşüm oranı (Y_G) ve karşılaştırmalı yöntem ile belirlenen metabolik ürün konsantrasyonu (S_{PG}) ve 3.25 denklemi yardımıyla α_G hesaplanır.

$$S_{PG} = \alpha_G \frac{Y_G}{1 - Y_G (1 - f_E)} S_0 G \quad (3.25)$$

$\alpha_A = \alpha_G$ kabulü, ölçülen atıksu dönüşüm oranı (Y_A) ve 3.26 denklemi kullanılarak S_{PA} hesaplanır.

$$S_{PA} = \alpha_A \frac{Y_A}{1 - Y_A (1 - f_E)} (S_{S0} - S_{I1}) \quad (3.26)$$

Hesaplanan S_{PA} değeri kullanılarak atıksuyun gerçek çözünmüş inert substrat (S_{IA}) değeri bulunur.

$$S_{IA} = S_I = S_{RA} - S_{PA} \quad (3.27)$$

Eğer atıksuyun gerçek çözünmüş inert substrat değeri elde edilmemiş ise 3.26 denkleminde S_{I1} yerine 3.27 denklemi ile elde edilen S_I değeri yazılarak işlemler tekrarlanır ve sonuçta gerçek çözünmüş inert substrat değeri elde edilir.

Bu teorik çalışmanın gerçekliğini ispatlamak için kesikli sistemler üzerinde bir dizi simülasyon çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada oluşturulan ilk sette

bir dizi simülasyon çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada oluşturulan ilk sette glukozun dönüşüm oranı $Y_G=0.72$ (Mc Carty, 1972), maksimum spesifik çoğalma hızı $\hat{\mu}=4.8$ l/gün ve yarı doygunluk sabiti $K_S=2$ mg/l (A.C. PAPANASTASIOU, 1982) atıksu için ise dönüşüm oranı $Y_A=0.67$, maksimum spesifik çoğalma hızı $\hat{\mu}=3$ l/gün yarı doygunluk sabiti $K_S=20$ mg/l (IAWPRC, 1986) olarak belirlenmiştir. Oluşturulan ikinci sette yapılan değişiklik çok düşük dönüşüm oranına sahip olabilecek ($Y=0.45$) atıksu ve glukoz ($Y=0.72$) için benzer çalışmaların yapılmasıdır. Üçüncü sette ise atıksu dönüşüm oranı sabit tutularak ($Y=0.67$) glukozun dönüşüm oranı ($Y=0.45$) değiştirilmiştir. Glukoz ve atıksu için içsel solunum hızı $k_d=0.62$ l/gün ve hidroliz sabiti $K=50$ olarak alınmıştır. Bu çalışmada oluşturulan üç set için başlangıç koşulları ve kinetik sabitler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Simülasyon Çalışması Başlangıç Koşulları

1. SET	2. SET	3. SET
$S_{SO}=400$ mg/l	$S_{SO}=400$ mg/l	$S_{SO}=400$ mg/l
$S_I=50$ mg/l	$S_I=50$ mg/l	$S_I=50$ mg/l
$S_T=450$ mg/l	$S_T=450$ mg/l	$S_T=450$ mg/l
$Y_A=0.67$	$Y_A=0.45$	$Y_A=0.67$
$Y_G=0.72$	$Y_G=0.72$	$Y_G=0.45$

Kinetik Sabitler

$\hat{\mu}_A=3$ gün ⁻¹	$\hat{\mu}_G=4.8$ gün ⁻¹	$K_{SA}=20$ mg l ⁻¹
$K_{SG}=2$ mg l ⁻¹	$k_{dA}=k_{dG}=0.62$ gün ⁻¹	$K_A=K_G=50$
$f_E=0.08$		

Benzeşim çalışması sonucu elde edilen değerler ile oluşturulan profiller şekil 3.5 ve 3.13 arasında verilmiştir. Şekil 3.5 incelendiğinde 17 gün sonunda glukozun nihai KOI değeri 33.50 mg l⁻¹ ve atıksuyun nihai KOI değeri 74.47mg/l olarak bulunmuştur. Denklem 3.24 kullanılarak S_{II} değeri

$$S_{II} = S_{RA} - S_{PG} = 74.47 - 33.50 = 40.97 \text{ mg l}^{-1}$$

elde edilir. Bu değer çalışmanın başında S_I için belirlenen değere eşit değildir ve negatif bir hata mevcuttur. Denklem 3.4 uyarınca Y_p tanımından hareketle

$$Y_{PG} = \frac{S_{PG}}{S_T - S_I} = \frac{33.50}{450} = 0.074$$

olarak bulunur. Denklem 3.25 kullanılarak α_G hesaplanır.

$$33.50 = \alpha_G \frac{0.72}{1 - 0.72 (1 - 0.08)} 450$$

$$\alpha_G = 0.035$$

$\alpha_G = \alpha_A$ kabulü ile 3.26 denkleminde α_G, α_A yerine yazılarak

$$S_{PA} = 0.035 \frac{0.67}{1 - 0.67 (1 - 0.08)} (450 - 40.97)$$

$$S_{PA} = 25 \text{ mgl}^{-1}$$

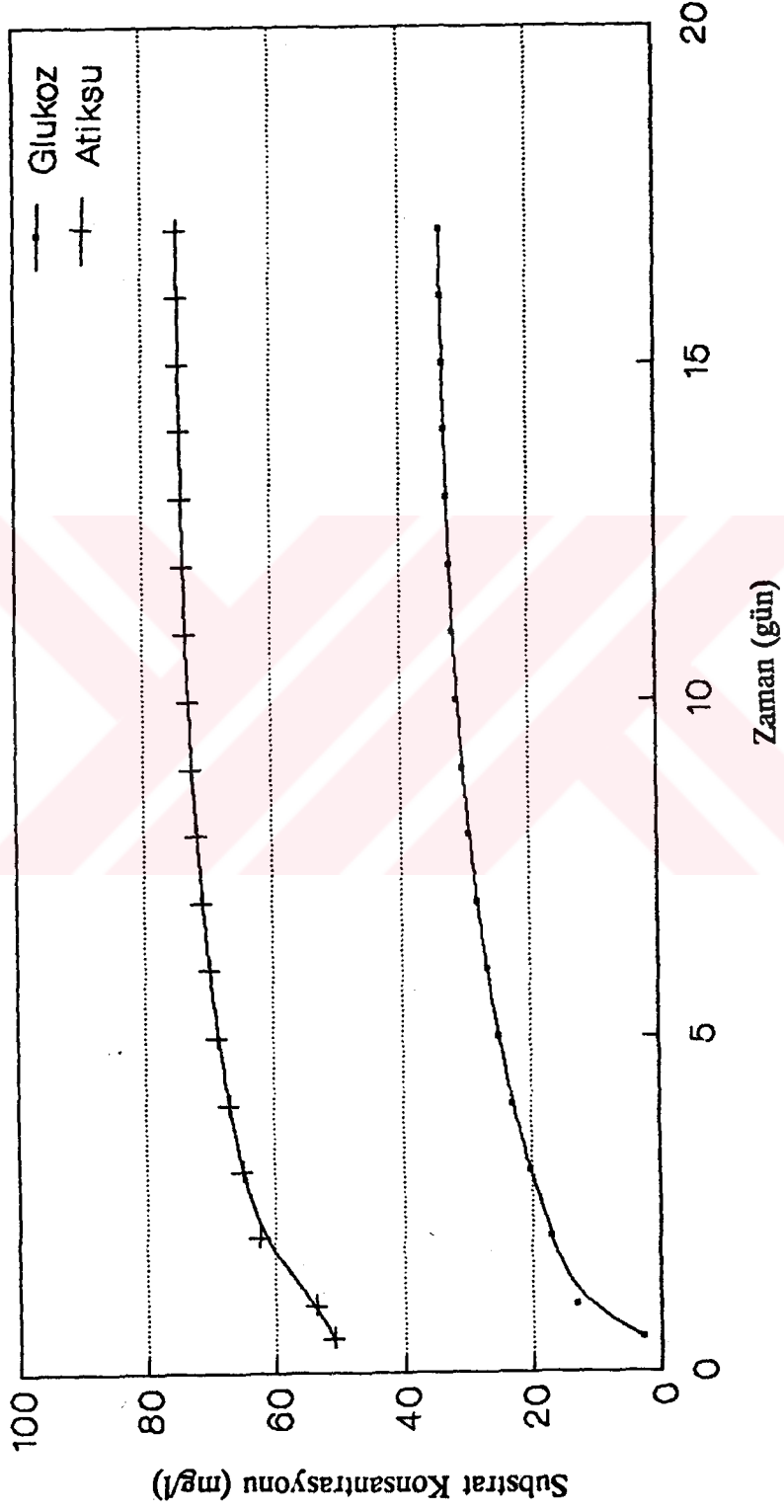
bulunur.

$$\begin{aligned} S_{IA} &= S_I = S_{RA} - S_{PA} \\ &= 74.47 - 25 = 49.5 \text{ mgl}^{-1} = 50 \text{ mgl}^{-1} \end{aligned}$$

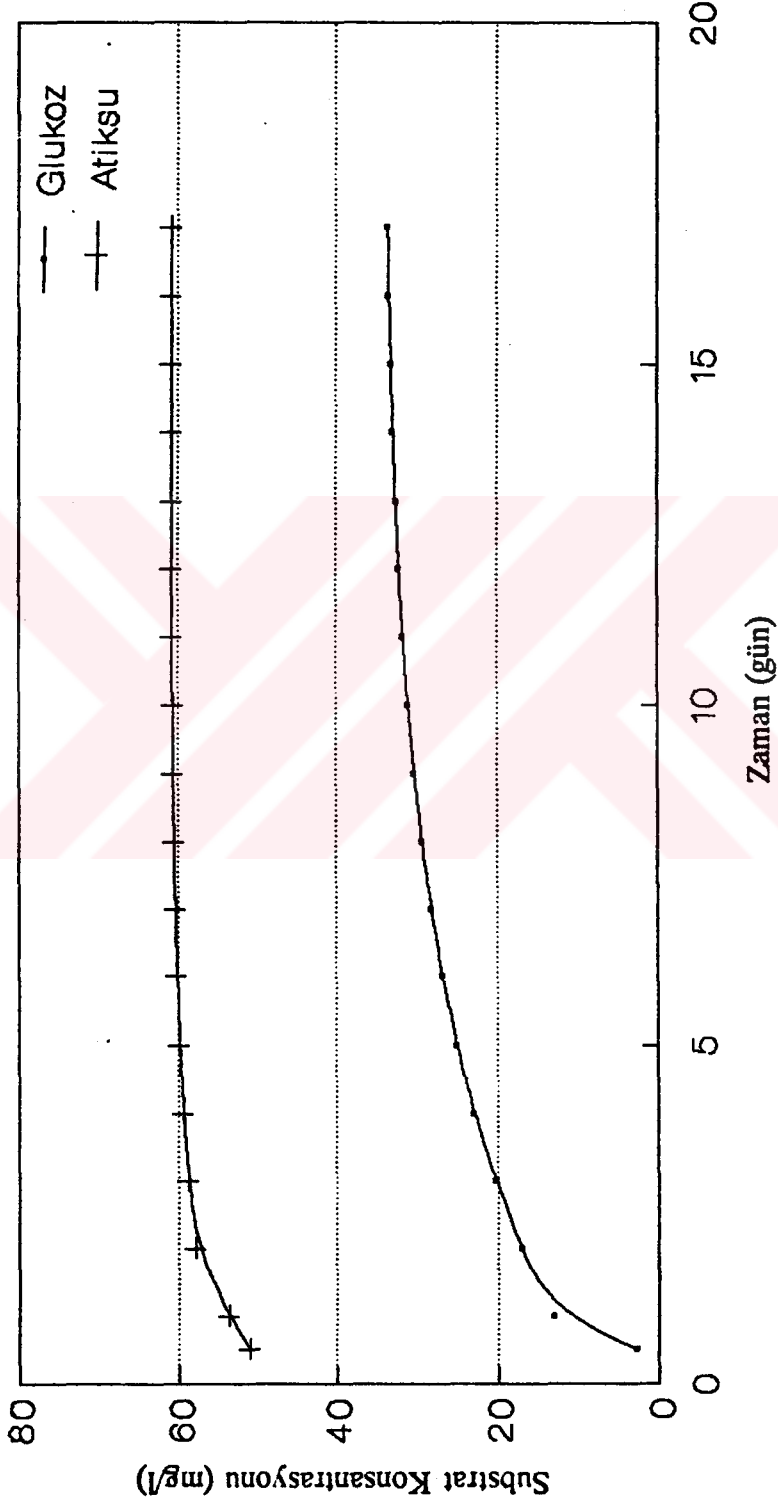
elde edilir.

Simülasyon çalışması sonucu elde edilen profiller Şekil 3.5 ve 3.13 arasında verilmiştir. Şekil 3.5 ; 3.6 ; 3.7 incelendiğinde dönüşüm oranının sistem üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekil 3.5'den görülebileceği gibi atıksu-glukoz dönüşüm oranlarının birbirine yakın bir değerde olması, grafik üzerinden okunan S_I değerinin minimum hata içermesine neden olmaktadır. Ancak Şekil 3.6 incelendiğinde atıksu dönüşüm oranının, glukoz oranla çok düşük olması büyük bir negatif hataya yolaçmaktadır. Şekil 3.7 ise Şekil 3.6'nın aksine glukoz dönüşüm oranının atıksu dönüşüm oranına göre düşük olmasından dolayı bir pozitif hata vermektedir. Dönüşüm oranı çözünmüş inert ürün üzerinde etkili olmakta ve bunun sonucu olarak gerçek çözünmüş inert substrat değerinde hataya neden olmaktadır.

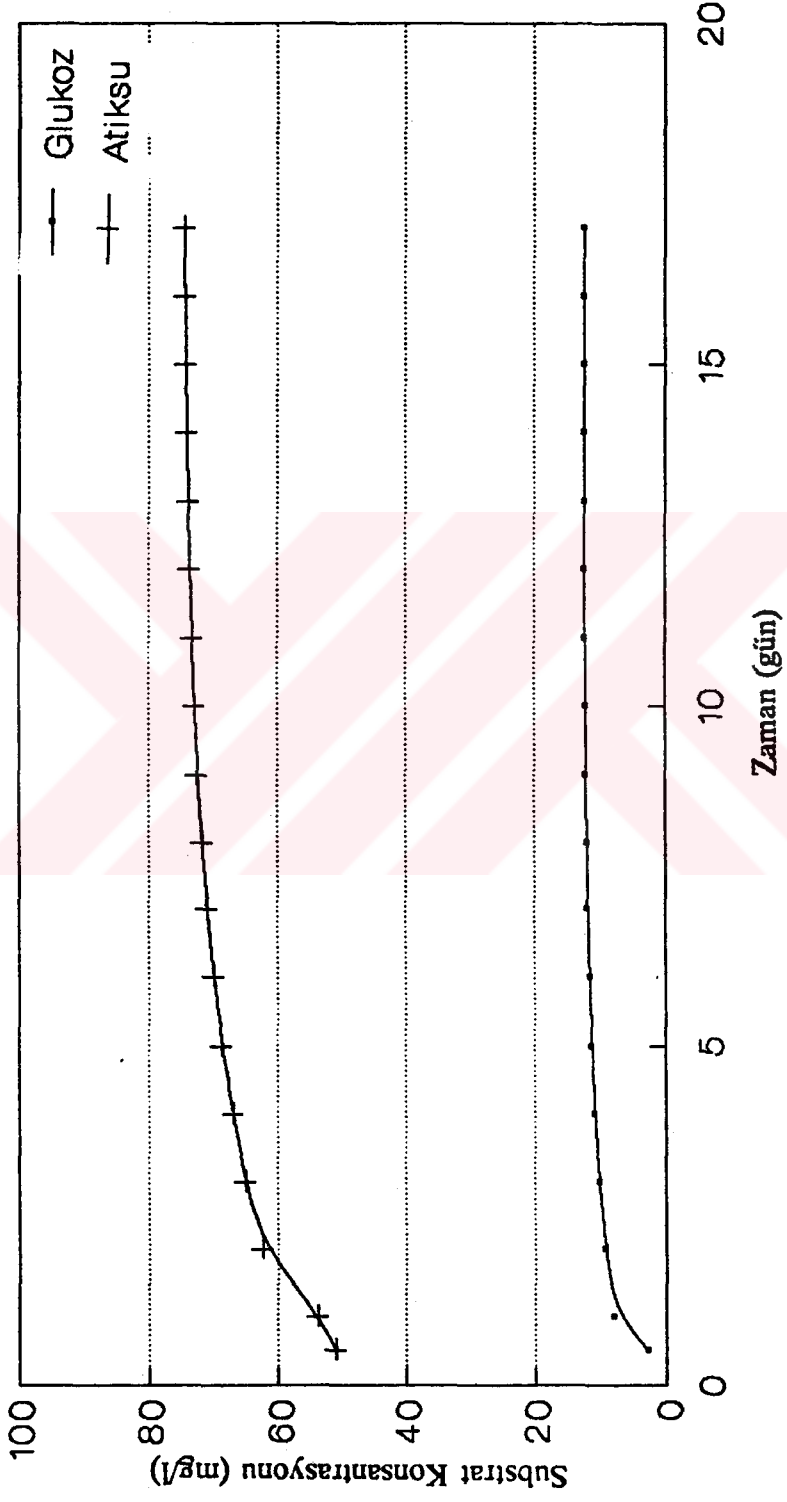
Şekil 3.5 ve 3.13 arası grafikler incelenir ise α değerinin sistem üzerindeki etkisi şöyle açıklanabilir. Çözünmüş inert ürün (S_p) üretimi α katsayısına bağlı olduğu için α değerinin azalması ile S_p üretiminde o ölçüde azalmaktadır. Bu azalma glukoz üzerinde daha belirgin olarak görülmekte ve grafikten okunan S_I değeri α ile ters orantılı olarak artmaktadır.



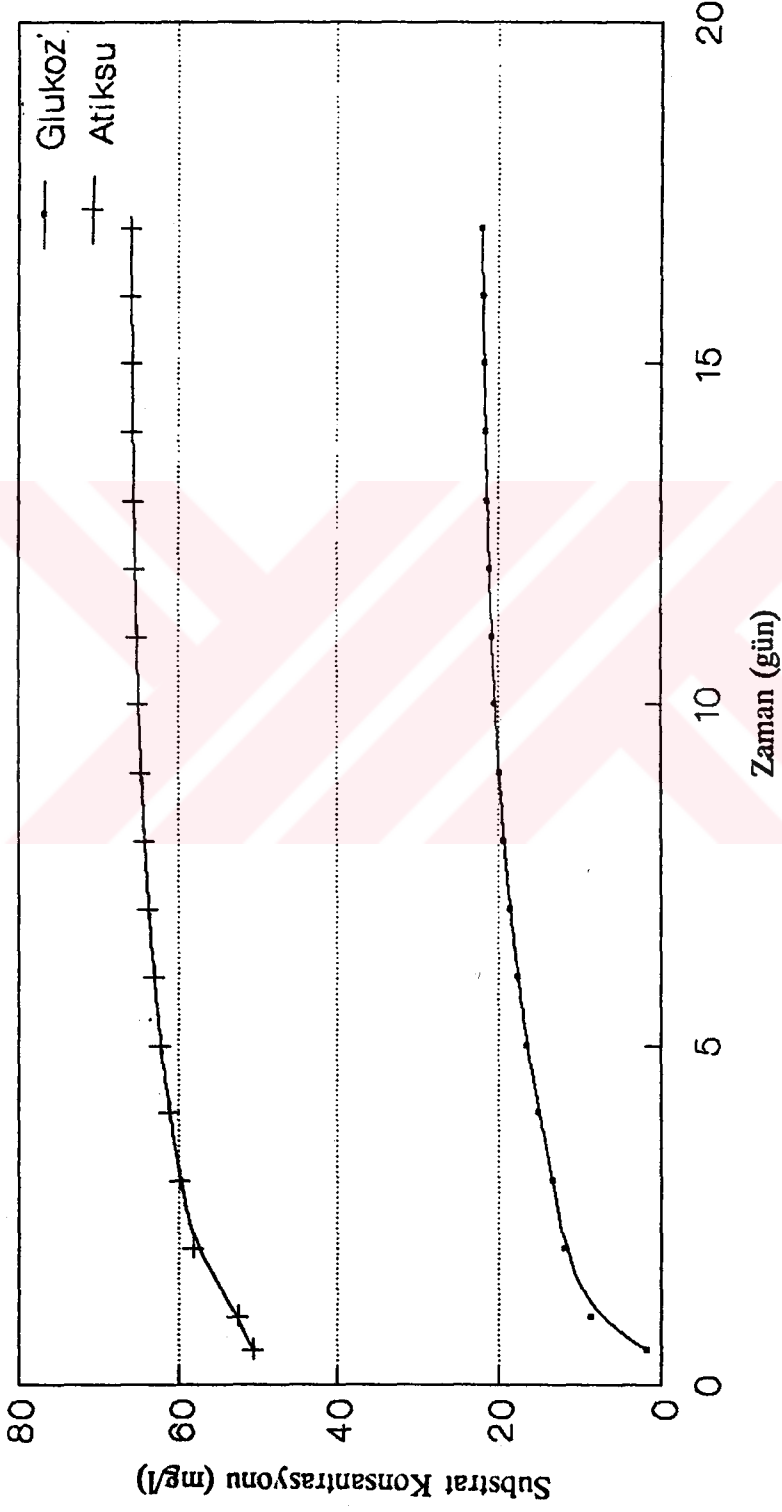
Şekil 3.5 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde S_1 Bulunuşu



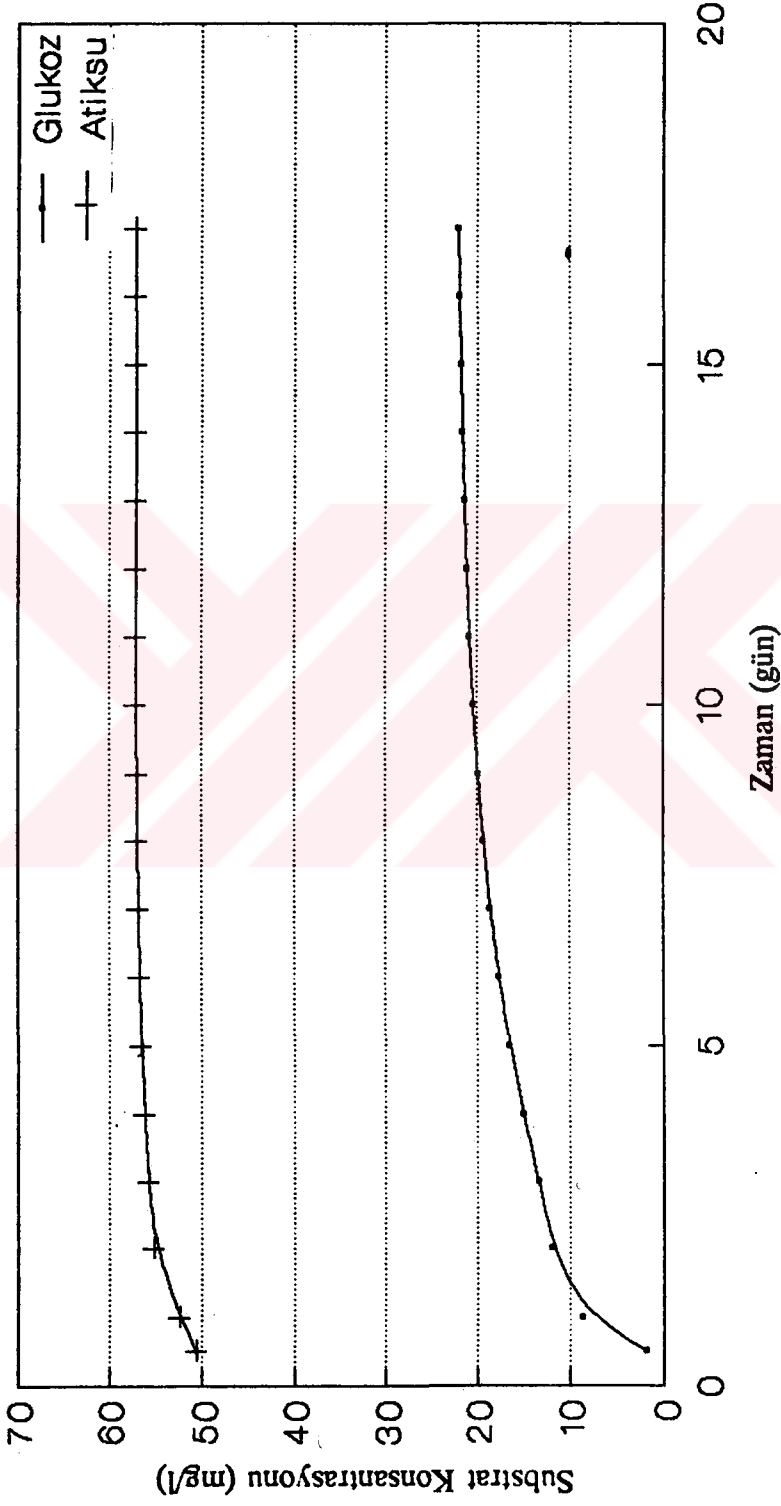
Şekil 3.6 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.45$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde S_t Bulunuşu



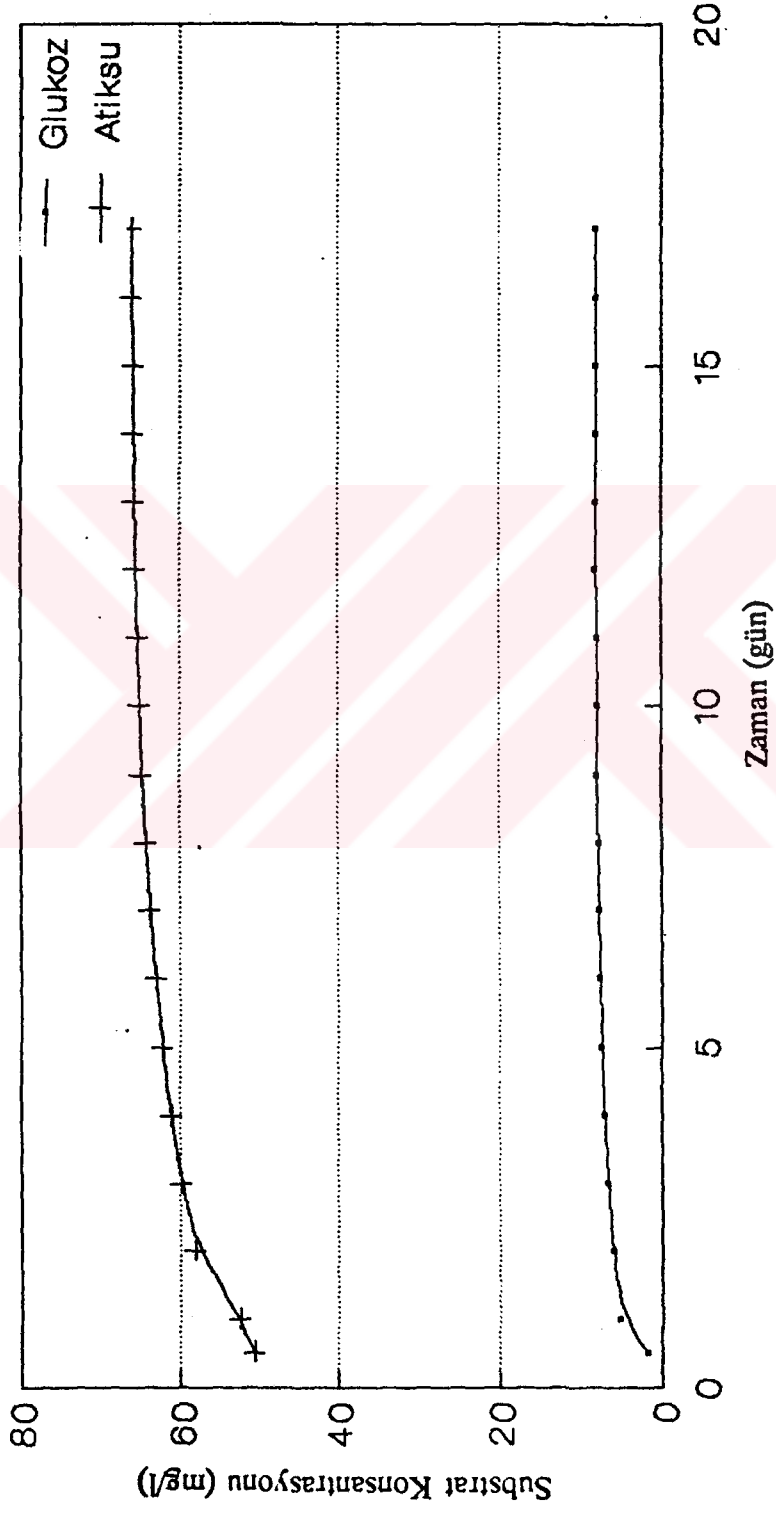
Şekil 3.7 $Y_G=0.45$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde S_t Bulunuşu



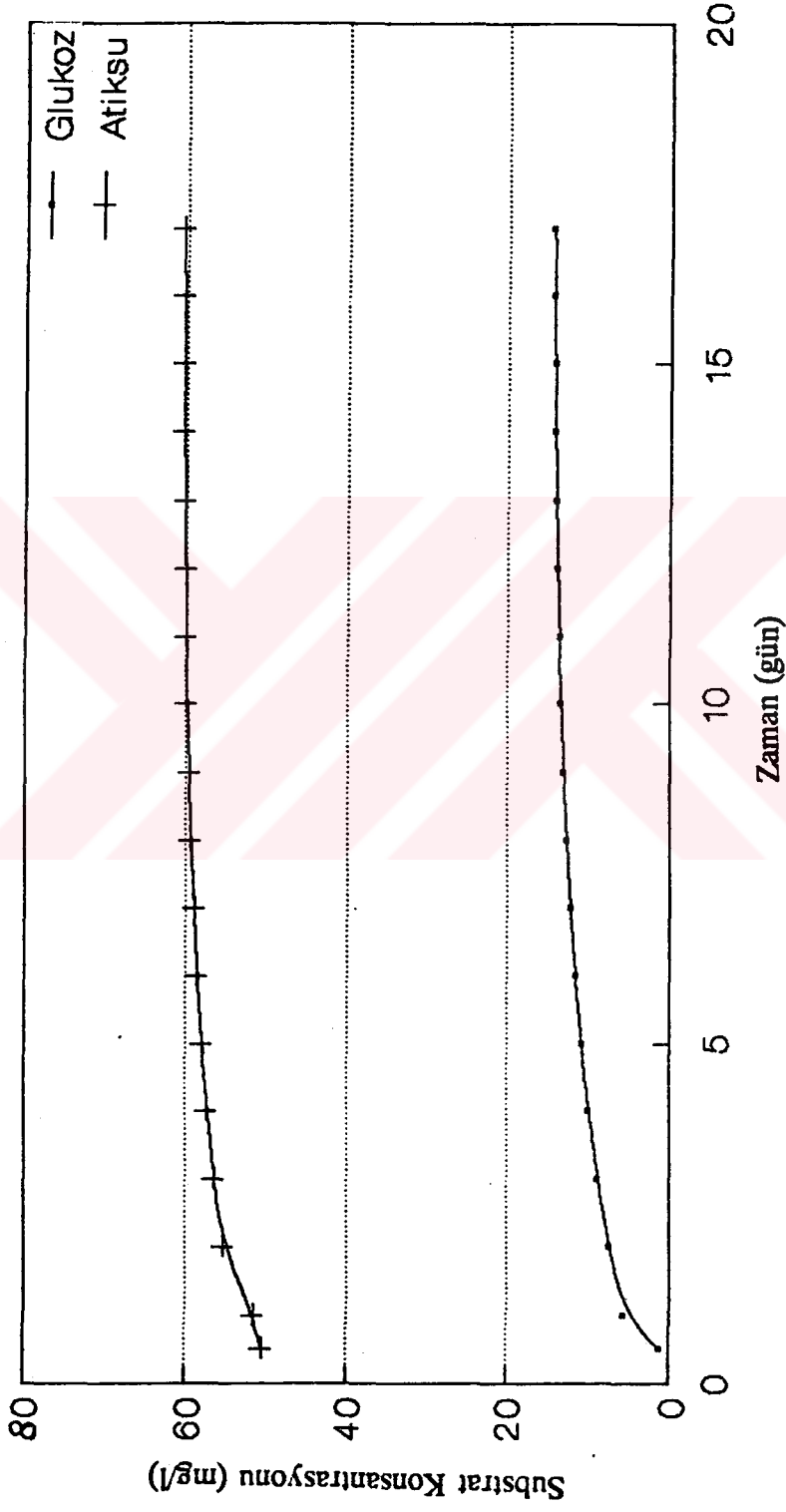
Şekil 3.8 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.023$ Olması Halinde S_I Bulunuşu



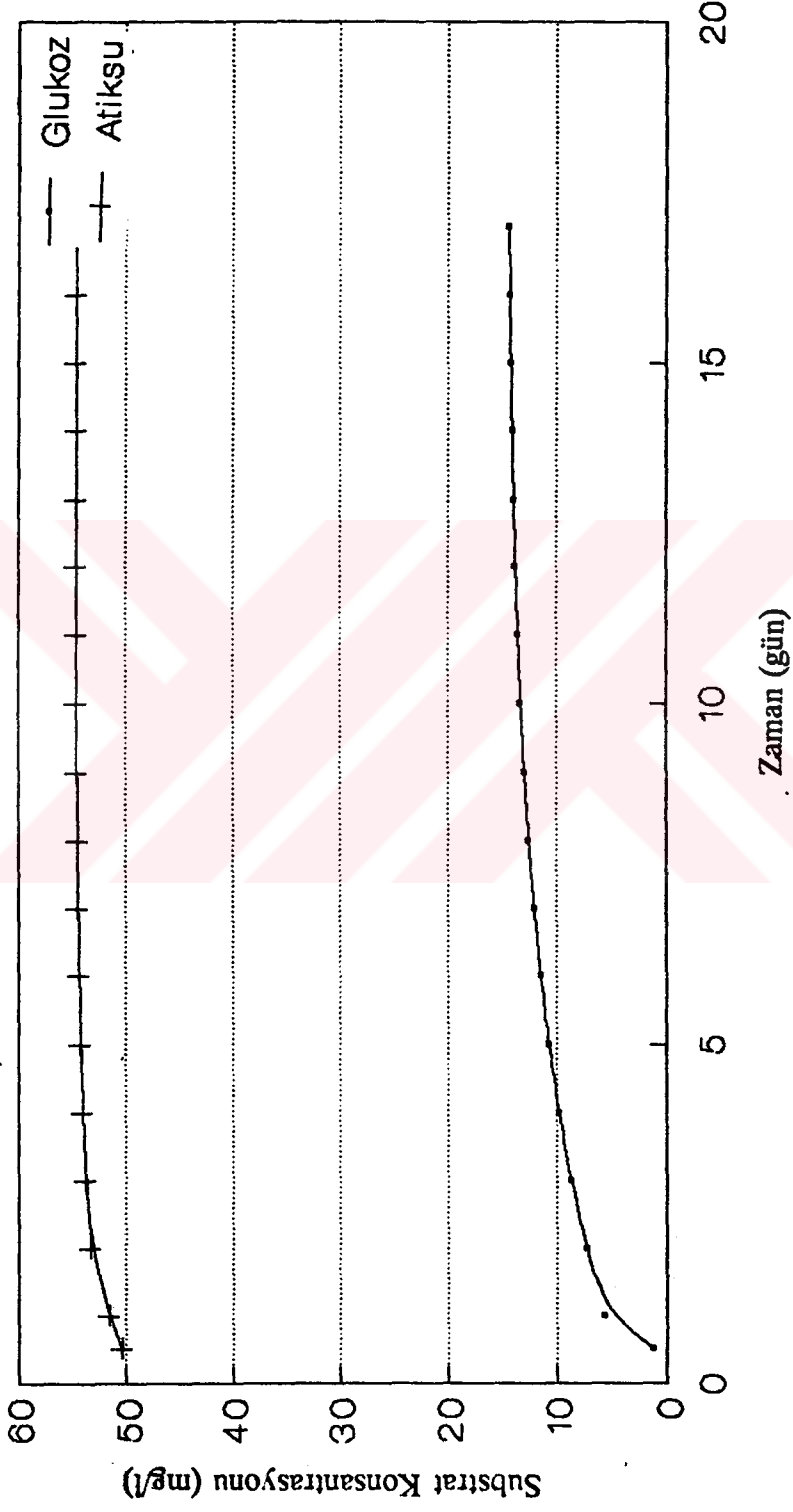
Şekil 3.9 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.45$, $\alpha=0.023$ Olması Halinde S_1 Bulunuşu



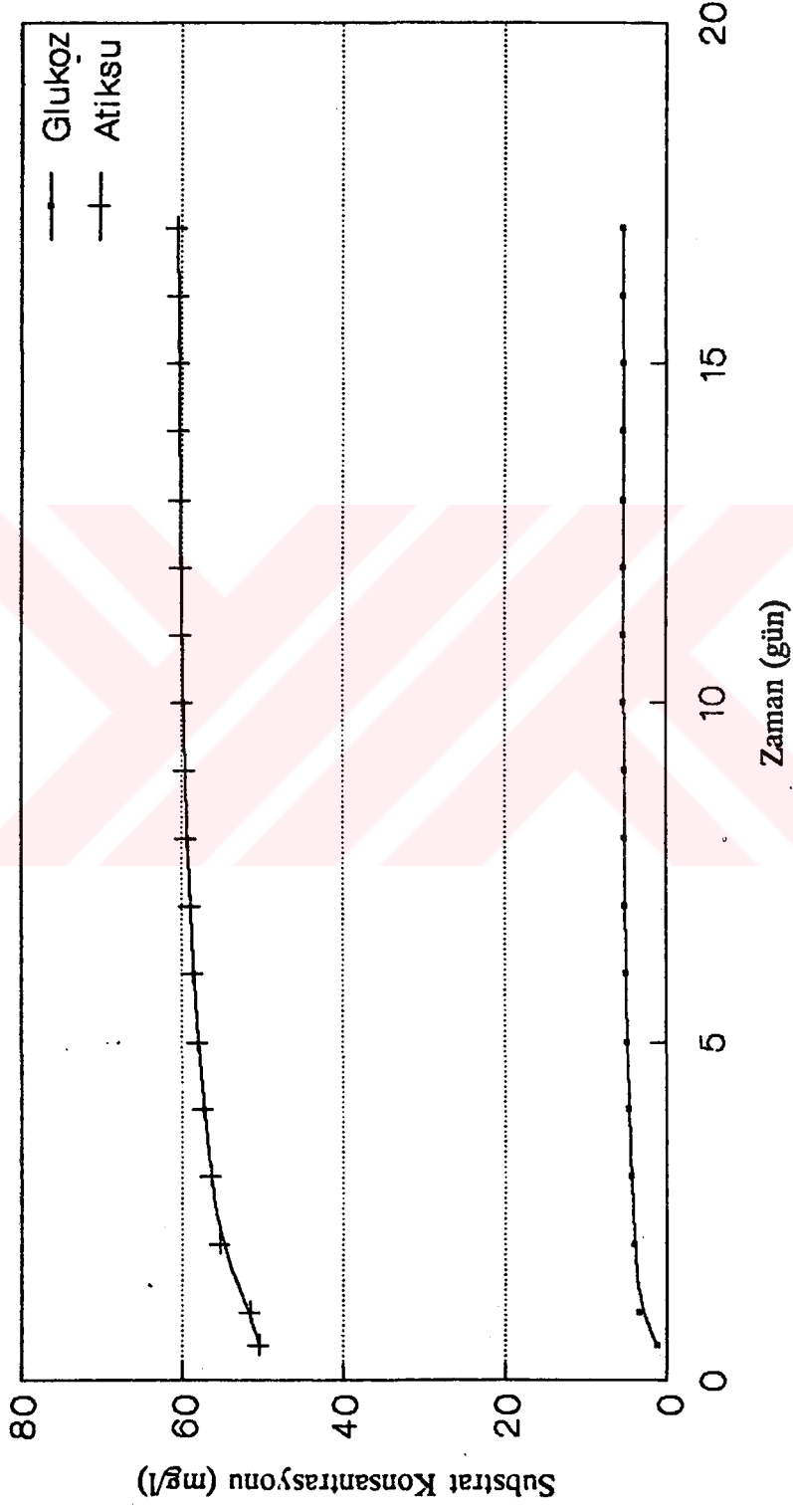
Şekil 3.10 $Y_G=0.45$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.023$ Olması Halinde S_t Bulunuşu



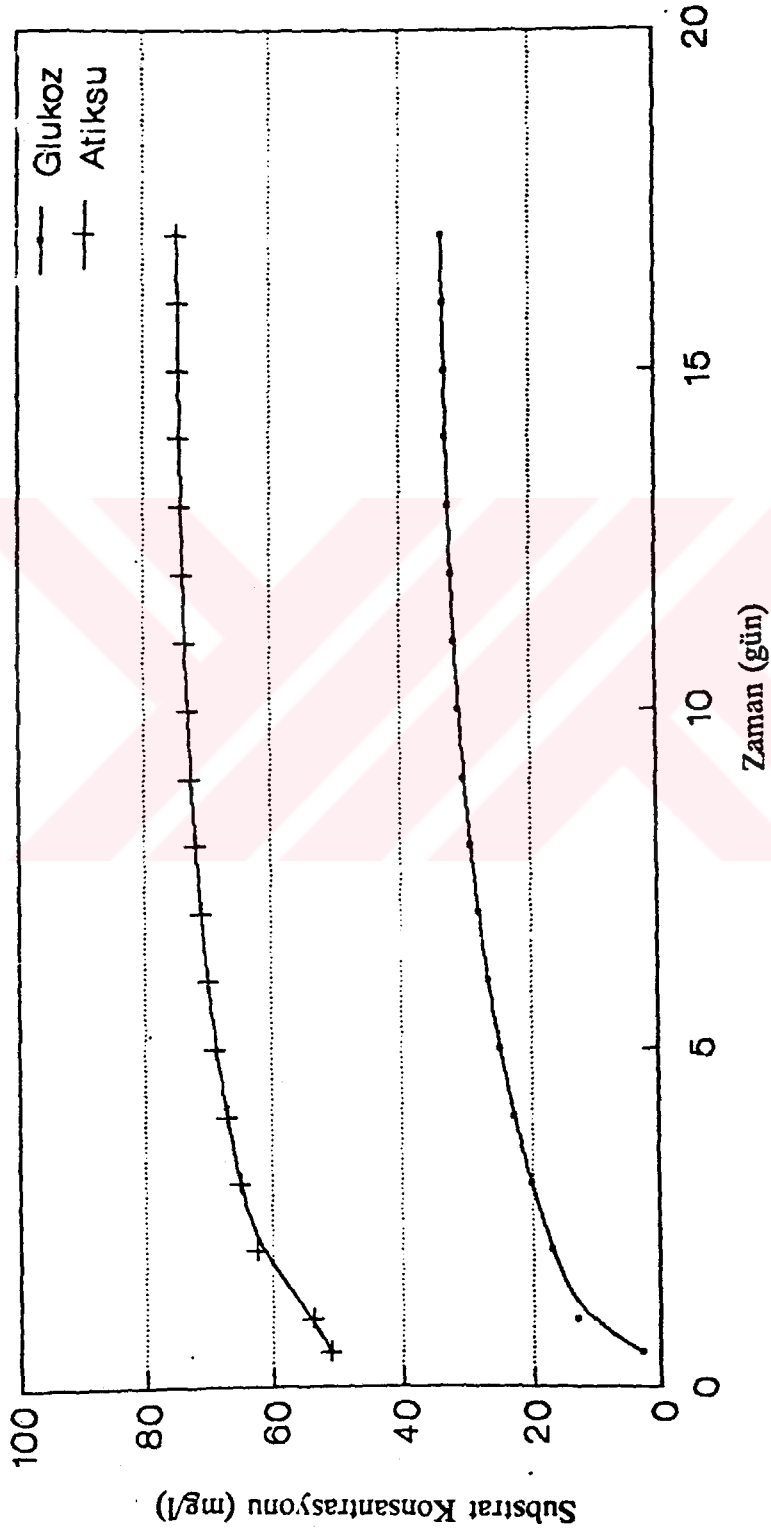
Şekil 3.11 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.015$ Olması Halinde S_t Bulunuşu



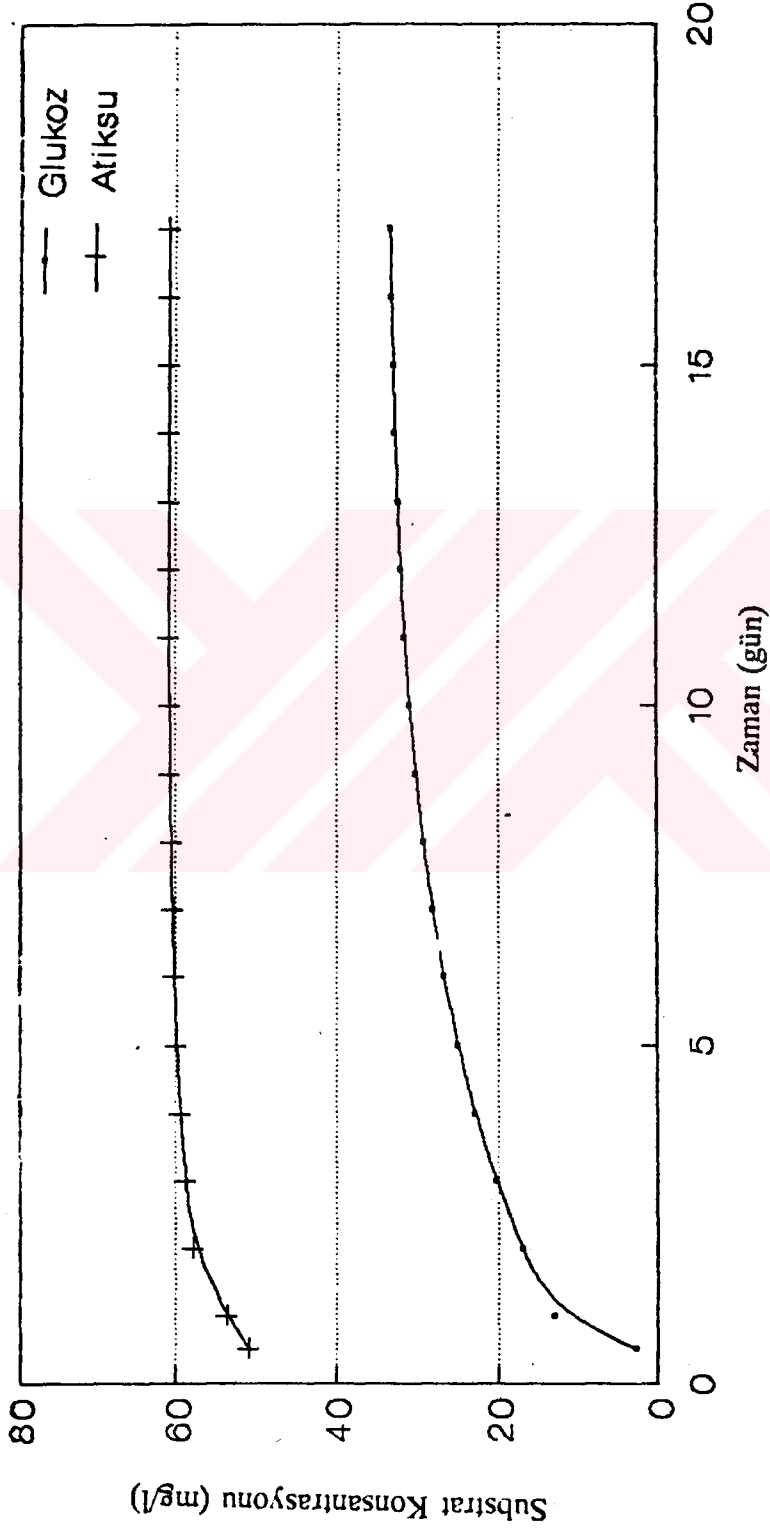
Şekil 3.12 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.45$, $\alpha=0.015$ Olması Halinde S_L Bulunuşu



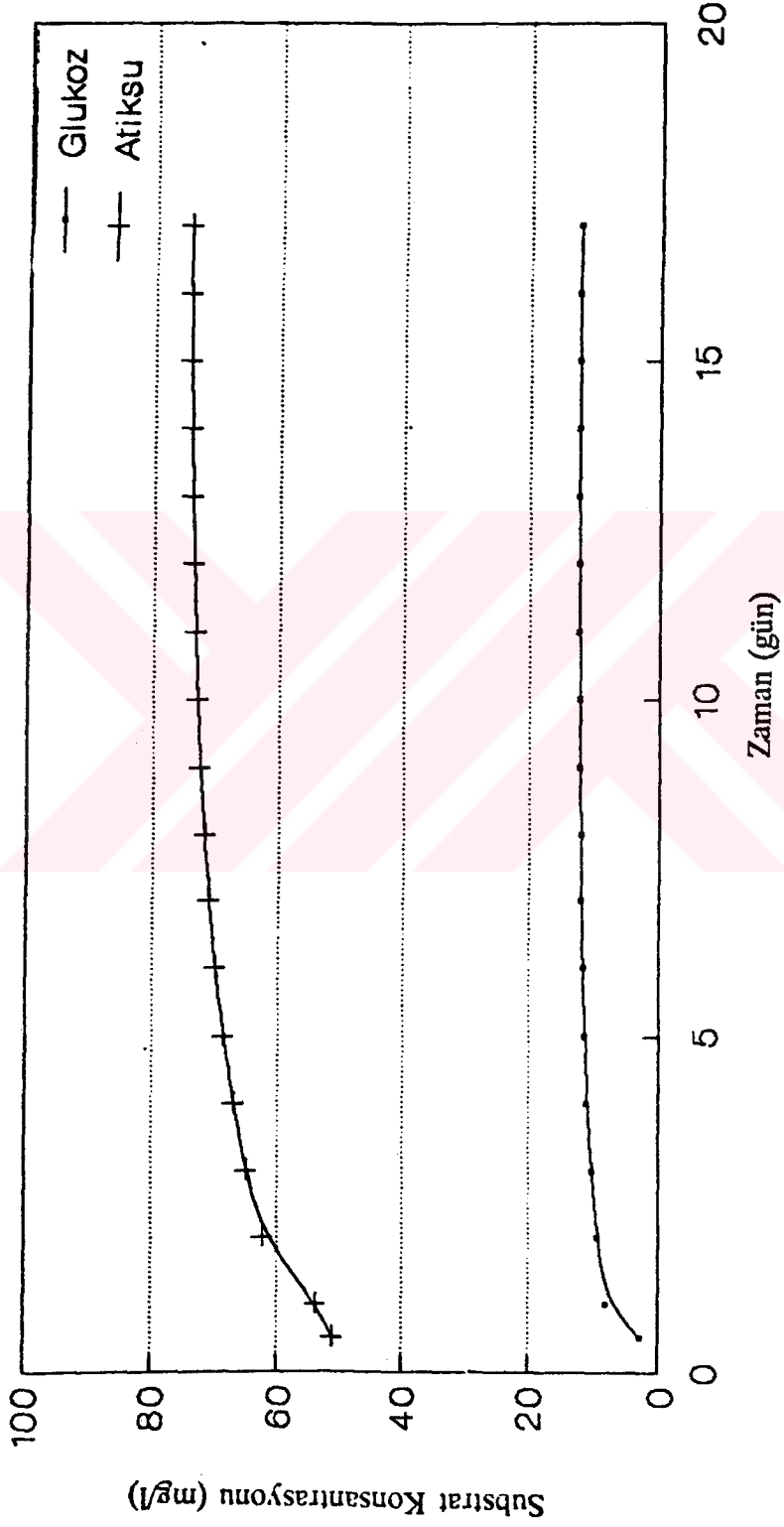
Şekil 3.13 $Y_G=0.45$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.015$ Olması Halinde S_I Bulunuşu



Şekil 3.14 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde S_t Bulunuşu ($S_s=0$, $X_s=400\text{mg/l}$)



Şekil 3.15 $Y_G=0.72$, $Y_A=0.45$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde S_i Bulunuşu ($S_s=0$, $X_s=400\text{mg/l}$)



Şekil 3.16 $Y_G=0.45$, $Y_A=0.67$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde S_i Bulunuşu ($S_s=0$, $X_s=400\text{mg/l}$)

Simülasyon çalışmasının diğer kısmında ortamda çabuk ayrışabilir substratın olmadığı ve çabuk ayrışabilir substratın tamamının hidroliz sonucu oluştuğu kabul edilecek Tablo 3.2'de verilen üç set tekrar incelenmiştir. Başlangıç koşulları olarak;

$t=0$ için $S_{s0}=0$

$S_i=50$ mg/l

$X_s=400$ mg/l

$S_T=450$ mg/l

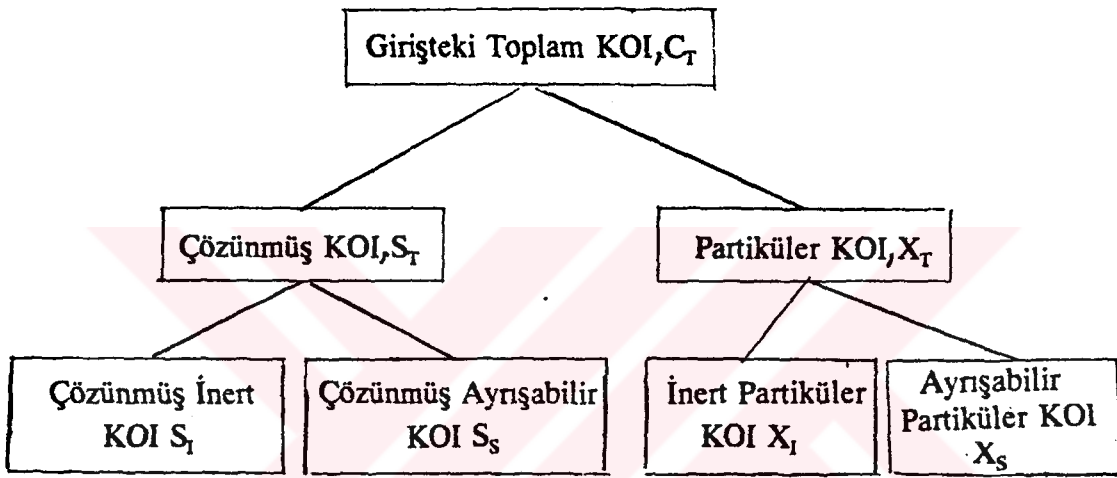
olarak belirlenmiştir. İncelemeler her iki çalışma sonucunun aynı olduğunu ve benzer grafiklerin elde edilebileceğini göstermiştir Şekil 3.14 ; 3.15 ;3.16 . Bunun sebebi şekil 2.6'dan da görülebileceği gibi hidroliz sonucu X_s 'in tamamının çabuk ayrışabilir substratı (S_s) oluşturmaktadır ve ortamda çabuk ayrışabilir substratın doğrudan bulunması veya bu substratın hidroliz sonucu oluşması sonuçları etkilememiştir.

3.4 PARTİKÜLER İNERT SUBSTRATIN BENZEŞİMİNDE DÖNÜŞÜM ORANI ETKİSİ

Endüstriyel atıksular içerik bakımından birbirinden çok farklıdır ve bu sulardaki organik madde içeriği geniş aralıklarda değişir. Aktif çamur sistemlerinde arıtılabilen bu atıksular çözünmüş inert substrat içerebildikleri gibi, inert partiküler madde de içerebilirler. İnert partiküler maddelerin konsantrasyonunun bilinmesi aktif çamur sistemlerinin işletilmesinde önemli rol oynamaktadır.

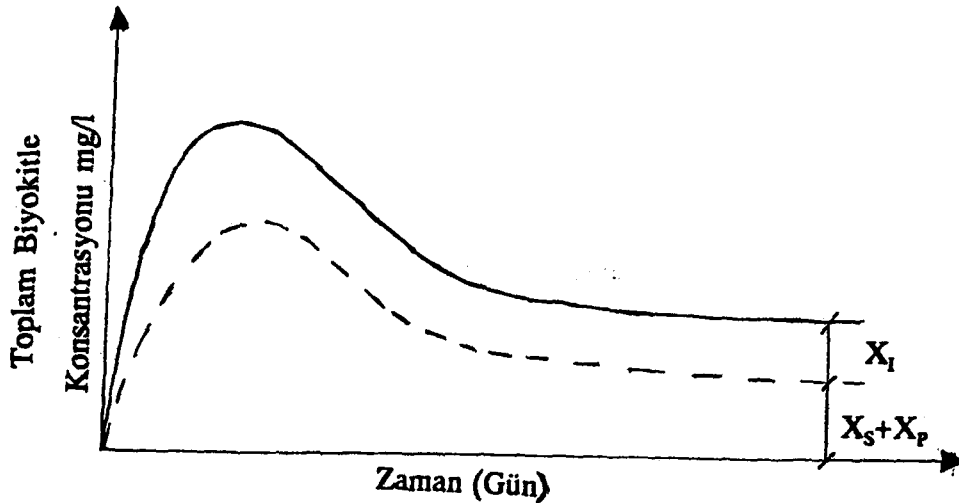
Bir atıksu içindeki organik maddeler çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler. Organik maddeler, atıksu içinde fiziksel durumlarına göre çözünmüş ve askıda organik maddeler olarak iki grupta sınıflandırılabilir (Ekama, 1986)

Bir aktif çamur sisteminde ayrışamayan organik maddeler biyolojik olarak inerttir ve hiç bir değişikliğe uğramadan sistemden çıkarlar. Çözünmüş inert maddeler (S_I) sisteme girdiği konsantrasyonda sistemi terk eder. Çözünmüş ayrışabilir maddeler (S_S) çoğalma süreci ile sistemden giderilir, inert askıda organik madde (X_I) çamur fazına geçtiği için sistemden sadece çamur atılmasıyla giderilir. Ayrışabilir partiküler maddeler (X_S) ise hidroliz süreci ile ayrışabilir organik maddeleri oluşturur ve sistemden ayrışabilir organik maddeler (S_S) gibi giderilir.



Şekil 3.17 Endüstriyel Atıksuyun Fiziksel Olarak Sınıflandırılması

Aktif çamur sistemlerinin işletilmesi açısından çok önemli olan partiküler inert substrat konsantrasyonu Bölüm 3.3'de anlatılan çözünmüş inert substrat konsantrasyonu tayini şeklinde belirlenebilir.



Şekil 3.18 Toplam Biyokitle – Zaman Profili

Çökelmiş endüstriyel atıksu ve aynı konsantrasyonda glukoz çözeltisi iki ayrı reaktörde aşı mikroorganizma ilavesi ile kesikli olarak çalıştırılmalı ve toplam biyokitle konsantrasyonu zamana karşı izlenmelidir. Belirli bir süre sonunda toplam biyokitle profili bir plato değerine ulaşacaktır (Şekil 3.18). Karşılaştırmalı yöntem ile S_1 tayininde olduğu gibi

$$X_I = X_{TA} - X_{TG} \quad (3.28)$$

şeklinde ifade edilebilir. Ancak aşağıdaki başlangıç koşulları alınarak yapılan çalışma sonucu şekil 3.19'da verilen profil elde edilmiştir.

$t=0$ için $S_s=400$ mg/l

$$S_1=0$$

$$X_s=0$$

$$X_i=50 \text{ mg/l}$$

Grafikten de görüldüğü gibi inert partiküler madde konsantrasyonu 27 mg l^{-1} olarak elde edilmektedir. X_i belirlenmesi bu şekilde yapılamaz.

Bir atıksuda üretilen inert partiküler madde konsantrasyonu ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

Bölüm 2.3.4'te verilen 2.33 denklem yardımı ile X_A , 3.25 ifadesi ile tanımlanmaktadır.

$$X_A = \frac{Y(S_{S0} - S_S)}{\mu \theta} + \frac{Y(1 - \beta) K X_S \theta}{\mu \theta} \quad (3.29)$$

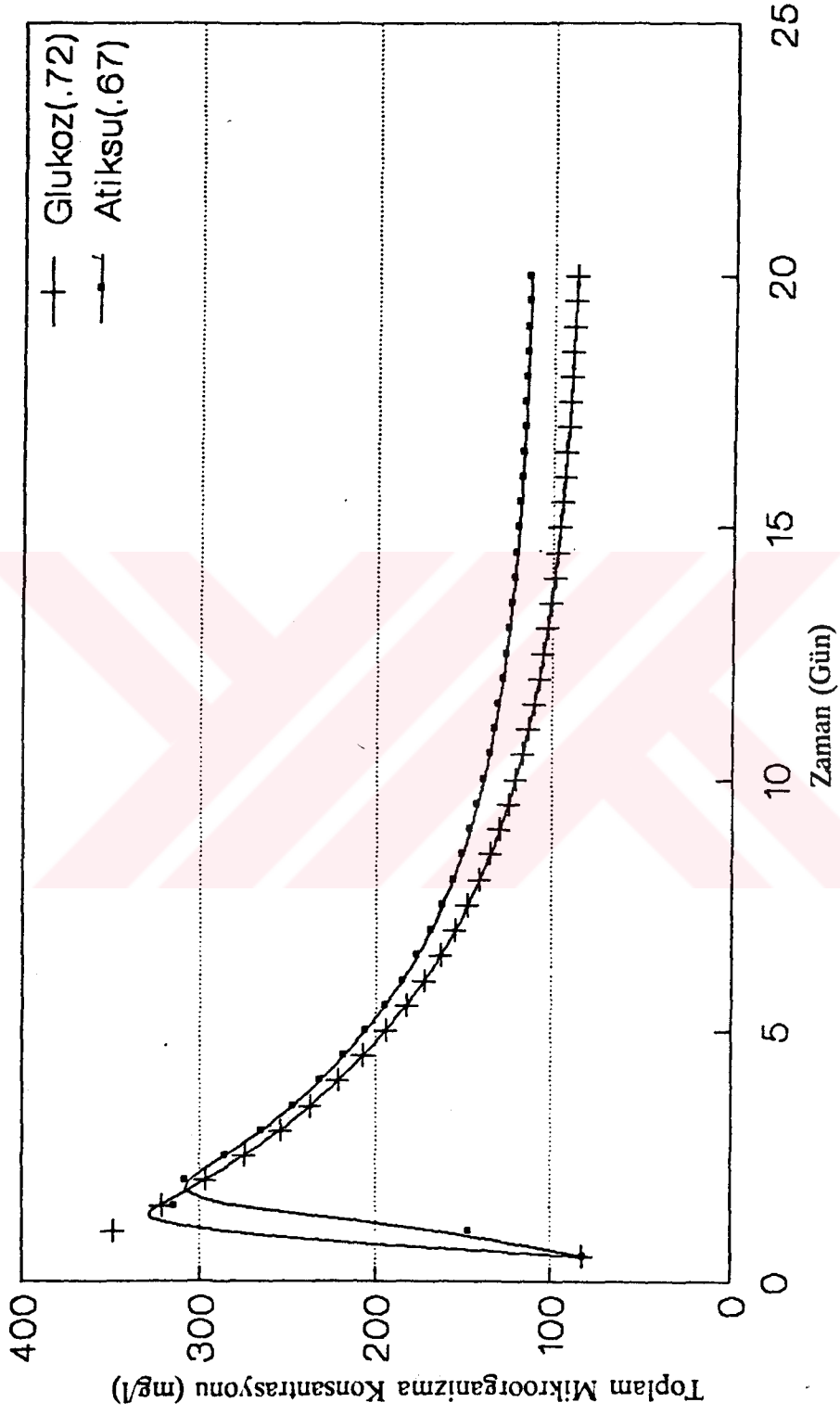
2.24 eşitliğinden;

$$X_P = \frac{f_E b_H X_A}{D_X} \quad (3.30)$$

elde edilir. 2.30 denklemi 3.29'da yerine yazılarak elde edilen eşitlik 3.30'da yerine yazılırsa,

$$X_P = \frac{f_E b_H Y (S_{S0} - S_S)}{\frac{D_X}{D_H} \left[(D_X + b_H) - \frac{Y K (1 - f_E) b_H (1 - \beta)}{D_X + K} \right]} \quad (3.31)$$

elde edilir.



Şekil 3.19 İnert Partiküler Madde Bulunuşu

$D_X \ll b_H \ll K$ kabulü sonucu

$$X_P = \frac{Y(S_{S0} - S_S)}{\frac{D_X}{D_H} [1 - Y(1 - f_E)(1 - \beta)]} \quad (3.32)$$

şeklını alır.

$\beta=0$ olması durumunda ve $\Theta/\Theta=1$ (Kesikli Sistem) için;

$$X_P = f_E \frac{Y}{1 - Y(1 - f_E)} (S_{S0} - S_S) \quad (3.33)$$

ifadesi elde edilir.

Aktif çamur sistemlerinde canlı mikroorganizma yüzdesi çok azdır ve bu yüzdeyi oluşturan mikroorganizmalar bölünme, koloni oluşturma özelliğine sahiptir. Bazı hücreler bölünme, koloni oluşturma yeteneğine sahip olmasa dahi biyokimyasal aktivitelerini sürdürdükleri için canlı kabul edilir. Canlı ve cansız mikroorganizmalar substrat giderimine katkıda bulunur. İnert biyokitle, içsel solunum ile veya diğer mikroorganizmalar tarafından kullanılarak ayrıştırılmayan biyokitle olarak tanımlanır. Mc Kinney (1962) inert biyokitlenin aktivite kaybı ile oluştuğunu ve maksimum biyokitlenin %20sinin inert olduğunu göstermiştir.

Teorik çalışmanın geçerliliğini ispatlamak için kesikli sistemler üzerinde bir benzeşim çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmada toplam KOİ değeri olarak 1000 mg/l alınmıştır. Sistemde sadece aktif biyokitle ve yavaş ayrışabilen partiküler madde(X_S) olduğu varsayılmıştır. Aktif biyokitle ve yavaş ayrışabilen partiküler madde konsantrasyonları toplamı 1000 mg/l olacak şekilde aktif biyokitle için sırasıyla 200 mg/l, 500 mg/l, 800 mg/l değerleri alınmıştır. Tablo 3.3'te verilen kinetik sabitler kullanılarak kesikli sistemler için benzeşim sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 3.3 Canlılık Kavramı Simülasyon Çalışmasında Kullanılan Kinetik ve Stokiyometrik Katsayılar

$$\begin{aligned} Y &= 0.67 \text{ mg KOI/mg KOI} \\ b_H &= 0.62 \text{ gün}^{-1} \\ f_E &= 0.08 \\ \mu &= 3 \text{ gün}^{-1} \\ K_{HL} &= 50 \\ K_S &= 20 \text{ mg/l} \\ \alpha &= 0.023 \text{ } (\beta = 0.026) \end{aligned}$$

Kesikli sistemler için model bileşenlerinin konsantrasyonlarının belirlenmesinde 4. derece Runge-Kutta Yöntemi kullanılmıştır. Sayısal integrasyon $\Delta t = 1/1000$ gün artımla bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışma canlılığın bitişine (viability=0) kadar sürdürülmüştür.

Tablo 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 incelendiğinde sistemde oluşan inert partiküler ürün aktif biyokitlenin % 20 sini oluşturduğu görülür. Bu değer ise Mc Kinney' in çalışması ile uyusmaktadır.

X_I Tayin Yöntemi 1

Endüstriyel atıksuyun içerdiği inert partiküler substrat konsantrasyonunun bulunabilmesi için çökelmiş atıksuyun bir reaktörde aşu mikroorganizma ilavesi ile kesikli olarak çalıştırılması ve toplam biyokitle konsantrasyonunun zamana karşı izlenmesi gerekir. Toplam biyokitle konsantrasyonu Şekil 3.20'de görüldüğü gibi bir süre sonra sabit bir değere ulaşır.

Bu plato değeri (X_T), atıksuyun inert partiküler madde konsantrasyonu (X_I) ve üretilen inert partiküler madde konsantrasyonu (X_E) toplamıdır.

$$X_T = X_{I1} + X_{E1} \quad (3.34)$$

Denklem 3.33 kullanılarak sistemde üretilen inert partiküler madde (X_{E1}) konsantrasyonu hesaplanır. İntert partiküler madde konsantrasyonu (X_{I1}) ise 3.34 denklemi kullanılarak bulunur. Bundan sonra üretilen inert partiküler madde konsantrasyonu 3.35 denklemi uyarınca tekrar hesaplanır.

$$X_{E2} = f_E \frac{Y}{1 - Y(1 - f_E)} (S_T - X_{I1}) \quad (3.35)$$

Bu hesap sonucu elde edilen değer 3.34 denkleminde yerine yazılarak yeni bir inert partiküler madde konsantrasyonu (X_{I2}) bulunur. Bu işlemler $X_{In} = X_{I(n+1)}$ olana kadar sürdürülür.

Yukarıda anlatılan X_I tayin yönteminin geçerliliğini ispatlamak için kesikli sistemler üzerinde bir dizi simülasyon çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada dönüşüm oranının yöntem üzerindeki etkisini görmek amacı ile üç ayrı dönüşüm oranı kullanılmıştır ($Y=0.72$, $Y=0.67$, $Y=0.45$). Bölüm 3.3'de anlatılan simülasyon çalışmalarında kullanılan çözünmüş inert ürün fraksiyonları ($\alpha = 0.023$; $\alpha = 0.035$, $\alpha = 0.015$), Task Grup kinetik ve stokiometrik katsayıları ve aşağıdaki başlangıç koşulları bu çalışmada esas alınmıştır.

$t=0$ için $S_s = 400$ mg/l

$S_R = 50$ mg/l

$X_I = 50$ mg/l

$X_s = 0$

Tablo 3.4 $X_A=200$ mg/l, $X_E=800$ mg/l, $\alpha=0.023$ Olması Halinde Sistemde Üretilen İnert Partiküler Madde Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

T	S	SR	XA	XS	XE	V	ST	XT
***	***	****	****	****	****	***	****	****
0.50	2.94	0.74	174.62	2.00	804.60	0.18	3.68	981.20
1.00	2.94	1.47	155.18	1.78	808.69	0.16	4.40	965.61
1.50	2.94	2.11	137.91	1.58	812.32	0.14	5.05	951.81
2.00	2.94	2.69	122.56	1.40	815.54	0.13	5.62	939.50
2.50	2.94	3.20	108.91	1.25	818.41	0.12	6.13	928.57
3.00	2.94	3.65	96.79	1.11	820.96	0.11	6.59	918.86
3.50	2.94	4.05	86.01	0.99	823.22	0.09	6.99	910.20
4.00	2.94	4.41	76.44	0.88	825.23	0.08	7.35	902.58
4.50	2.94	4.73	67.93	0.78	827.02	0.08	7.67	895.11
5.00	2.94	5.01	60.37	0.69	828.61	0.07	7.95	889.60
5.50	2.94	5.27	53.65	0.61	830.02	0.06	8.20	884.24
6.00	2.94	5.49	47.68	0.55	831.28	0.05	8.43	879.50
6.50	2.94	5.69	42.37	0.49	832.39	0.05	8.62	875.25
7.00	2.94	5.86	37.65	0.43	833.39	0.04	8.80	871.41
7.50	2.94	6.02	33.46	0.38	834.27	0.04	8.96	868.11
8.00	2.94	6.16	29.74	0.34	835.05	0.03	9.10	865.11
8.50	2.94	6.28	26.43	0.30	835.75	0.03	9.22	862.47
9.00	2.94	6.39	23.48	0.27	836.36	0.03	9.33	860.12
9.50	2.94	6.49	20.87	0.24	836.91	0.02	9.43	858.01
10.00	2.94	6.58	18.55	0.21	837.40	0.02	9.51	856.16
10.50	2.94	6.66	16.48	0.19	837.83	0.02	9.59	854.51
11.00	2.94	6.73	14.65	0.17	838.22	0.02	9.66	853.00
11.50	2.94	6.79	13.02	0.15	838.56	0.02	9.72	851.73
12.00	2.94	6.84	11.57	0.13	838.87	0.01	9.78	850.57
12.50	2.94	6.89	10.28	0.12	839.14	0.01	9.82	849.54
13.00	2.94	6.93	9.14	0.10	839.38	0.01	9.87	848.62
13.50	2.94	6.97	8.12	0.09	839.59	0.01	9.91	847.80
14.00	2.94	7.00	7.22	0.08	839.78	0.01	9.94	847.08
14.50	2.94	7.03	6.41	0.07	839.95	0.01	9.97	846.43
15.00	2.94	7.06	5.70	0.07	840.10	0.01	10.00	845.87
15.50	2.94	7.08	5.06	0.06	840.23	0.01	10.02	845.35
16.00	2.94	7.10	4.50	0.05	840.35	0.01	10.04	844.90
17.50	2.94	7.16	3.16	0.04	840.64	0.00	10.09	843.61
18.00	2.94	7.17	2.81	0.03	840.71	0.00	10.10	843.51
18.50	2.94	7.18	2.49	0.03	840.77	0.00	10.12	843.19

Tablo 3.5 $X_A=200$ mg/l, $X_E=800$ mg/l, $\beta=0.026$ Olması Halinde Sistemde Üretilen İnert Partiküler Madde Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

T	S	SR	XA	XS	XE	V	ST	XT
***	***	****	****	****	****	***	****	****
0.50	2.85	1.32	173.84	1.99	804.59	0.18	4.17	980.40
1.00	2.85	2.54	153.73	1.76	808.65	0.16	5.39	964.14
1.50	2.85	3.62	135.94	1.56	812.24	0.14	6.47	949.74
2.00	2.85	4.57	120.21	1.38	815.41	0.13	7.42	937.00
2.50	2.85	5.41	106.30	1.22	818.22	0.11	8.26	925.70
3.00	2.85	6.16	94.00	1.08	820.70	0.10	9.01	915.70
3.50	2.85	6.82	83.12	0.95	822.89	0.09	9.67	906.97
4.00	2.85	7.40	73.51	0.84	824.83	0.08	10.25	899.10
4.50	2.85	7.92	65.00	0.75	826.54	0.07	10.77	892.28
5.00	2.85	8.37	57.48	0.66	828.06	0.06	11.22	886.20
5.50	2.85	8.78	50.83	0.58	829.40	0.06	11.63	880.80
6.00	2.85	9.13	44.95	0.52	830.59	0.05	11.98	876.00
6.50	2.85	9.45	39.75	0.46	831.64	0.05	12.30	871.84
7.00	2.85	9.73	35.15	0.40	832.57	0.04	12.58	868.10
7.50	2.85	9.97	31.08	0.36	833.39	0.04	12.82	864.80
8.00	2.85	10.19	27.48	0.32	834.11	0.03	13.04	861.90
8.50	2.85	10.38	24.30	0.28	834.75	0.03	13.23	859.30
9.00	2.85	10.55	21.49	0.25	835.32	0.03	13.40	857.00
9.50	2.85	10.70	19.00	0.22	835.82	0.02	13.55	855.04
10.00	2.85	10.84	16.81	0.19	836.26	0.02	13.69	853.26
10.50	2.85	10.96	14.86	0.17	836.66	0.02	13.80	851.68
11.00	2.85	11.06	13.14	0.15	837.00	0.02	13.91	850.30
11.50	2.85	11.15	11.62	0.13	837.31	0.01	14.00	849.00
12.00	2.85	11.23	10.28	0.12	837.58	0.01	14.08	847.98
12.50	2.85	11.31	9.09	0.10	837.82	0.01	14.15	847.01
13.00	2.85	11.37	8.04	0.09	838.04	0.01	14.22	846.16
13.50	2.85	11.43	7.11	0.08	838.22	0.01	14.27	845.41
14.00	2.85	11.48	6.28	0.07	838.38	0.01	14.32	844.74
14.50	2.85	11.52	5.56	0.06	838.54	0.01	14.37	844.16
15.00	2.85	11.56	4.91	0.06	838.66	0.01	14.41	843.63
15.50	2.85	11.59	4.35	0.05	838.78	0.01	14.44	843.18
16.00	2.85	11.62	3.84	0.04	838.88	0.00	14.47	842.76
16.50	2.85	11.65	3.40	0.04	838.97	0.00	14.50	842.40
17.00	2.85	11.67	3.00	0.03	839.05	0.00	14.52	842.09

Tablo 3.6 $X_A=500$ mg/l, $X_E=500$ mg/l, $\alpha=0.023$ Olması Halinde Sistemde Üretilen İnert Partiküler Madde Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

T	S	SR	XA	XS	XE	V	ST	XT
***	***	****	****	****	****	***	****	****
0.50	2.94	1.93	439.19	5.03	511.57	0.46	4.86	955.79
1.00	2.94	3.76	390.30	4.47	521.84	0.43	6.69	916.62
1.50	2.94	5.38	346.86	3.98	530.97	0.39	8.32	881.80
2.00	2.94	6.93	308.24	3.53	539.09	0.36	9.76	850.86
2.50	2.94	8.11	273.93	3.14	546.30	0.33	11.05	823.37
3.00	2.94	9.25	243.44	2.79	552.70	0.30	12.19	798.93
3.50	2.94	10.27	216.34	2.48	558.40	0.28	13.20	777.22
4.00	2.94	11.17	192.26	2.20	563.46	0.25	14.10	757.92
4.50	2.94	11.97	170.85	1.96	567.96	0.23	14.90	740.77
5.00	2.94	12.68	151.83	1.74	571.95	0.21	15.61	725.53
5.50	2.94	13.31	134.93	1.55	575.51	0.19	16.25	711.98
6.00	2.94	13.87	119.91	1.37	578.66	0.17	16.81	699.95
6.50	2.94	14.37	106.56	1.22	581.47	0.15	17.31	689.25
7.00	2.94	14.82	94.70	1.09	583.96	0.14	17.75	679.75
7.50	2.94	15.21	84.16	0.96	586.17	0.13	18.15	671.30
8.00	2.94	15.56	74.79	0.86	588.14	0.11	18.50	663.79
8.50	2.94	15.87	66.46	0.76	589.89	0.10	18.81	657.12
9.00	2.94	16.15	59.07	0.68	591.45	0.09	19.09	651.19
9.50	2.94	16.40	52.49	0.60	592.83	0.08	19.33	645.92
10.00	2.94	16.61	46.65	0.53	594.06	0.07	19.55	641.24
12.00	2.94	17.27	29.09	0.33	597.75	0.05	20.21	627.11
12.50	2.94	17.39	25.86	0.30	598.43	0.04	20.33	624.58
13.00	2.94	17.50	22.98	0.26	599.03	0.04	20.44	622.27
13.50	2.94	17.60	20.42	0.23	599.57	0.03	20.53	620.22
14.00	2.94	17.68	18.15	0.21	600.05	0.03	20.62	618.40
14.50	2.94	17.76	16.13	0.18	600.47	0.03	20.69	616.78
15.00	2.94	17.82	14.33	0.16	600.85	0.02	20.76	615.34
15.50	2.94	17.88	12.74	0.15	601.18	0.02	20.82	614.07
16.00	2.94	17.94	11.32	0.13	601.48	0.02	20.87	612.93
16.50	2.94	17.98	10.06	0.12	601.75	0.02	20.92	611.91
17.00	2.94	18.03	8.94	0.10	601.98	0.01	20.96	611.01
17.50	2.94	18.06	7.94	0.09	602.19	0.01	21.00	610.21
18.00	2.94	18.10	7.06	0.08	602.38	0.01	21.03	609.52
18.50	2.94	18.13	6.27	0.07	602.54	0.01	21.06	608.89
19.00	2.94	18.15	5.58	0.06	602.69	0.01	21.09	608.33
19.50	2.94	18.17	4.95	0.06	602.82	0.01	21.11	607.81
20.00	2.94	18.20	4.40	0.05	602.94	0.01	21.13	607.39
20.50	2.94	18.21	3.91	0.04	603.04	0.01	21.15	606.99
21.00	2.94	18.23	3.48	0.04	603.13	0.01	21.17	606.64
21.50	2.94	18.24	3.09	0.04	603.22	0.01	21.18	606.34

Tablo 3.7 $X_A=500$ mg/l, $X_E=500$ mg/l, $\beta=0.026$ Olması Halinde Sistemde Üretilen

İnert Partiküler Madde Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

T	S	SR	XA	XS	XE	V	ST	XT
***	***	****	****	****	****	***	****	****
0.50	2.85	3.32	437.16	5.01	511.54	0.46	6.17	953.71
1.00	2.85	6.39	386.57	4.43	521.74	0.42	9.24	912.71
1.50	2.85	9.10	341.85	3.92	530.77	0.39	11.95	876.50
2.00	2.85	11.49	302.29	3.47	538.74	0.36	14.34	844.50
2.50	2.85	13.61	267.31	3.06	545.80	0.33	16.46	816.17
3.00	2.85	15.49	236.38	2.71	552.03	0.30	18.34	791.11
3.50	2.85	17.15	209.03	2.40	557.55	0.27	19.99	768.96
4.00	2.85	18.61	184.84	2.12	562.43	0.25	21.46	749.36
4.50	2.85	19.91	163.45	1.87	566.74	0.22	22.76	732.07
5.00	2.85	21.05	144.54	1.66	570.56	0.20	23.90	716.75
5.50	2.85	22.07	127.82	1.47	573.93	0.18	24.92	703.21
6.00	2.85	22.96	113.03	1.30	576.91	0.16	25.81	691.20
6.50	2.85	23.76	99.95	1.15	579.55	0.15	26.60	680.64
7.00	2.85	24.46	88.38	1.01	581.88	0.13	27.31	671.26
7.50	2.85	25.08	78.16	0.90	583.94	0.12	27.93	663.00
8.00	2.85	25.62	69.11	0.79	585.77	0.11	28.47	655.61
8.50	2.85	26.11	61.12	0.70	587.38	0.09	28.96	649.20
9.00	2.85	26.54	54.04	0.62	588.81	0.08	29.39	643.41
9.50	2.85	26.92	47.79	0.55	590.07	0.07	29.77	638.41
10.00	2.85	27.25	42.26	0.48	591.18	0.07	30.10	633.91
10.50	2.85	27.55	37.37	0.43	592.17	0.06	30.40	629.91
11.00	2.85	27.81	33.05	0.38	593.04	0.05	30.66	626.41
11.50	2.85	28.04	29.22	0.34	593.81	0.05	30.89	623.31
12.00	2.85	28.25	25.84	0.30	594.49	0.04	31.10	620.61
12.50	2.85	28.43	22.85	0.26	595.10	0.04	31.28	618.21
13.00	2.85	28.59	20.21	0.23	595.63	0.03	31.44	616.01
13.50	2.85	28.73	17.87	0.20	596.10	0.03	31.58	614.11
14.00	2.85	28.85	15.80	0.18	596.52	0.03	31.70	612.51
14.50	2.85	28.97	13.97	0.16	596.89	0.02	31.81	611.01
15.00	2.85	29.06	12.36	0.14	597.21	0.02	31.91	609.71
15.50	2.85	29.15	10.93	0.13	597.50	0.02	32.00	608.51
16.00	2.85	29.23	9.66	0.11	597.76	0.02	32.08	607.51
16.50	2.85	29.29	8.54	0.10	597.98	0.01	32.14	606.61
17.00	2.85	29.35	7.56	0.09	598.18	0.01	32.20	605.81
17.50	2.85	29.41	6.68	0.08	598.36	0.01	32.26	605.11
18.00	2.85	29.45	5.91	0.07	598.51	0.01	32.30	604.41
18.50	2.85	29.50	5.22	0.06	598.65	0.01	32.34	603.91
19.00	2.85	29.53	4.62	0.05	598.77	0.01	32.38	603.41
19.50	2.85	29.56	4.09	0.05	598.88	0.01	32.41	603.11
20.00	2.85	29.59	3.61	0.04	598.97	0.01	32.44	602.61
20.50	2.85	29.62	3.19	0.04	599.07	0.01	32.47	602.31
21.00	2.85	29.64	2.83	0.03	599.14	0.00	32.49	601.91

Tablo 3.8 $X_A=800$ mg/l, $X_E=200$ mg/l, $\alpha=0.023$ Olması Halinde Sistemde Üretilen

İnert Partiküler Madde Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

T	S	SR	XA	XS	XE	V	ST	XT
***	***	****	****	****	****	***	****	****
0.50	2.94	3.11	703.76	8.07	218.53	0.76	6.05	930.36
1.00	2.94	6.05	625.42	7.17	235.00	0.72	8.98	867.58
1.50	2.94	8.65	555.79	6.37	249.63	0.68	11.59	811.79
2.00	2.94	10.97	493.92	5.66	262.63	0.65	13.90	762.21
4.50	2.94	19.20	273.77	3.14	308.89	0.47	22.14	585.80
5.00	2.94	20.34	243.30	2.79	315.29	0.43	23.28	561.38
5.50	2.94	21.36	216.21	2.48	320.99	0.40	24.29	539.68
6.00	2.94	22.26	192.15	2.20	326.04	0.37	25.19	520.39
6.50	2.94	23.06	170.76	1.96	330.54	0.34	25.99	503.25
7.00	2.94	23.77	151.75	1.74	334.53	0.31	26.70	488.02
7.50	2.94	24.40	134.85	1.55	338.08	0.28	27.34	474.48
8.00	2.94	24.96	119.84	1.37	341.24	0.26	27.90	462.45
8.50	2.94	25.46	106.50	1.22	344.04	0.24	28.40	451.76
9.00	2.94	25.91	94.65	1.08	346.53	0.21	28.84	442.26
9.50	2.94	26.30	84.11	0.96	348.75	0.19	29.24	433.82
10.00	2.94	26.65	74.75	0.86	350.71	0.18	29.59	426.32
10.50	2.94	26.96	66.43	0.76	352.46	0.16	29.90	419.65
11.00	2.94	27.24	59.03	0.68	354.02	0.14	30.17	413.72
11.50	2.94	27.48	52.46	0.60	355.40	0.13	30.42	408.46
12.00	2.94	27.70	46.62	0.53	356.62	0.12	30.64	403.78
12.50	2.94	27.90	41.43	0.47	357.71	0.10	30.83	399.62
13.00	2.94	28.07	36.82	0.42	358.68	0.09	31.00	395.92
13.50	2.94	28.22	32.72	0.38	359.54	0.08	31.16	392.64
14.00	2.94	28.36	29.08	0.33	360.31	0.07	31.29	389.72
14.50	2.94	28.48	25.84	0.30	360.99	0.07	31.42	387.13
15.00	2.94	28.59	22.96	0.26	361.60	0.06	31.52	384.82
15.50	2.94	28.68	20.41	0.23	362.13	0.05	31.62	382.77
16.00	2.94	28.77	18.14	0.21	362.61	0.05	31.70	380.95
16.50	2.94	28.84	16.12	0.18	363.03	0.04	31.78	379.34
17.00	2.94	28.91	14.32	0.16	363.41	0.04	31.85	377.90
17.50	2.94	28.97	12.73	0.15	363.75	0.03	31.91	376.62
18.00	2.94	29.02	11.31	0.13	364.04	0.03	31.96	375.49
18.50	2.94	29.07	10.05	0.12	364.31	0.03	32.01	374.48
19.00	2.94	29.11	8.93	0.10	364.54	0.02	32.05	373.58
19.50	2.94	29.15	7.94	0.09	364.75	0.02	32.09	372.78
20.00	2.94	29.18	7.06	0.08	364.94	0.02	32.12	372.08
20.50	2.94	29.21	6.27	0.07	365.10	0.02	32.15	371.44
21.00	2.94	29.24	5.57	0.06	365.25	0.02	32.17	370.89
21.50	2.94	29.26	4.95	0.06	365.38	0.01	32.20	370.39
22.00	2.94	29.28	4.40	0.05	365.50	0.01	32.22	369.95
22.50	2.94	29.30	3.91	0.04	365.60	0.01	32.24	369.56
25.50	2.94	29.37	1.93	0.02	366.01	0.01	32.31	367.96
26.00	2.94	29.38	1.71	0.02	366.06	0.00	32.32	367.79

Tablo 3.9 $X_A=800$ mg/l, $X_E=200$ mg/l, $B=0.026$ Olması Halinde Sistemde Üretilen İnert Partiküler Madde Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

T	S	SR	XA	XS	XE	V	ST	XT
***	***	****	****	****	****	***	****	****
0.50	2.85	5.32	700.47	8.03	218.49	0.76	8.17	926.99
1.00	2.85	10.23	619.42	7.10	234.84	0.72	13.08	861.36
1.50	2.85	14.58	547.74	6.28	249.29	0.68	17.42	803.32
2.00	2.85	18.42	484.36	5.55	262.08	0.64	21.27	751.99
2.50	2.85	21.81	428.32	4.91	273.38	0.61	24.66	706.61
3.00	2.85	24.82	378.76	4.34	283.37	0.57	27.66	666.47
3.50	2.85	27.47	334.93	3.84	292.21	0.53	30.32	630.98
4.00	2.85	29.82	296.18	3.40	300.03	0.49	32.67	599.60
4.50	2.85	31.90	261.90	3.00	306.94	0.46	34.75	571.85
5.00	2.85	33.73	231.60	2.66	313.05	0.42	36.58	547.31
5.50	2.85	35.36	204.80	2.35	318.46	0.39	38.21	525.61
6.00	2.85	36.79	181.10	2.08	323.24	0.36	39.64	506.42
6.50	2.85	38.06	160.15	1.84	327.46	0.33	40.91	489.45
7.00	2.85	39.19	141.62	1.62	331.20	0.30	42.04	474.44
7.50	2.85	40.18	125.23	1.44	334.50	0.27	43.03	461.17
8.00	2.85	41.06	110.74	1.27	337.43	0.25	43.91	449.44
8.50	2.85	41.83	97.93	1.12	340.01	0.22	44.68	439.06
9.00	2.85	42.52	86.60	0.99	342.30	0.20	45.37	429.89
9.50	2.85	43.13	76.58	0.88	344.32	0.18	45.98	421.77
10.00	2.85	43.66	67.72	0.78	346.10	0.16	46.51	414.60
10.50	2.85	44.14	59.88	0.69	347.68	0.15	46.99	408.25
11.00	2.85	44.56	52.95	0.61	349.08	0.13	47.41	402.64
11.50	2.85	44.93	46.82	0.54	350.32	0.12	47.78	397.68
12.00	2.85	45.26	41.41	0.47	351.41	0.11	48.11	393.29
12.50	2.85	45.55	36.62	0.42	352.38	0.09	48.40	389.41
13.00	2.85	45.81	32.38	0.37	353.23	0.08	48.66	385.98
13.50	2.85	46.03	28.63	0.33	353.99	0.07	48.88	382.95
14.00	2.85	46.23	25.32	0.29	354.65	0.07	49.08	380.26
14.50	2.85	46.41	22.39	0.26	355.25	0.06	49.26	377.89
15.00	2.85	46.57	19.80	0.23	355.77	0.05	49.42	375.79
15.50	2.85	46.71	17.51	0.20	356.23	0.05	49.56	373.94
16.00	2.85	46.83	15.48	0.18	356.64	0.04	49.68	372.30
16.50	2.85	46.94	13.69	0.16	357.00	0.04	49.79	370.85
17.00	2.85	47.03	12.11	0.14	357.32	0.03	49.88	369.56
17.50	2.85	47.12	10.71	0.12	357.60	0.03	49.97	368.43
18.00	2.85	47.19	9.47	0.11	357.85	0.03	50.04	367.43
18.50	2.85	47.26	8.37	0.10	358.07	0.02	50.11	366.54
19.00	2.85	47.32	7.40	0.08	358.27	0.02	50.17	365.75
19.50	2.85	47.37	6.55	0.08	358.44	0.02	50.22	365.06
20.00	2.85	47.42	5.79	0.07	358.59	0.02	50.27	364.45
20.50	2.85	47.46	5.12	0.06	358.73	0.01	50.31	363.91
21.00	2.85	47.49	4.53	0.05	358.85	0.01	50.34	363.43
21.50	2.85	47.53	4.00	0.05	358.96	0.01	50.37	363.00
22.00	2.85	47.55	3.54	0.04	359.05	0.01	50.40	362.63
22.50	2.85	47.58	3.13	0.04	359.13	0.01	50.43	362.29
23.00	2.85	47.60	2.77	0.03	359.20	0.01	50.45	362.00
23.50	2.85	47.62	2.45	0.03	359.27	0.01	50.47	361.74
24.00	2.85	47.64	2.16	0.02	359.33	0.01	50.49	361.52
24.50	2.85	47.65	1.91	0.02	359.37	0.01	50.50	361.31
25.00	2.85	47.67	1.69	0.02	359.42	0.00	50.51	361.13

Bu çalışmalar sonucu elde edilen toplam biyokitle zaman profilleri Şekil 3.21 ve Şekil 3.29 arasında verilmiştir. Şekil 3.21 incelendiğinde toplam biyokitle konsantrasyonunun 128.4 mg/l olduğu görülür. denklem 3.33 kullanılarak

$$X_{E1} = 0.08 \frac{0.72}{1 - 0.72 (1 - 0.08)} 500$$

$$X_{E1} = 85.31 \text{ mg/l}$$

elde edilir. Denklem 3.34 uyarınca

$$X_{I1} = 128.4 - 85.31$$

$$X_{I1} = 43.09 \text{ mg/l} \neq 50 \text{ mg/l}$$

$X_{I1} = X_I$ o halde ikinci adıma geçilmektedir. Denklem 3.35 kullanılarak

$$X_{E2} = 0.08 \frac{0.72}{1 - 0.72 (1 - 0.08)} (500 - 43.09)$$

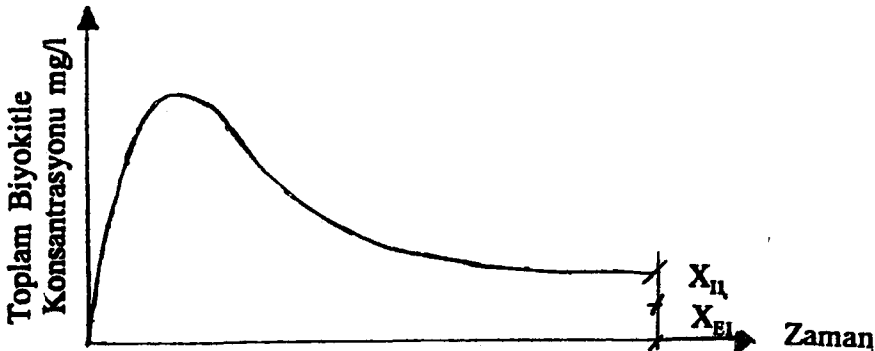
$$X_{E2} = 77.96 \text{ mg/l}$$

Denklem 3.34'de X_{E2} değerini yerine yazarsak

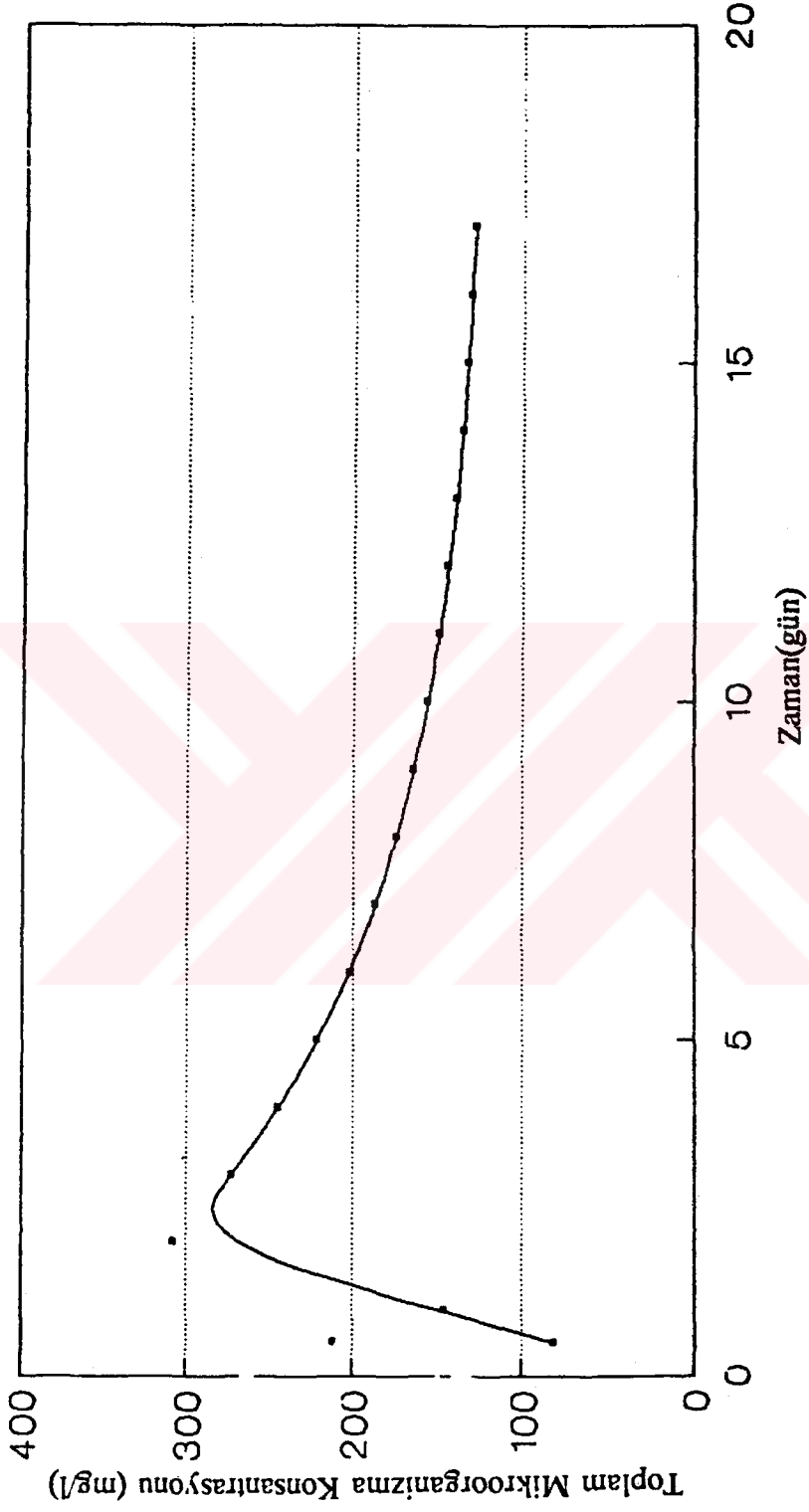
$$X_{I2} = 128.4 - 77.96 = 50 \text{ mg/l}$$

elde edilir ($X_I = X_{I2}$).

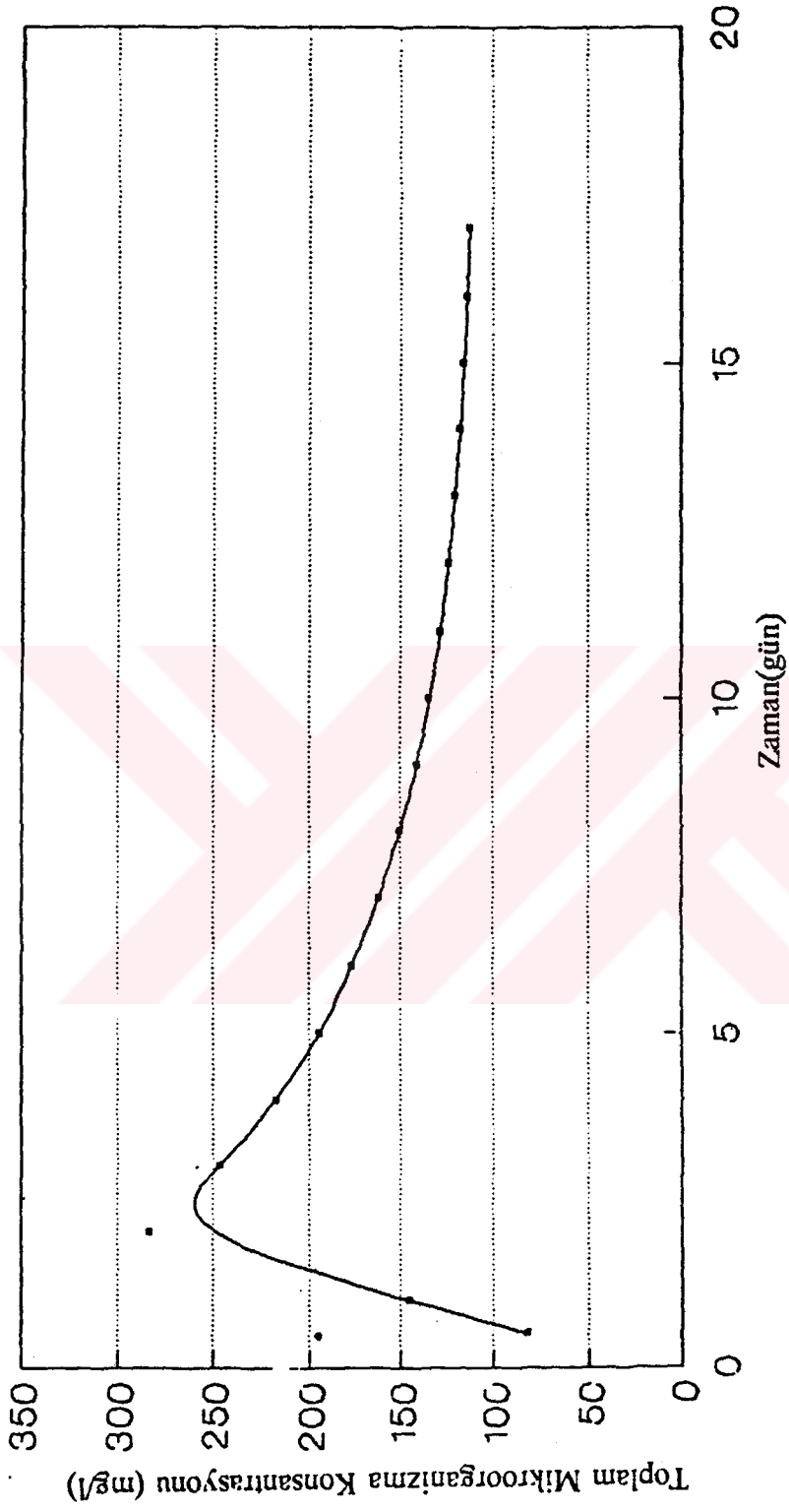
Simülasyon çalışmaları sonucu elde edilen toplam biyokitle-zaman profilleri belirli bir süre sonra bir plato oluşturmaktadır. Bu plato değeri inert partiküler madde ve üretilen partiküler madde toplamından oluşmaktadır. Yapılan çalışmalar sistemde üretilen inert partiküler madde konsantrasyonunun dönüşüm oranının artması ile arttığını göstermektedir. Dönüşüm oranının düşük bir değerde olması, yukarıda anlatılan inert partiküler madde konsantrasyonunun belirlenmesinde uygulanan hesap adımlarının artmasına neden olmaktadır. Çözünmüş inert ürün fraksiyonu (α veya β) toplam biyokitle konsantrasyonu etkilememektedir. Bunun sebebi toplam biyokitle konsantrasyonundaki artışın α katsayısından bağımsız olmasıdır.



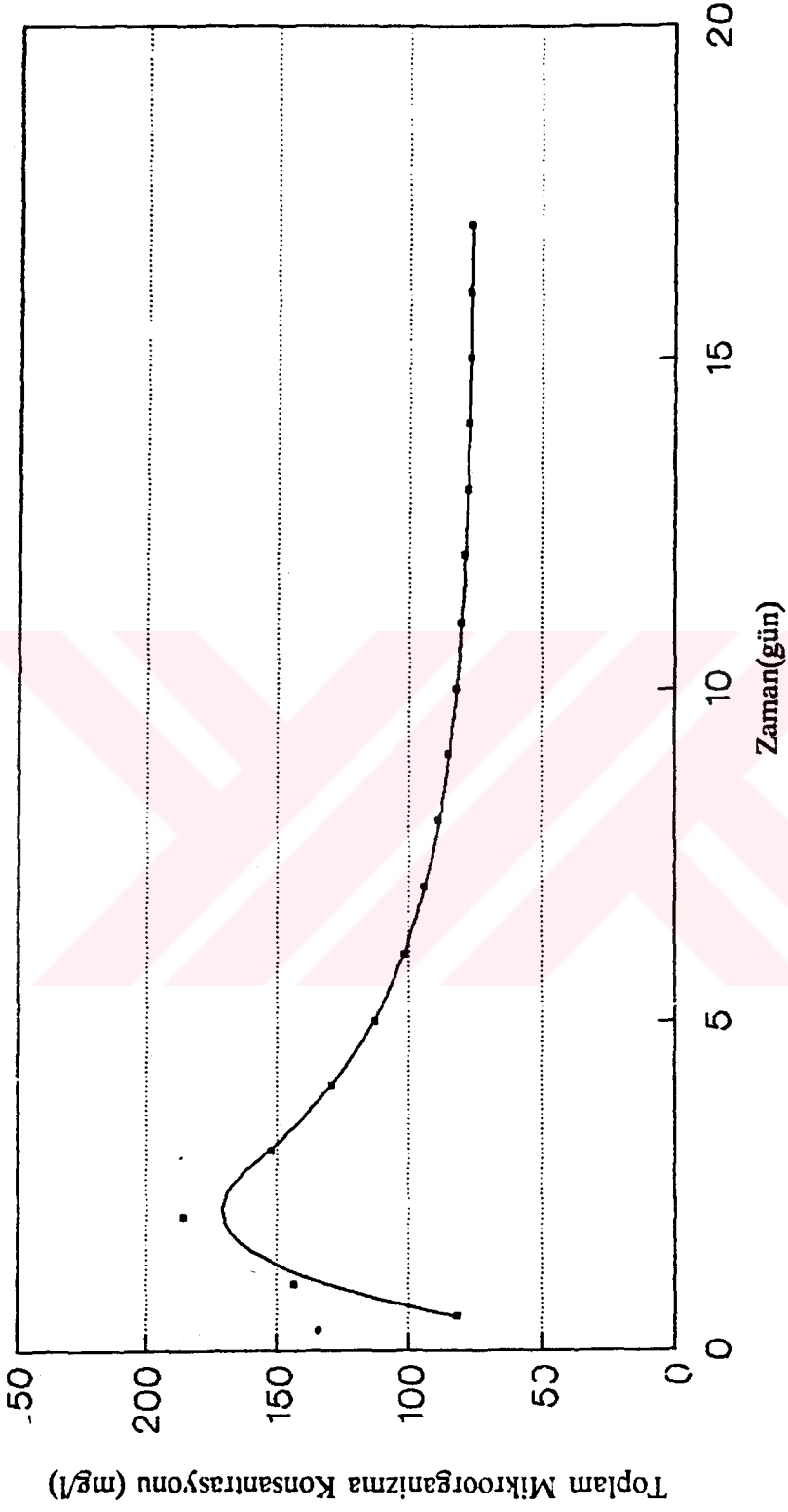
Şekil 3.20 Toplam Biyokitle - Zaman Profili



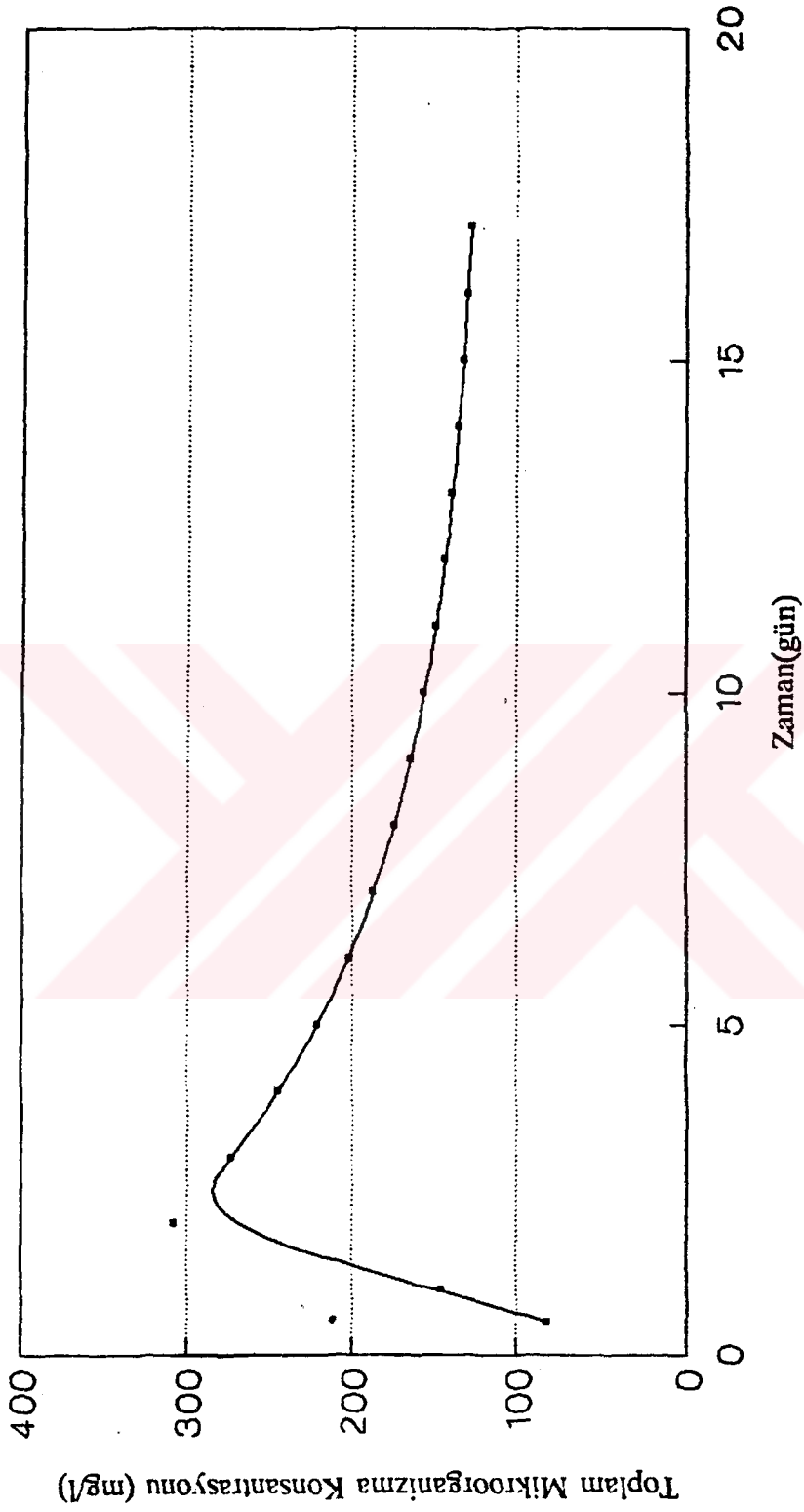
Şekil 3.21 $Y=0.72$, $\alpha=0.023$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_t Bulunuşu



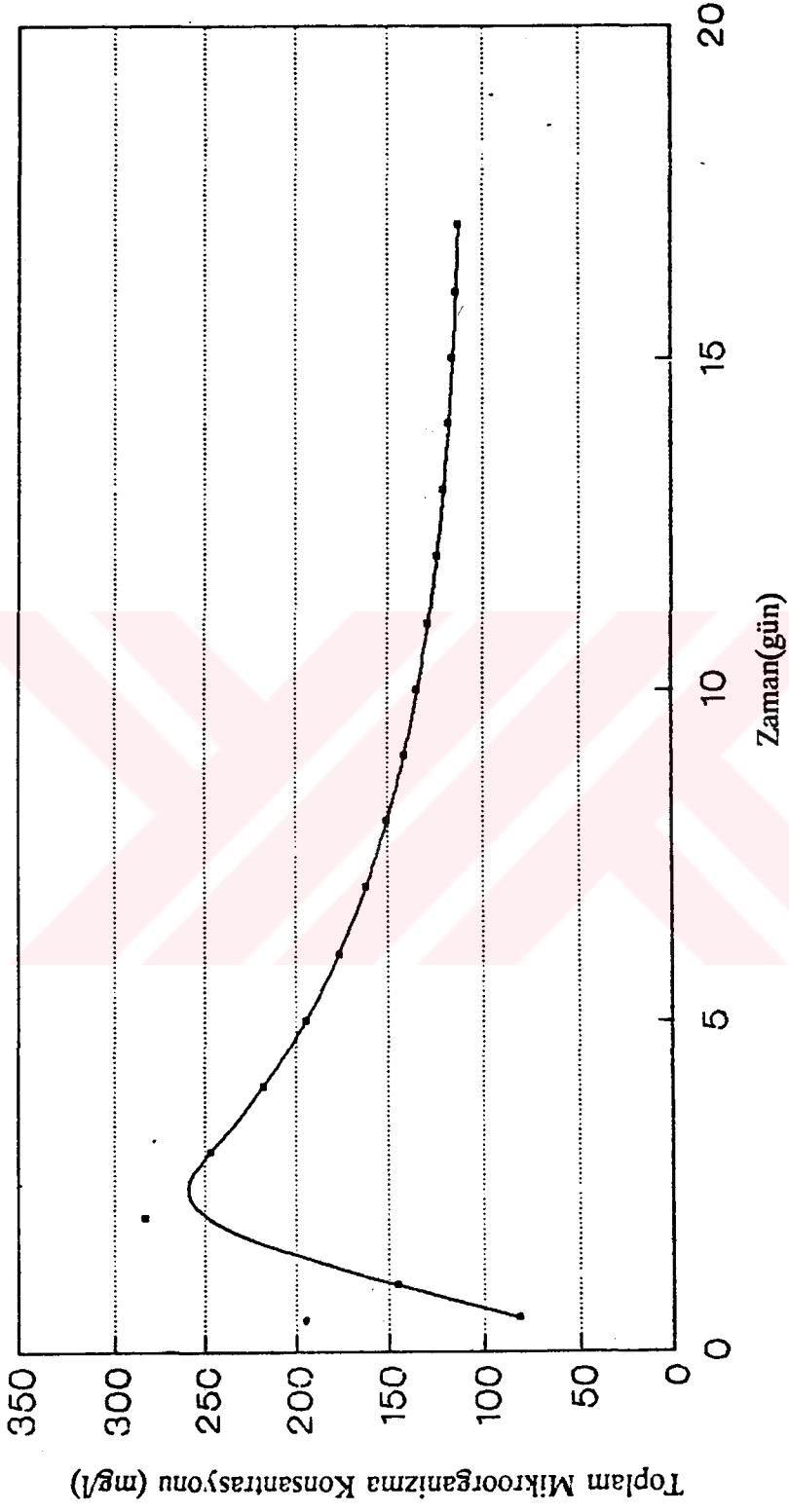
Şekil 3.22 $Y=0.67$, $\alpha=0.023$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_t Bulunuşu



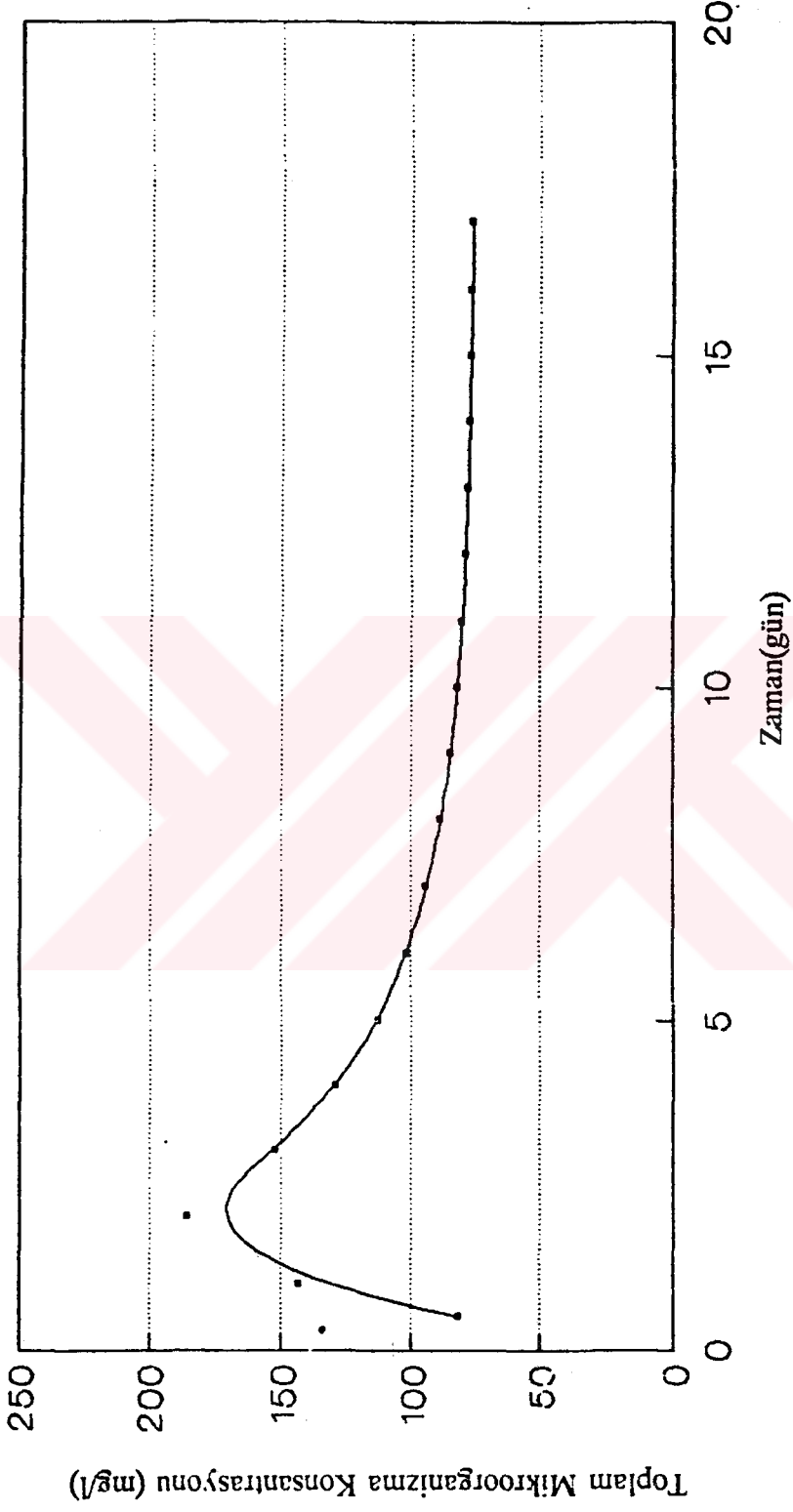
Şekil 3.23 $Y=0.45$, $\alpha=0.023$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_t Bulunuşu



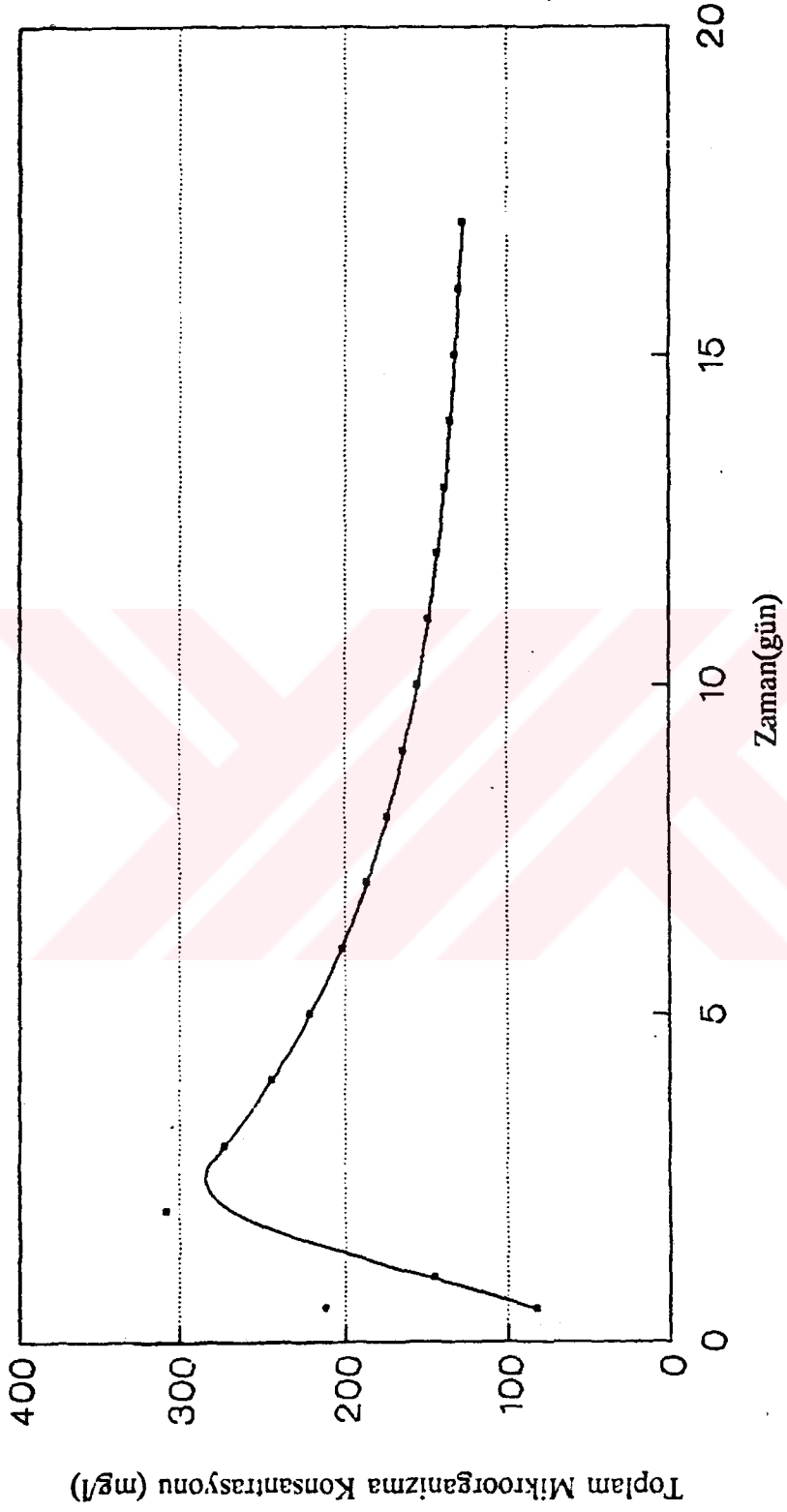
Şekil 3.24 $Y=0.72$, $\alpha=0.015$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_t Bulunuşu



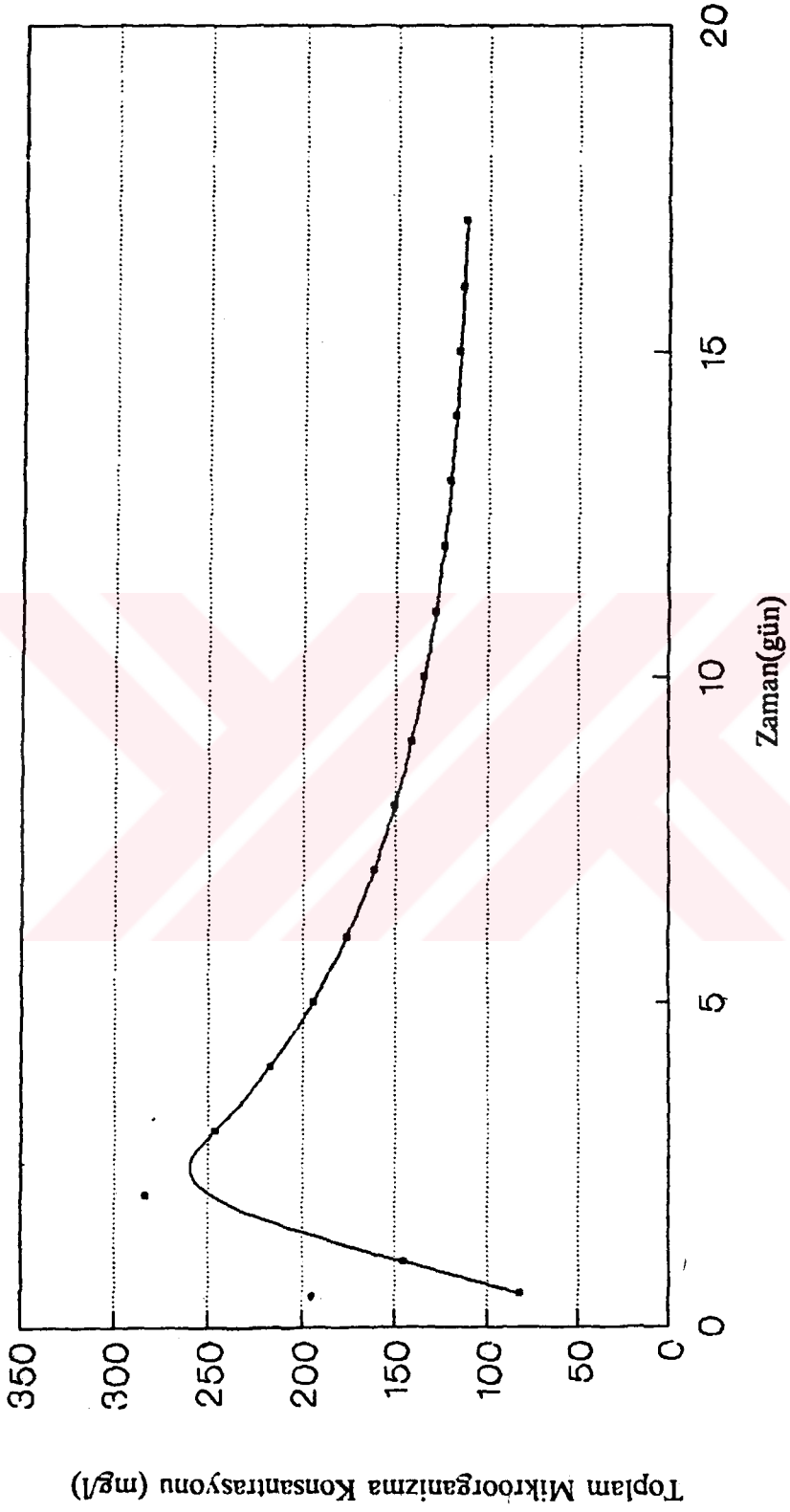
Şekil 3.25 $Y=0.67$, $\alpha=0.015$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_t Bulunuşu



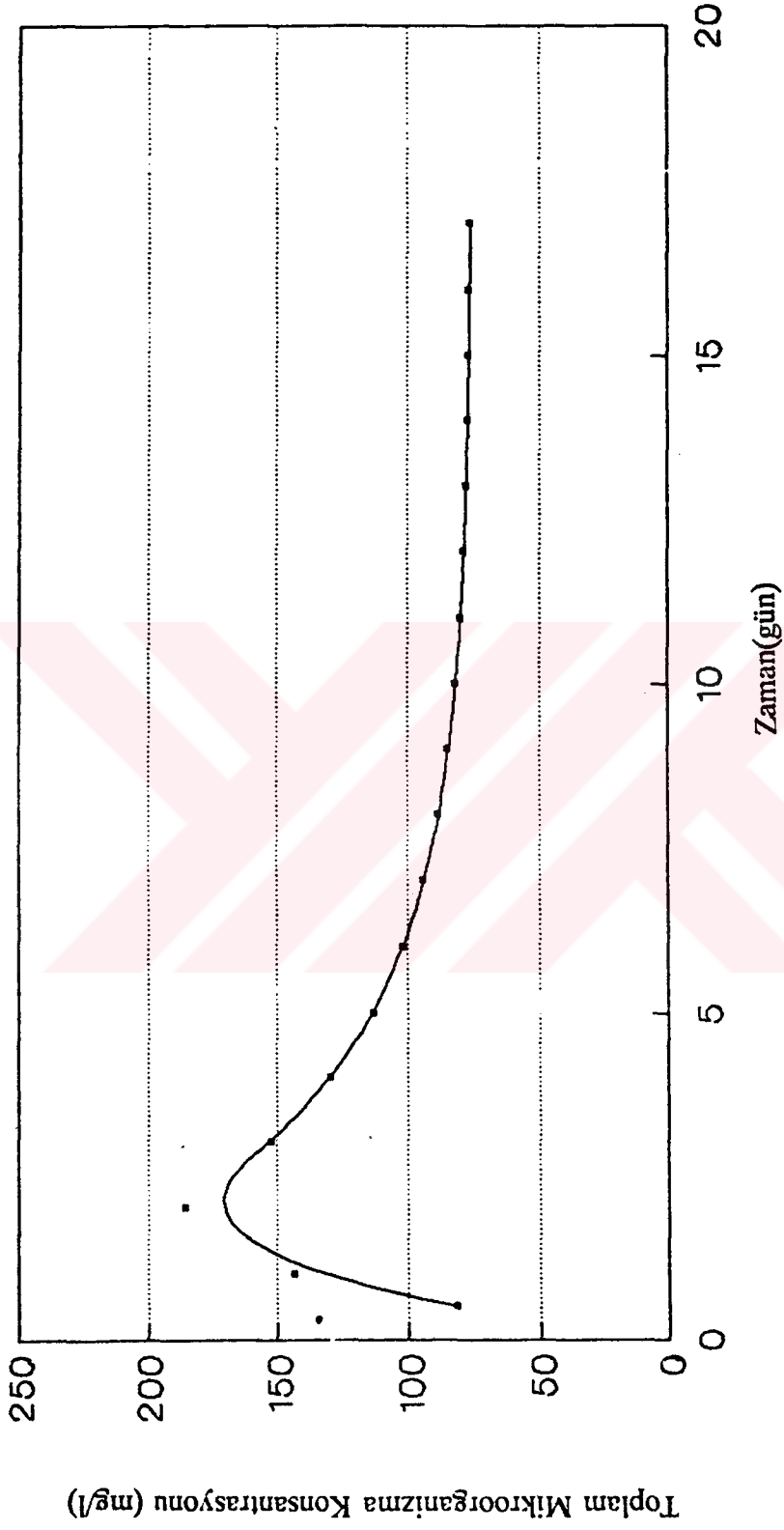
Şekil 3.26 $Y=0.45$, $\alpha=0.015$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_t Bulunuşu



Şekil 3.27 $Y=0.72$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_1 Bulunuşu



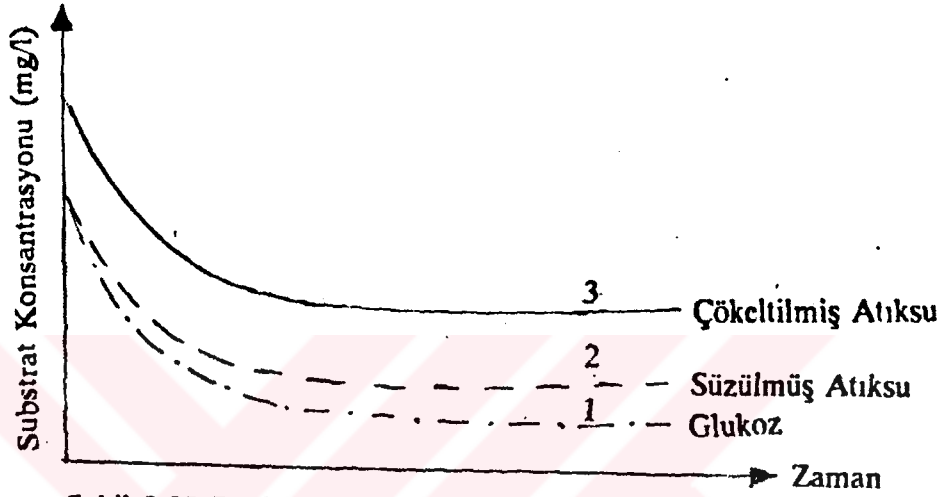
Şekil 3.28 $Y=0.67$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_t Bulunuşu



Şekil 3.29 $Y=0.45$, $\alpha=0.035$ Olması Halinde Grafik Yöntemle X_t Bulunuşu

X_i Tayin Yöntemi II

Endüstriyel atıksuyun içerdiği inert partiküler madde konsantrasyonunun bulunması için bir diğer yöntem ise, çökeltilmiş atıksu, süzölmüş atıksu ve glukozun ayrı reaktörlerde aşı mikroorganizma ilavesi ile kesikli olarak çalıştırılması sonucu toplam substrat konsantrasyonunun zamana karşı izlenmesidir.



Şekil 3.30 Toplam Substrat - Zaman Profili

Atıksuyun içerdiği çözönmüş inert substrat (S_i) konsantrasyonu Bölüm 3.3'de anlatıldığı gibi 1 ve 2 eğrileri Şekil 3.30 yardımı ile belirlenir. Çökeltmiş atıksu için elde edilen toplam substrat-zaman profilinin ulaştığı plato değeri (S_R), sistemde ayrışabilir substratın tüketilmesi sırasında oluşan çözönmüş inert ürün (S_{P2}) ve başlangıçta atıksuda bulunan çözönmüş inert substrat (S_i) toplamını ifade etmektedir. Çözönmüş inert ürün (S_{P2})

$$S_{P2} = S_R - S_i \quad (3.36)$$

denklemini ile belirlenir. Sistemde bulunan ayrışabilir substrat konsantrasyonu,

$$S_{P2} = \alpha \frac{Y}{1 - Y(1 - f_E)} C_S - Y_P C_S \quad (3.37)$$

denklemini ile hesaplanır. Sistem girişindeki toplam substrat konsantrasyonu, çözönmüş inert substrat, partiküler inert substrat ve ayrışabilir substrat konsantrasyonu toplamından oluşmaktadır.

$$C_T = C_S + S_I + X_I \quad (3.38)$$

3.38 eşitliği kullanılarak partiküler inert substrat (X_I) hesaplanır.

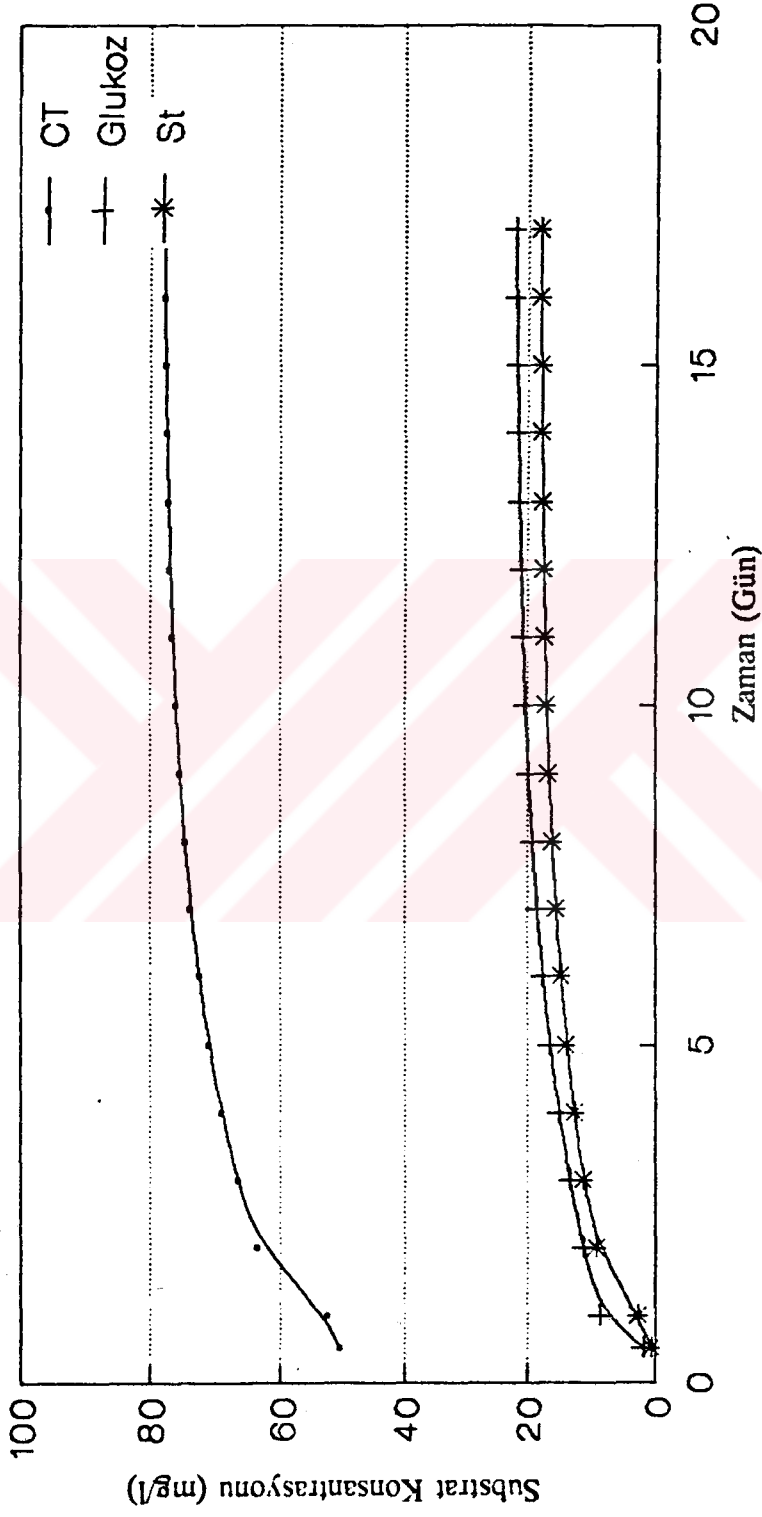
Yöntemin geçerliliğini göstermek amacı ile kesikli sistemler üzerinde bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada tablo 3.3'te verilen kinetik ve stokiometrik katsayılar ve aşağıdaki başlangıç koşulları kullanılmıştır.

Başlangıç koşulları;			
	Çökeltilmiş Atıksu	Süzülmüş Atıksu	Glukoz
t=0	$S_S = 450 \text{ mg/l}$	$S_S = 450 \text{ mg/l}$	$S_S = 450 \text{ mg/l}$
	$S_I = 50 \text{ mg/l}$	$S_I = 50 \text{ mg/l}$	$S_I = 0 \text{ mg/l}$
	$X_A = 10 \text{ mg/l}$	$X_A = 10 \text{ mg/l}$	$X_A = 10 \text{ mg/l}$
	$X_S = 250 \text{ mg/l}$	$X_S = 0 \text{ mg/l}$	$X_S = 0 \text{ mg/l}$
	$X_I = 250 \text{ mg/l}$	$X_I = 0 \text{ mg/l}$	$X_I = 0 \text{ mg/l}$

Elde edilen sonuçlar Şekil 3.31'de verilmiştir. Glukoz ve süzülmüş atıksu (S_I) profilleri incelenmiş ve Bölüm 3.3'de anlatıldığı şekilde $S_I = 50 \text{ mg/l}$ olarak bulunmuştur. Çözünmüş inert ürün konsantrasyonu denklem 3.36 kullanılarak

$$S_{R2} = 77.94 - 50 = 27.94 \text{ mg/l}$$

olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.31 Toplam Substrat - Zaman Profili İle X_1 Bulunuşu

Ayrışabilir substrat konsantrasyonu 3.37 denklemi ile

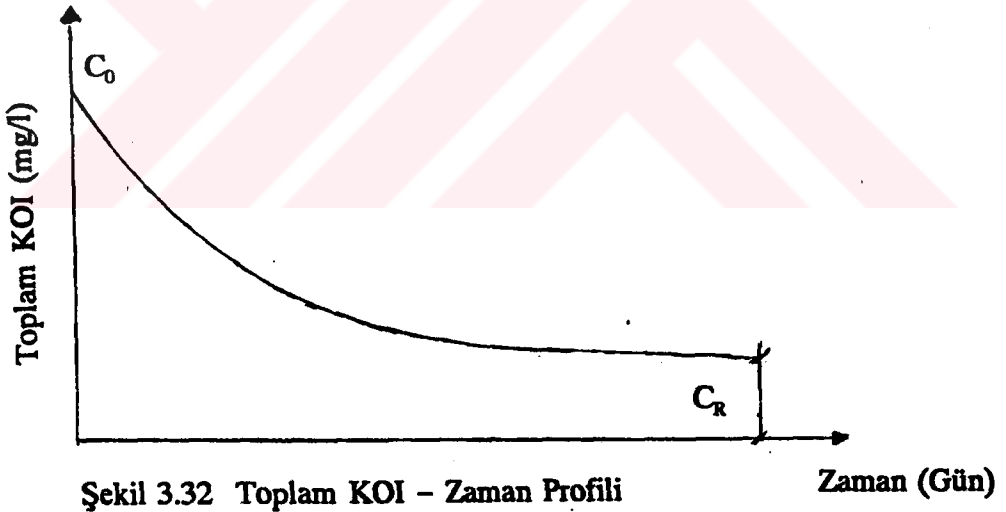
$$C_s = \frac{27.94}{0.04} = 699 \text{ mg/l}$$

olarak belirlenmiştir. Partiküler inert ürün konsantrasyonu denklem 3.38 kullanılarak bulunmuştur.

$$\begin{aligned} C_T &= C_s - S_I - X_I \\ 1000 &= 699 - 50 - X_I \\ X_I &= 251 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

X_I Tayin Yöntemi III

Atıksuyun içerdiği inert partiküler substrat konsantrasyonunun belirlenmesi için geliştirilen bir diğer yöntem ise çöktürilmiş atıksu, süzölmüş atıksu ve glukozun aynı reaktörlerde aşı mikroorganizma ilavesi ile kesikli olarak çalıştırılması ve toplam KOİ değişiminin zamana karşı izlenmesidir.



Çöktürilmiş atıksu toplam KOİ değeri zamana karşı Şekil 3.32'deki gibi bir profil izleyecektir. Atıksuyun başlangıçtaki toplam KOİ değeri (C_0), çözünmüş inert substrat (S_I), kolay ayrışabilir substrat (S_{SO}), yavaş ayrışabilir substrat (X_S) ve inert partiküler substrat (X_I) toplamıdır.

$$C_0 = S_I + S_{SO} + X_S + X_I \quad (3.39)$$

Toplam KOI profilinin ulaştığı plato değeri (C_R) ise çözülmüş inert substrat (S_I), partiküler inert substrat (X_I), çözülmüş inert ürün (S_P) partiküler inert ürün (X_P) ve çok az kolay ayrışabilir substrattan (S_S) kalan kısmın toplamıdır.

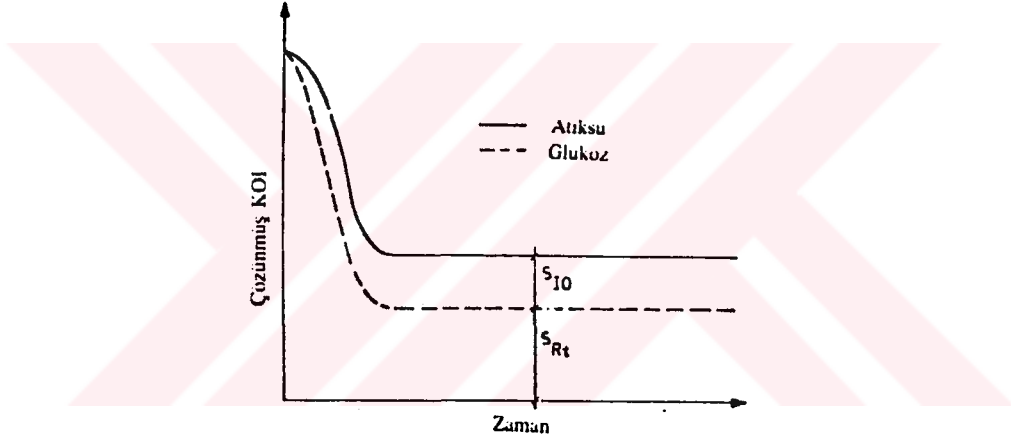
$$C_R = S_I + S_P + X_I + X_P + S_S \quad (3.40)$$

Atıksuyun içerdiği ayrışabilir KOI değeri ise;

$$\text{ayrışabilir KOI} = \Delta KOI_1 = C_0 - C_R = S_{SO} + X_{SO} - S_P - X_P \quad (3.41)$$

eşitliği ile belirlenir.

Benzer işlemler süzölmüş atıksu için tekrarlanır ise, toplam KOI–zaman profili şekil 3.33'deki gibi olacaktır.



Şekil 3.33 Toplam KOI – Zaman Profili

Atıksuyun başlangıçtaki toplam KOI değeri kolay ayrışabilir substrat ve

$$S_0 = S_{SO} + S_I \quad (3.42)$$

çözülmüş inert substrat toplamıdır. Atıksuyun nihai toplam KOI değeri ise,

$$C_R' = S_I + S_P' + X_P' + S_S \quad (3.43)$$

çözülmüş inert substrat, çözülmüş inert ürün, partiküler inert ürün ve çok az kolay ayrışabilir substrattan kalan kısmın toplamıdır. Ayrışabilir toplam KOI değeri ise,

$$\text{Ayrışabilir KOI} = \Delta \text{KOI}_2 = S_{SO} - S_p' - X_p' \quad (3.44)$$

eşitliği ile hesaplanır. Çözünmüş nihai KOI değeri

$$S_R = S_i + S_p' \quad (3.45)$$

çözünmüş inert substrat ve çözünmüş inert ürün toplamından oluşmaktadır. Çözünmüş inert ürün değeri Bölüm 3.3'de anlatıldığı şekilde belirlenir.

Çökeltilmiş atıksuyun içerdiği organik maddenin giderimi esnasında oluşabilecek çözünmüş inert ürün konsantrasyonu;

$$S_p = S_p' \frac{\Delta \text{KOI}_1}{\Delta \text{KOI}_2} \quad (3.46)$$

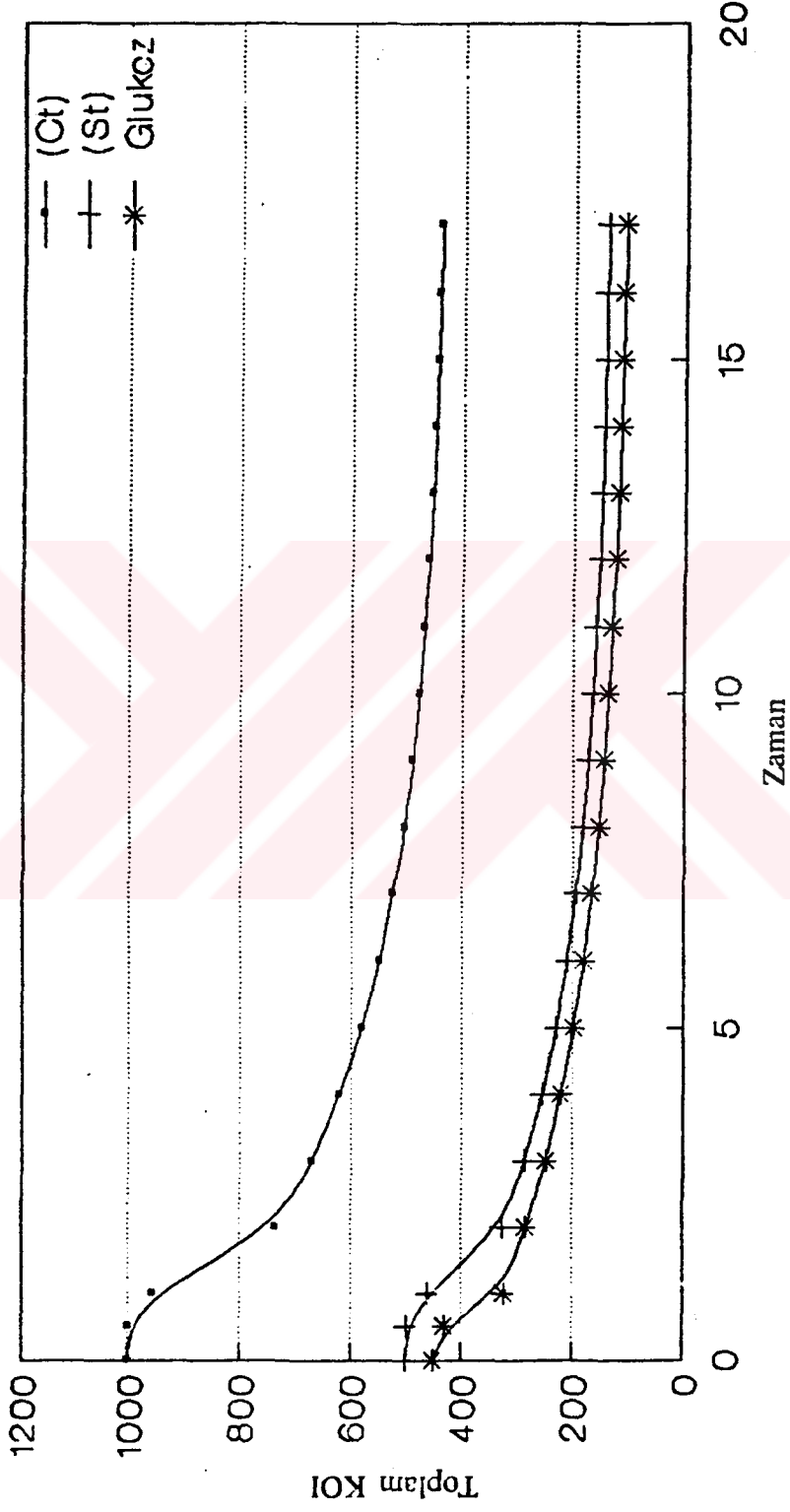
eşitliği ile belirlenir. Benzer şekilde inert partiküler ürün konsantrasyonunun belirlenmesinde 3.43 denkleminde süzölmüş atıksu için inert partiküler ürün konsantrasyonu hesaplanır ve 3.47 denklemi ile

$$X_p = X_p' \frac{\Delta \text{KOI}_1}{\Delta \text{KOI}_2} \quad (3.47)$$

çökeltilmiş atıksu için inert partiküler ürün konsantrasyonu belirlenir. 3.40 denklemi ile partiküler inert substrat (X_i) konsantrasyonu belirlenir.

Yöntemin geçerliliğini göstermek için X_i tayini (II) çalışmasında kullanılan kinetik-stokiyometrik katsayılar ve başlangıç koşulları kullanılmıştır. Ancak bu yöntemle toplam KOI-zaman profilleri incelenmiştir. Elde edilen verilerle oluşturulan glukoz ve süzölmüş atıksu profilleri incelenerek Şekil 3.34 Bölüm 3.3'de anlatıldığı şekilde $S_i = 50$ mg/l olarak bulunmuştur. Şekil 3.34'den çökeltilmiş atıksu nihai KOI değeri $C_R = 440$ mg/l olarak elde edilir. Çökeltilmiş atıksu ayrışabilir KOI değeri denklem 3.40 kullanılarak hesaplanır.

$$\Delta \text{KOI}_1 = C_0 - C_R = 1000 - 440 = 560 \text{ mg/l}$$



Şekil 3.34 $\alpha=0.023$ Olması Halinde Toplam KOI – Zaman Profili

Süzülmüş atıksu nihai KOI değeri şekil 3.34'den $C_R'=141$ mg/l olarak elde edilir, ayrışabilir KOI değeri ise 3.43 denklemi kullanılarak

$$\Delta KOI_2 = S_0 - C_R' = 500 - 141 = 359 \text{ mg/l}$$

olarak bulunur. Mikroorganizmal faaliyetler sonucu oluşan çözünmüş inert ürün konsantrasyonu 3.17 denklemi ile

$$S_p' = Y_p \cdot S_{SO} = 0.04 \cdot 450 = 18 \text{ mg/l}$$

olarak hesaplanır. 3.43 denkleminde kolay ayrışabilir substrattan kalan kısım yaklaşık $S_s=3$ mg/l olarak kabul edilerek partiküler inert ürün konsantrasyonu

$$C_R' = S_1 + S_p' + X_p' + S_s$$

$$141 = 50 + 18 + X_p' + 3$$

$$X_p' = 70 \text{ mg/l}$$

olarak belirlenir. Çökeltilmiş atıksu için çözünmüş inert ürün konsantrasyonu 3.46 denklemi kullanılarak

$$S_p = S_p' \frac{\Delta KOI_1}{\Delta KOI_2} = 18 \frac{560}{359} = 28 \text{ mg/l}$$

inert partiküler ürün konsantrasyonu ise 3.47 denklemi kullanılarak

$$X_p = X_p' \frac{\Delta KOI_1}{\Delta KOI_2} = 70 \frac{560}{359} = 109 \text{ mg/l}$$

olarak hesaplanır. 3.40 denklemi kullanılarak partiküler inert substrat konsantrasyonu

$$X_i = 440 - 50 - 28 - 109 - 3 = 250 \text{ mg/l}$$

olarak bulunur.

3.5 CANLILIK KAVRAMI İLE İLGİLİ ESASLAR

İkinci bölümde ele alınan modeller, aktif çamur sistemlerinin arıtılmasında geniş olarak kullanılmakla beraber tamamıyla çözünmüş bir substratın arıtılması sırasında oluşan biyokitlenin % 100 canlı olduğu kabulünden dolayı bir takım hatalar içermektedir. Özellikle yüksek çamur bekletme sürelerinde aktif çamur sistemlerinde çok düşük seviyede aktif mikroorganizma olduğunun gösterilmesi, canlılık kaybının açıklanması ve inert biyokitle oluşumu kavramı modellere geniş bir açıklık getirmiştir (Marais ve Ekama 1976).

Aktif çamur sistemlerinde biyokitle azalması, pür kültürdeki bakım enerjisi kavramı ile açıklanmıştır. Enerjinin bir kısmının bazı hücre bileşenlerinin yenilenmesi, hareket ve aktif taşıma gibi biyosentezden başka amaçlar için kullanılması, gerçek dönüşüm oranının belirttiğinden daha az biyokitle gözlenmesine neden olur. Yapılan çalışmalar sonucu bakım enerjisi gereksinimi yanında; ölüm, hücre erimesi, protozoa gibi bakteriler üzerinde çoğalan daha yüksek organizmaların etkisi ve biyokitle azalmasına neden olan bütün terimler biyokitle kaybı olarak adlandırılmıştır.

Bakım enerjisinin karşılanması konusunda iki yaklaşım vardır. İlk yaklaşıma göre bütün bakım enerjisinin hücre içi rezervlerin ayrıştırılması ile sağlanır. Hücre dışı substratdan sağlanan enerji, protoplazma, hücre içi rezervlerin biyosentezi için kullanılır. Hücre içi rezervlerin bakım enerjisini sağlamak için ayrıştırılması biyokitle azalmasına neden olur. Herbert yaklaşımı olarak bilinen enerji akışının sırasıyla meydana geldiğini varsayan bu yaklaşıma karşılık Pirt yaklaşımı, hücre dışı substratın bir kısmının bakım için kullanılırken bir kısmının biyosentezde kullanıldığını varsaymaktadır (Sykes, 1976)

Ancak modelleme açısından Herbert yaklaşımı Pirt yaklaşımına göre daha kolaydır. Hücre dışı substratın tükenmesi durumunda hücre içi rezervlerin katabolize edilmesi daha gerçekçi bir yaklaşımdır. Bütün substratın, gerçek dönüşüm oranı "Y"

ile belirlenen miktarda biyokitleye dönüştüğü ve biyokitlenin bir kısmının bakım gereksinimleri için ayrıştırıldığı varsayılır. Sonuç olarak net dönüşüm oranı, gerçek dönüşüm oranından küçüktür ve zamanla azalır. İçsel solunumun ise aynı hızda ve sürekli olduğu kabul edilmiştir.

Aktif çamur sistemlerinde biyokitle kaybına sebep olan tek süreç bakım enerjisi gereksinimi değildir. Protozoaların bakteriler üzerinde çoğalması, hücrelerin erimesi (lysis) biyokitle kaybına yolaçmaktadır. Aktif çamur sistemlerinde karşılıklı ilişkileri belirlemek yerine, ampirik olarak sabit bir terim vasıtasıyla kütle kaybının yansıtılması tercih edilir.

Biyokitlenin, genellikle birinci dereceden bir ifade ile sabit bir katsayı ile azaldığı;

$$-\frac{dX}{dt} = k_d X \quad (3.48)$$

ve içsel solunum ile oksijen tüketim hızının, biyokitle azalma hızının oksijen eşdeğeri kadar olduğu varsayılır.

$$\frac{dO_e}{dt} = f_{cv} k_d X \quad (3.49)$$

dx/dt , biyokitle azalma hızı,

dO_e/dt , içsel solunumla oksijen tüketim hızı,

$f_{cv} = 1,48$ mg KOI/mg AKM olarak bilinen biyokitlenin oksijen eşdeğeridir.

Biyokitle azalmasını ifade eden denklemdeki sabit kabul edilen hız katsayısı k_d 'nin çamur yaşı ile değiştiği birçok araştırmacı tarafından gözlenmiştir (Jenkins ve Orhon 1972, Marais ve Ekama 1976) Spesifik içsel solunum hızı, k_d 'deki değişmelerin biyokitlenin canlılığı ile ilgili olduğu çeşitli şekillerde açıklanmıştır.

3.5.1 Canlılık ve Aktivite

Aktif çamur sistemlerinde biyokitlenin az bir yüzdesi canlıdır ve canlılık çoğalma koşullarına bağlıdır. Canlı biyokitlenin bölünme, koloni oluşturma özelliğine sahip hücre olduğu, fakat bazı hücrelerin ise çoğalma yeteneği olmasa dahi biyokimyasal aktivitesinin olduğu kabul edilmiştir (Jones 1973). Canlı veya cansız aktif mikroorganizmalar substrat giderimine katkıda bulunmaktadır. Çoğalma yeteneğine sahip olsun veya olmasın metabolik etkinliklerini sürdüren mikroorganizmalar aktif mikroorganizma olarak tanımlanmaktadır.

Biyokitlenin inert fraksiyonu içsel solunumla veya diğer hücreler tarafından kullanılarak ayrıştırılamayan kısımdır. Biyokimyasal süreçlerde aktivite kaybını, inert biyokitle oluşumu ile açıklayan Mc Kinney (1962) oluşan maksimum biyokitlenin % 20'sinin inert olduğunu göstermiştir. Aktif çamur sistemlerinde inert biyokitle bir kere oluştuktan sonra sistemden ancak çamur atılması ile giderilmektedir. Bunun sonucu olarak toplam biyokitledeki azalma hızı, aktif biyokitlenin azalma hızından inert biyokitlenin birikim hızı kadar daha az olacaktır.

$$-\frac{dX_T}{dt} = -\frac{dX_A}{dt} + \frac{dX_P}{dt} \quad (3.50)$$

ve

$$\frac{dX_P}{dt} = f_E \frac{dX_A}{dt} \quad (3.51)$$

dX_A/dt , aktif biyokitlenin azalma hızı (içsel solunum hızı), dX_T/dt toplam biyokitlede meydana gelen azalma hızı dX_P/dt , içsel solunum sonucu oluşan inert biyokitle oluşum hızı ve f_E aktif biyokitlenin inert fraksiyonudur.

3.50 denklemi 3.51 de yerine yazılırsa;

$$\frac{dX_T}{dt} = (1 - f_E) \frac{dX_A}{dt} \quad (3.52)$$

elde edilir. Sonuç olarak aktif biyokitlenin bir kısmı içsel solunumla CO_2 ve H_2O kadar oksitlenerek yok olurken diğer kısım inert biyokitle olarak sistemde kalır.

Toplam biyokitlede meydana gelen azalma içsel solunumla yok olan biyokitleye karşı gelmektedir. Bu durumda yok olan biyokitlenin oksijen eşdeğeri kadar oksijen içsel solunumda kullanılmaktadır. Biyokitlenin oksijen eşdeğerinin, Porges formülü kabul edilirse teorik olarak $f_{cv} = 1.42 \text{ KOI/UAKM}$ olduğu hesaplanabilir. Bu durumda içsel solunumla oksijen tüketim hızı;

$$\frac{dO_e}{dt} = f_{cv} \frac{dX_T}{dt} = f_{cv} (1 - f_E) \frac{dX_A}{dt} \quad (3.53)$$

olarak bulunur.

Aktif çamur sistemlerinde içsel solunum ile aktif biyokitlenin azalması sırasında bir kısım inert biyokitle olduğu ve reaksiyonla giderilmediği varsayılmıştır (Marais ve Ekama 1976). Aktif biyokitlenin, birinci dereceden bir ifade ile ve sabit bir katsayı ile azaldığı gösterilmiştir.

$$\frac{dX_A}{dt} = -bX_A \quad (3.54)$$

İçsel solunumla oksijen kullanım hızı;

$$\frac{dO_e}{dt} = f_{cv} (1 - f_E) bX_A \quad (3.55)$$

3.49 ve 3.55 denklemlerinin karşılaştırılması ile;

$$k_d = (1 - f_E) \frac{X_A}{X_T} b \quad (3.56)$$

olduğu görülür. Toplam biyokitle bazında tanımlanan içsel solunum katsayısı, biyokitlenin aktif kısmının azalması ile azalmaktadır. Aktif çamur sistemlerinde çamur yaşının artması ile ortamdaki substrat konsantrasyonu azalmakta ve aktif biyokitle kaybı artmaktadır. Bu da çamur yaşı arttıkça k_d katsayısının azalmasını açıklamaktadır.

Grady ve Roper (1974) aktif çamur sistemlerinde biyokitle ve canlılık kaybını doğal ölüm kavramı ile ölü hücrelerin "decay" ile yokolmasını birleştirerek açıklamıştır. Bu yaklaşıma göre aktif biyokitle içsel solunumla kütleli olarak yokolmanın yanında ölüm ile ölü biyokitleye dönüşmektedir. Her iki olayın hızının canlı biyokitleye göre birinci derece olduğu kabul edilmiştir.

$$\text{Canlı biyokitlenin ölüm hızı (canlılık kaybı)} = \tau X_v \quad (3.57)$$

$$\text{Canlı biyokitlenin içsel solunum hızı} = b_v * X_v \quad (3.58)$$

Bu ifadelerde X_v canlı biyokitle konsantrasyonu; τ , spesifik ölüm hızını; b_v , canlı biyokitlenin spesifik içsel solunum hızını göstermektedir.

Canlı biyokitlenin ölümü ile oluşan ölü biyokitlenin de bölünme yeteneğini kaybetmiş olsalar bile enzim sistemlerinin fonksiyonlarını yerine getirmeleri sonucu içsel solunumla yokolacakları belirtilmiştir. Diğer yandan hücre erimesi ve protozoalara besin kaynağı oluşturması açısından da bir miktar biyokitle kaybı olacaktır. Bunlar, yeni hücre maddesi oluşmasına yolaçsalar bile net bir biyokitle kaybına sebep olacaktır. Sonuç olarak ölü hücrelerin birinci derecede sabit bir hızla azaldığı kabul edilmiştir.

$$\text{Ölü biyokitlenin yok olma hızı} = b_n * X_n$$

X_n , ölü biyokitle konsantrasyonu ve b_n , ölü biyokitlenin spesifik yokolma hızıdır.

Grady modelinde, cansız biyokitlenin canlı biyokitle gibi kütle kaybına uğradığı ve cansız biyokitlenin tamamının ayrışabilir olduğu kabul edilmektedir. Canlı ve cansız biyokitle için kütle dengeleri ayrı ayrı yazılmıştır. Canlı biyokitle (X_v) için kararlı halde kütle dengesi;

$$-(Q-Q_w)(X_v)_e - Q_w(X_v)_r + V\mu X_v - V\gamma X_v - VbX_v = 0 \quad (3.59)$$

$$(\mu - \gamma - b) = \frac{(Q-Q_w)(X_v)_e + Q_w(X_v)_r}{VX_v} \quad (3.60)$$

Çamur yaşının tanımı kullanılarak, spesifik çoğalma hızı;

$$\mu = \frac{1}{\theta_c} + b + \gamma \quad (3.61)$$

olarak elde edilir. Bu ifade Monod denkleminde yerine yazılarak substrat konsantrasyonu çamur yaşına bağlı olarak elde edilmiştir.

$$S = \frac{K_s(1/\theta_c + b + \gamma)}{\mu - (1/\theta_c + b + \gamma)} \quad (3.62)$$

Bu ifade Lawrence ve Mc Carty (1970) modelinden türetilmiş ifade ile karşılaştırıldığında, ölüm hızı katsayısı γ 'nın dahil edilmesi dışında aynı olduğu görülür. Canlı biyokitle konsantrasyonu, substrat için yazılan kütle dengesi ve denklem 3.61'den yararlanılarak

$$X_v = \frac{Y(S_0 - S)}{\theta(1/\theta_c + b + \gamma)} \quad (3.63)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik Lawrence ve Mc Carty modelindeki biyokitle konsantrasyonunu veren denklem 3.63 ile karşılaştırıldığında ölüm hızı katsayısı kadar farklı olduğu ve sadece canlı biyokitle konsantrasyonunu verdiği görülür.

$$X = \frac{Y(S_0 - S)\theta_c}{(1 + b\theta_c)\theta} \quad (3.64)$$

Cansız biyokitlenin canlı biyokitle gibi aynı hızla yokolduğu kabul edilerek, cansız biyokitle (X_n) için kütle dengesi yazılmıştır.

$$-(Q-Q_w)(X_n)_e - Q_w(X_n)_r + V\gamma X_v - VbX_n = 0 \quad (3.65)$$

$$\gamma \frac{X_v}{X_n} - b = \frac{(Q-Q_w)(X_n)_e + Q_w(X_n)_r}{VX_n} \quad (3.66)$$

Biyokitlenin reaktör ve çöktürme tankında homojen olarak karıştığı kabul edilerek 3.66 denkleminin sağ tarafı için çamur yaşı tanımı kullanılabilir ve cansız biyokitle konsantrasyonu;

$$X_n = \frac{\gamma X_v}{1/\theta_c + b} \quad (3.67)$$

elde edilir. Reaktördeki toplam biyokitle konsantrasyonu

$$X_T = X_v + X_n = \frac{Y(S_0 - S)}{\theta(1/\theta_c + b)} \quad (3.68)$$

olarak elde edilir. Bu denklem, 3.64 denklemini ile verilen Lawrence ve Mc Carty modelindeki biyokitle konsantrasyonu ile aynıdır. Toplam biyokitlenin, ortalama sabit bir hız katsayısı ile azaldığı ve bu katsayının çamur yaşına bağlı olarak değiştiği ispatlanmıştır.

3.5.2 Ölüm-Yenileme Yaklaşımı

Dold (1980) geliştirdiği modelinde biyokitle kaybını, klasik içsel solunum kavramı yerine ölüm-yenilenme kavramı ile açıklamıştır.

Ölüm-yenilenme modelinde yer alan organizmaların kütle kaybı ve solunum reaksiyonları birbirinden ayrılmıştır. Aktif mikroorganizmaların kaybolan kısmının öldüğü ve ölen biyokitlenin bir kısmının yavaş ayrışan substrat olarak sıvı kütlesi içine döndüğü, diğer kısmının ise ayrışamayan partiküler ürün olarak kütle dengesini terkettiği kabul edilmiştir. Yavaş ayrışan substrat adsorbsiyon, hücre dışı parçalanma ve yeni hücrelerin sentezi fazlarından geçerek kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, gerçekte, içsel solunum olmadığını, oksijenin sadece, ölü biyokitleden hidroliz yoluyla çıkan substratdan yeni biyokitle sentezi sırasında tüketildiğini kabul eder.

Ölüm olayının oksijen ve nitrat gibi elektron alıcısı harcamadığı düşünülürse, anaerobik koşullarda, aerobik koşullarda olduğu gibi, ölüm olayının gerçekleştiği

kabul edilebilir. Anaerobik koşullarda ortamda bulunan yavaş ayrışan substratın giderimi ise ancak nitrat kullanabilen organizmalarca gerçekleştirilebilir. Ortamda nitrattın da bulunmadığı koşullarda yavaş ayrışan substrat giderimi gerçekleşemez ve aerobik koşullara dönülmesi durumunda ortamda biriken yavaş ayrışan substrat yüksek oksijen tüketimine neden olur.

Dold İçsel Solunum Yaklaşımı

Aktif heterotrofik organizmaların içsel solunum ile azalma hızı:

$$-\frac{dX_A}{dt} = bX_A \quad (3.69)$$

İçsel solunum sonucu inert biyokitle oluşum hızı:

$$\frac{dX_E}{dt} = f_E bX_A \quad (3.70)$$

İçsel solunumla oksijen tüketim hızı:

$$\frac{dO_e}{dt} = (1 - f_E) bX_A \quad (3.71)$$

X_A : Aktif biyokitle konsantrasyonu, (mg/l KOİ)

X_E : Üretilen inert biyokitle konsantrasyonu, (mg/l KOİ)

b : İçsel solunum katsayısı, (gün⁻¹)

f_E : Aktif biyokitlenin inert fonksiyonu

Dold, Ölüm - Yenileme Yaklaşımı

Ölüm ile günde azalan aktif biyokitle:

$$-\frac{dX_A}{dt} = b_H X_A \quad (3.72)$$

Ölen biyokitleden günde oluşan yavaş ayrışan substrat kütlesi:

$$\frac{dX_s}{dt} = (1 - f_p) b_H X_A \quad (3.73)$$

Oluşan yavaş ayrışan substrattan günde üretilen yeni aktif biyokitle:

$$\frac{dX_A}{dt} = Y(1 - f_p) b_H X_A \quad (3.74)$$

Yeni aktif biyokitle sentezi için günde tüketilen oksijen:

$$\frac{dO}{dt} = (1 - Y) (1 - f_p) b_H X_A \quad (3.75)$$

Günde üretilen inert biyokitle,

$$\frac{dX_P}{dt} = f_p b_H X_A \quad (3.76)$$

b_H : Ölüm-yenileme modelinde aktif biyokitlenin bozunma katsayısı, gün^{-1}

f_p : Ölüm-yenilenme modelinde biyokitlenin inert ürün fraksiyonu

Y : Dönüşüm oranı, (mg KOI/mg KOI)

X_P : Üretilen inert biyokitle konsantrasyonu, (mg/l KOI).

Kararlı halde, her iki yaklaşımın aynı sonucu vereceği düşünülürse, 3.70 ve 3.76 denklemleri ile verilen inert biyokitle ve 3.71 ve 3.75 denklemleri ile verilen net kütle kaybına karşı gelen oksijen tüketimleri aynı olmalıdır.

$$f_E b X_A = f_p b_H X_A \quad (3.77)$$

$$(1 - f_E) b X_A = (1 - Y) (1 - f_p) b_H X_A \quad (3.78)$$

Elde edilen iki bilinmeyenli iki denklem çözüldüğünde;

$$b_H = \frac{b}{1 - Y(1 - f_p)} \quad (3.79)$$

$$f_p = \frac{f_E - Y f_E}{1 - Y f_E} \quad (3.80)$$

Marais ve Ekama (1976) aktif çamurun aerobik çürütülmesi üzerine yapmış olduğu çalışmalar sonucu, sabit sıcaklıkta içsel solunum katsayısı b 'nin sabit olduğu ve çamur yaşı ile değişmediğini göstermiştir. 20°C 'da $b=0.24 \text{ gün}^{-1}$, gözlenen inert fraksiyon, $f_E=0.20$ ve gerçek dönüşüm oranı, $Y=0.67 \text{ KOI/KOI}$ olarak alınırsa, aktif biyokitlenin gerçek inert fraksiyonunun $f_p=0.08$ ve ölüm hızı katsayısı, $b_H=0.62 \text{ gün}^{-1}$ olduğu anlaşılır.

3.5.3 BİYOKİTLE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Aktif çamur sistemlerinde, gravimetrik olarak tayin edilen uçucu askıda katı madde (UAKM) mikroorganizmanın ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Askıda katı madde (AKM) parametresi inorganik partiküler maddeyi ölçmesine karşılık, UAKM inert ya da ayrışabilir organik maddeyi ölçer. Ancak bu parametre organik maddeler ile biyolojik katılar arasında ayırım yapamaz. Aktif çamur sistemlerinde değişen konsantrasyonlarda organik madde bulunması, biyolojik katıların ölçülmesi için teklif edilen partiküler organik azot, protein veya DNA gibi parametrelerin kullanılmasını engeller.

Aktif çamur sistemlerinde, aktif biyokitle ölçümünde biyokimyasal parametrenin uygulanması için temel hücresel mekanizmanın anlaşılması gerekir. Temel hücresel mekanizmanın hepsi enzimler aracılığı ile yürür. Bu enzimler substrat kullanımı ile ilgili oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarını katalizleyenlerdir.

Aktivite ölçümlerinde kullanılabilecek biyokimyasal parametreler:

Adenozin trifosfat (ATP) Ölçümü

Biyokimyasal aktivitede ATP'nin hidrolizi sonucu açığa çıkan enerji önemli bir role sahiptir. ATP'nin lüsiferin-lüsiferaz enzimi ile oluşturduğu kompleks, oksijenle reaksiyon vererek bozulur ve ışık emisyonu yapar. Yayınlanan ışık miktarı

başlangıçtaki ATP miktarı ile doğrudan orantılı olduğu için bu reaksiyon ATP ölçümünde kullanılır. ATP ölçümü ise aktivite ölçümü için en uygun yöntemdir (Nelson ve Lawrence, 1980).

Dehidrojenaz Aktivitesi

Oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarını katalizleyen enzimler oksido-redüktazlar olarak adlandırılır ve dehidrojenaz enzimleri bu sınıf içinde yer alır. Aerobik dehidrojenaz enzimleri, elektronları, oksijene transfer ettikleri gibi bazı indirgenbilir boyalara da transfer edebilir. Bundan yararlanılarak dehidrojenaz aktivitesi kolaylıkla ölçülebilir. Substratın yükseltgenmesinde tetrazolium tuzunun (TTC) kırmızı renkli formazana (TF) indirgenmesi, kırmızı rengin şiddetinin ölçülmesi ve formazan konsantrasyonunun standart eğrisi ile karşılaştırılması sonucu dehidrojenaz aktivitesi ölçülür. Sonuç üretilen μg formazon/mg hücre maddesi olarak verilir.

Oksijen Kullanım Hızı

Dehidrojenaz aktivitesi ölçümlerinin dezavantajları, doğrudan oksijen kullanım hızının ölçülmesi ile önlenir. Yönetim avantajı ise doğal nihai elektron alıcısını ölçmesi dolayısıyla normal biyokimyasal reaksiyonu kesintiye uğratmamasıdır. Oksijen kullanım hızının ölçülmesinde kullanılan Warburg yöntemi yerini oksijen elektrotları ile basit ve hızlı oksijen kullanım hızı ölçümüne bırakmaktadır.

Spesifik aktivite ölçümü ile aktif biyokitlenin ölçülmesi için spesifik aktivitenin maksimum değerinin bilinmesi gerekir. Bu değer çeşitli çamur bekletme sürelerinde ölçülen spesifik aktivite sonuçlarının, yıkanmanın meydana geldiği çamur bekletme sürelerinin hemen öncesi ekstrapolasyonu ile bulunur. Bunun sonucu aktif fraksiyon, herhangi bir anda ölçülen spesifik aktivitenin, maksimum spesifik aktiviteye oranlanması ile bulunur.

Henze (1986)'da maksimum spesifik oksijen kullanım hızının ölçülmesi ile aktif fraksiyonun bulunabileceğini öne sürmüştür. Aktif fraksiyon, maksimum spesifik oksijen kullanım hızının, ölçülen spesifik oksijen kullanım hızına

oranlanması ile hesaplanır. Maksimum oksijen kullanım hızının hesaplanmasında, biyokitlenin oksijen transfer hızı 20°C'da 1 elektron eşdeğeri/gr UAKM gün alınır (Mc Carty,1972). Bütün substratın oksitlenmesi 8 gr O₂/gr VSS oranında oksijen kullanılmasına karşı gelmektedir. Oksijenin kullanım hızının maksimum çoğalma koşullarında elektron transfer hızının % 40'ı olduğu (Y= 0.60 KOI/KOI) kabulü ile OKH= 0.40*8=3.2 gr O₂/gr UAKM gün veya 133 mg O₂/gr UAKM saat olarak hesaplanmıştır. Aktif çamurda ölçülen oksijen kullanım hızları genellikle çok daha düşüktür. Ölçülen oksijen kullanım hızının bu değere oranlanması ile aktif biyokitle fraksiyonu bulunur.

Grady ve Roper (1974) önerdikleri modelde ölçülen UAKM miktarının, canlı mikroorganizma, canlı olmayan mikroorganizma ve ölü mikroorganizma toplamını ifade ettiğini belirtmiştir. Canlı mikroorganizmanın ise sayma (plate counting) veya ATP ölçümü ile belirlenebileceğini ifade etmişlerdir.

Marais ve Ekama (1976), bu aktif çamur örneğinin kesikli reaktörde aerobik olarak çürütülmesi sırasında oksijen kullanım hızı ölçülmesi ile sistemdeki aktif biyokitlenin ve içsel solunum katsayısının belirlenebileceğini göstermiştir. Deney sırasında nitrifikasyonu önlemek için tiyolire eklenmesi gerekmektedir.

Aerobik kesikli bir reaktörde alınan çamur örneğinde oksijen kullanım hızı:

$$OKH = \frac{dO}{dt} = 1.42 (1 - f_E) b X_{A,t} \quad (3.81)$$

denklemini ile ifade edilmiştir. Denkleminde X_{A,t}: t anındaki aktif biyokitle konsantrasyonudur.

$$-\frac{dX_A}{dt} = b X_A \quad (3.82)$$

denkleminin çözümü ile ,

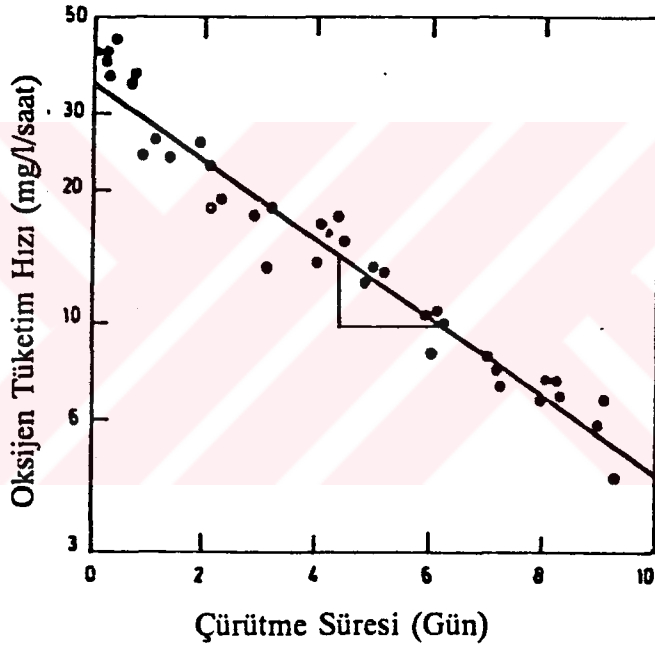
$$X_{A,t} = X_{A,0} e^{-bt} \quad (3.83)$$

elde edilir. 3.83 ifadesi 3.81'de yerine yazılır ve tabii logaritma alınırsa,

$$\ln OKH - \ln 1.42 (1 - f_E) b X_{A,0} - b t \quad (3.84)$$

denklemini elde edilir.

Zamana karşı $\ln OKH$ 'nin işaretlenmesi ile elde edilen doğrunun logaritmik eksenini kestiği nokta aktif biyokitle konsantrasyonu, doğrunun eğimi ise b değerini verir (Şekil 3.35).



Şekil 3.35 Aktif Biyokitlenin Ve İçsel Solunum Hızı b 'yi Belirlemek İçin Kesikli Bir Çürütme Deneyinde O_2 Tüketim Hızı İle Zaman Arasındaki Bağlantı

BÖLÜM IV

AYRIŞABİLİR BİLEŞENLERİN BENZEŞMESİ

Endüstriyel atıksular biyolojik ayrışabilirlik açısından çok geniş aralıklarda organik madde içerirler. Endüstriyel atıksularda bulunan inert organik maddeler biyolojik arıtma sistemlerinde değişikliğe uğramadan çıkmalarına karşın biyolojik arıtılabilirlik sonuçlarının yanlış yorumlanmasına sebep oldukları için kuvvetli atıklarda büyük önem taşırlar.

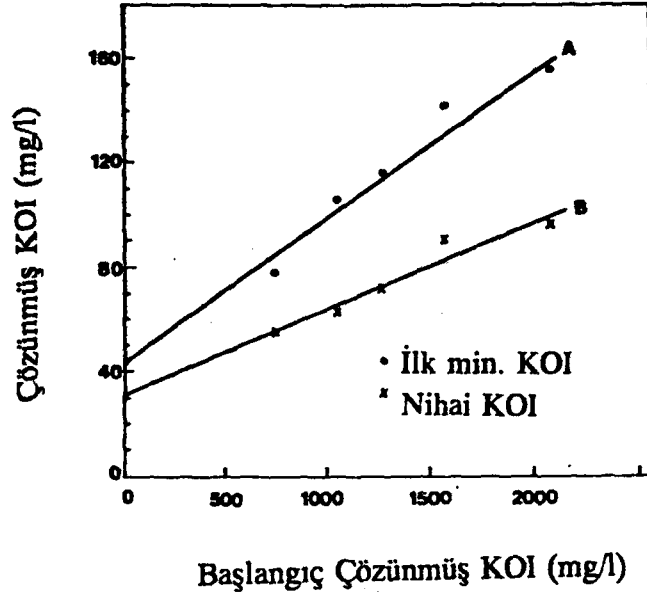
Çözünmüş inert KOI fraksiyonunun önemi daha önceki literatür çalışmalarında da görülmektedir. Bu çalışmalarda çok yüksek çamur yaşına sahip aktif çamur sistemleri çıkışındaki çözünmüş KOI konsantrasyonu veya kesikli aerobik reaktörden alınan numunede ölçülen çözünmüş KOI'nin sabit kaldığı değer S_{10} kabul edilmiştir Henze (1986), Ekama (1986). Çalışmalarda aktif çamur sistemlerinde mikroorganizmalar tarafından üretilen ürünler gözönüne alındığından çıkış çözünmüş KOI değerinin yorumu hatalı yapılmaktadır. Glukoz ile yapılan çalışmalarda da çıkış çözünmüş KOI değerinin, girişte beslenen orjinal substrattan değil, mikroorganizma metabolizmalarının ürettiği ürünlerden oluştuğu gösterilmiştir Cimsit (1986). Bu ürünlerin orjinal substrata göre daha geç ayrıştığı fakat aktif çamur sistem uygulamalarında kullanılan normal hidrolik bekletme süreleri veya çamur yaşlarına göre inert kabul edilebilecekleri gösterilmiştir. Orhon ve diğerleri (1989), Artan (1990), Aktif çamur sistemlerinde girişte ölçülen çözünmüş KOI biyolojik olarak kolay ayrışabilir substrat ve sistemden bir değişikliğe uğramadan çıkan inert substrattan (S_{10}) oluşur. Çıkışta ise ölçülen çözünmüş KOI biyolojik olarak kolay ayrışabilir substrattan kalan kısım, sistemde oluşan inert ve ayrışabilir metabolik ürünler ve sistemde hiçbir değişikliğe uğramadan çıkan inert substrattır. Çamur yaşı beş günden fazla olan sistemlerde S_5 ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Ekama (1986) ve çıkıştaki çözünmüş KOI atıksuyun inert substrat konsantrasyonu ve metabolik kısmından oluşur.

Bu değerlendirmelerden de anlaşılabileceği gibi çözünmüş inert metabolik ürünler (S_R) ölçölmek istenen atıksuyun çözünmüş inert substrat konsantrasyonu (S_{10}) üzerine girişim yaparak yanlış sonuçlara varılmasına neden olmaktadır.

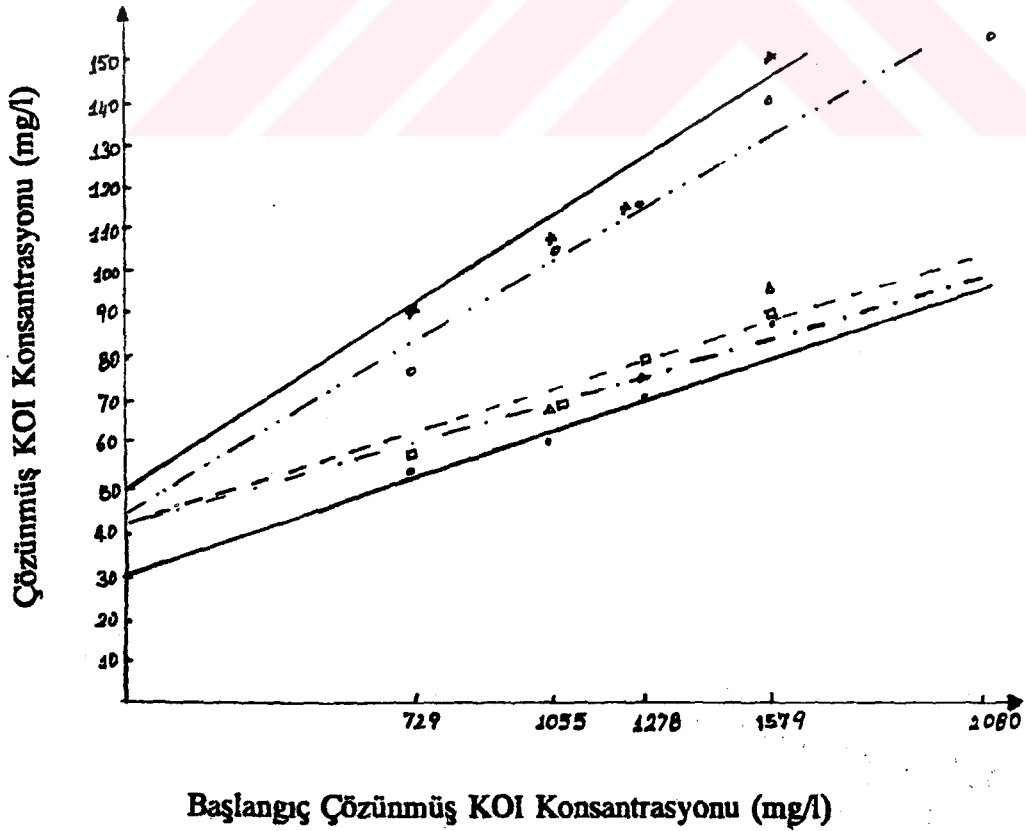
4.1 KAğIT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARI DENEYSEL VE BENZEşİM SONUÇLARININ DEğERLENDİRİLMESİ

Gemirli (1990) alışmasında atıksularda S_{10} olarak tanımlanan çözünmüş inert KOİ içeriğinin saptanması için, inert metabolik ürün (S_R), girişimini engelleyecek şekilde geliştirilen iki ayrı yöntem kullanılmıştır ve bu çalışmasında kullanılan biyokitlenin aklımasyonu, doldur-boşalt reaktörlerde % 50 glukoz %50 atıksu çözeltisi ile gerçekleştirilmiştir.

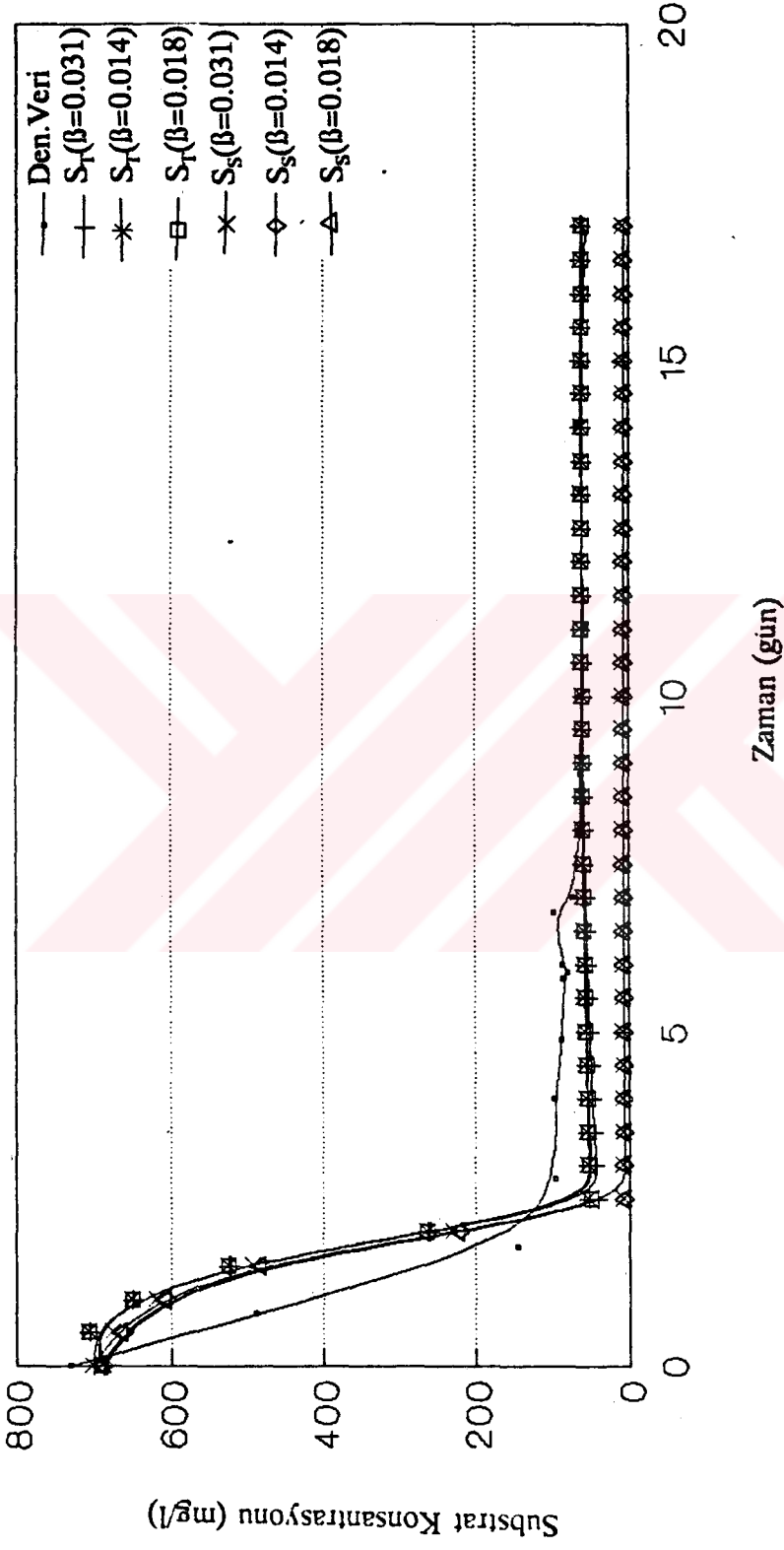
Kağıt endüstrisi için kademeli yöntem ile yapılmış olan çalışmada kesikli reaktörlere aynı konsantrasyonda seyreltik çözünmüş atıksu üzerine kademeli olarak artan konsantrasyonlarda glukoz ilave edilmiştir. Yöntem, elde edilen sistemlerin az miktarda aşı mikroorganizma ilavesi ile çalıştırılması ve reaktördeki özünmüş KOİ değerinin zamana karşı değişiminin izlenmesi esasına dayanır. Tablo 4.1'de kağıt endüstrisi için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu yöntemde reaktördeki S_{10} değeri sabit tutulmakta ancak S_{S0} konsantrasyonu değişken olduğu için farklı S_R değerleri elde edilmektedir. Bütün reaktörlerdeki özünmüş KOİ değerlerinin ulaştıkları ilk minimum değer veya nihai değerler esas alınarak, özünmüş KOİ'ye karşı çözünmüş giriş KOİ değerleri çizilmiş ve bu doğrunun KOİ ekseni kestiği değer atıksuyun çözünmüş inert KOİ konsantrasyonu olarak saptanmıştır. Bu değerler Tablo 4.2'de verilmiştir. Tablo 4.2 değerleri ile çizilen grafik şekil 4.1'de verilmiştir. Bu grafikten S_{10} ilk minimum için 30 mg/l ve nihai minimum için 43 mg/l olarak belirlenmiştir. Tablo 4.1 incelenerek çeşitli düşüm değerleri için grafik çizilmiştir (şekil 4.2). Bu grafiklerden yararlanılarak elde edilen S_{10} değerinin ortalaması alınarak S_{10} değeri 40 mg/l olarak bulunmuştur.



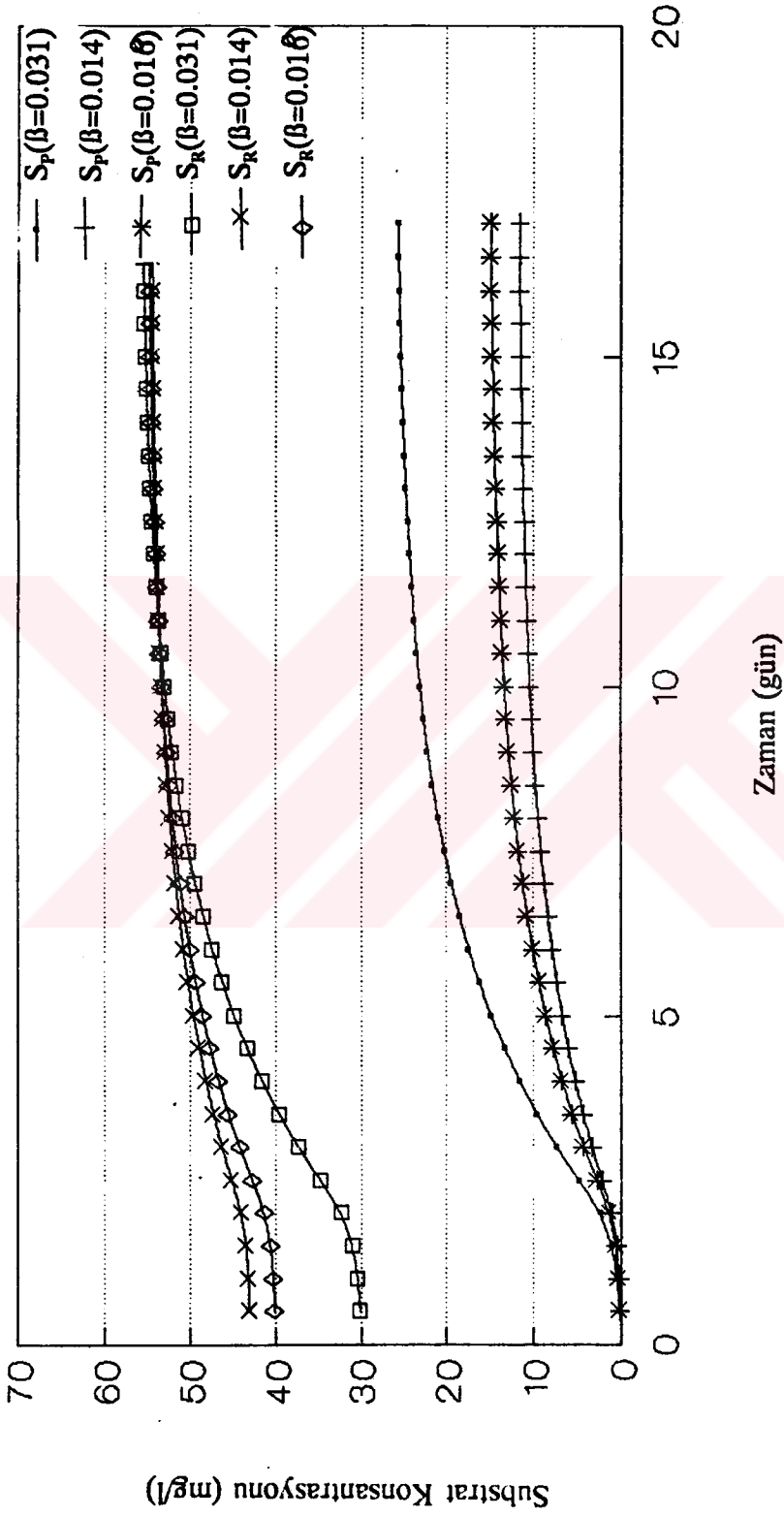
Şekil 4.1 Kağıt Endüstrisi İçin Başlangıç Çözünmüş KOI Ve Ölçülen Çözünmüş KOI Arasındaki İlişki



Şekil 4.2 Ortalama S_t Tayini



Şekil 4.5 Değişken β ve S_T Değerine Karşı S_T ve S_S Zaman Profilleri.



Şekil 4.6 Değişken β ve S_1 Değerine Karşı S_p ve S_R Zaman Profilleri

4.2 TASK GRUP KİNETİK SABİTLERİ KULLANILARAK ELDE EDİLEN BENZEŞİM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bölüm 4.1'de anlatılan çalışma çerçevesinde, Task Grup kinetik sabitleri ve seçilen Y_p değerine karşılık bulunan f_{sp} değerleri kullanılarak bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Kullanılan kinetik ve stokiometrik katsayılar Tablo 4.5'te verilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde Y_p değeri seçilerek hesaplanan f_{sp} değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir. Bu çalışmada $S_i = 30$ mg/l olarak sabit bir değer alınmıştır.

Tablo 4.5 TASK Grup Kinetik ve Stokiometrik Sabitleri (20°C)

Sembol	Birim	Değer
Y	mg KOI/mg KOI	0.67
$\hat{\mu}$	gün ⁻¹	6.0
K_s	mg/l	20
b_H	gün ⁻¹	0.62
k_H	mg KOI/mg KOI gün	3.0
K_X	mg KOI/mg KOI	0.03
$K = k_H/K_X$	gün ⁻¹	100
f_E	mg KOI/ mg KOI	0.08
f_{SP}	mg KOI/ mg KOI	$\alpha=0.026$

Tablo 4.6 Seçilen Y_p Değerine Karşı f_{sp} Değerleri

Y_p mgKOI/mg KOI	0.04	0.05
α	0.023	0.029
β	0.026	0.033
S_i mg/l KOI	30	30
S_{i0} mg/l KOI	699	699

Başlangıç koşulları olarak aşağıdaki değerler alınmıştır.

$t=0$ için $X_A = 10 \text{ mg/l KOI}$

$X_S = 0$

$X_T = 0$

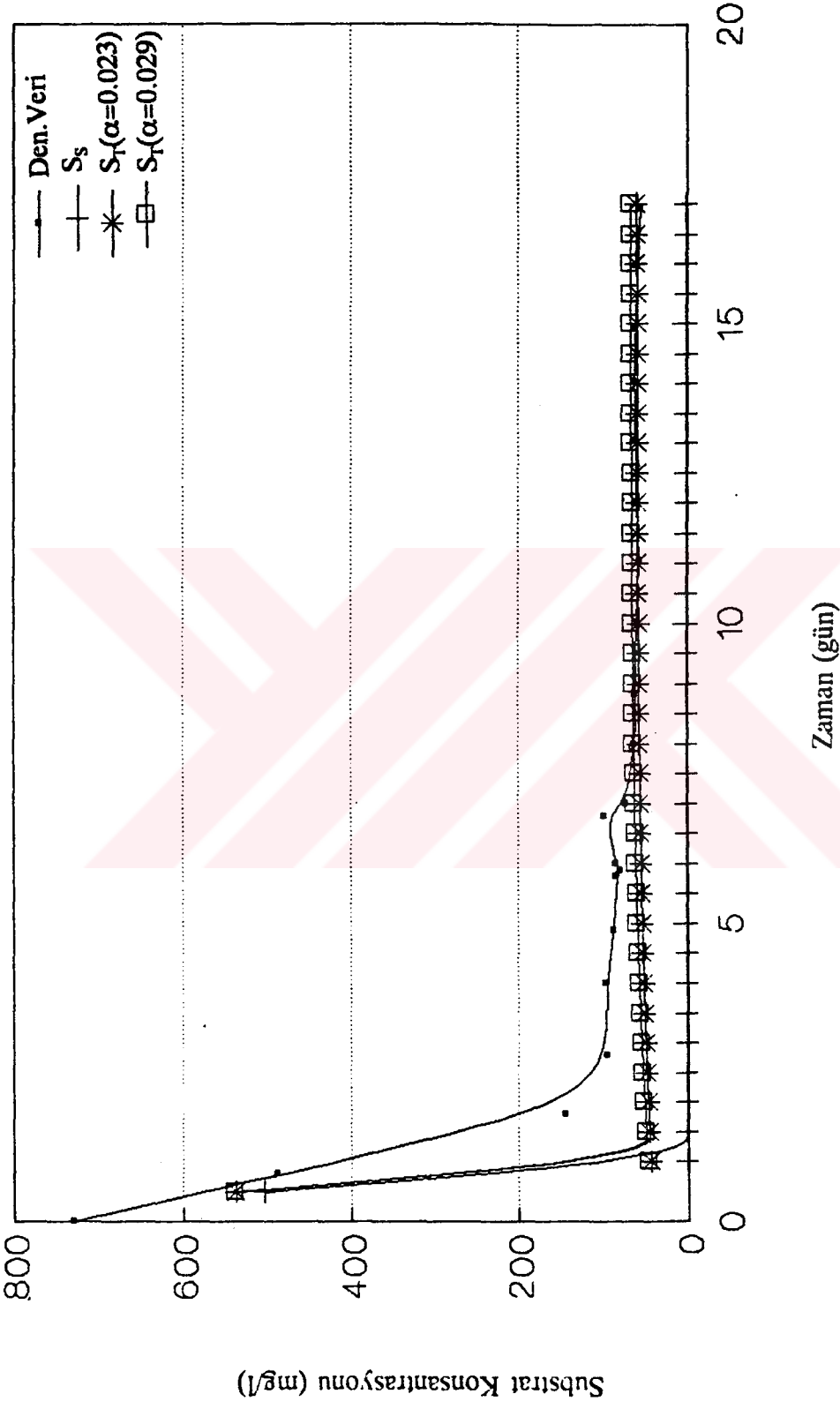
$S_S = 699 \text{ mg/l KOI}$

$S_T = 30 \text{ mg/l KOI}$

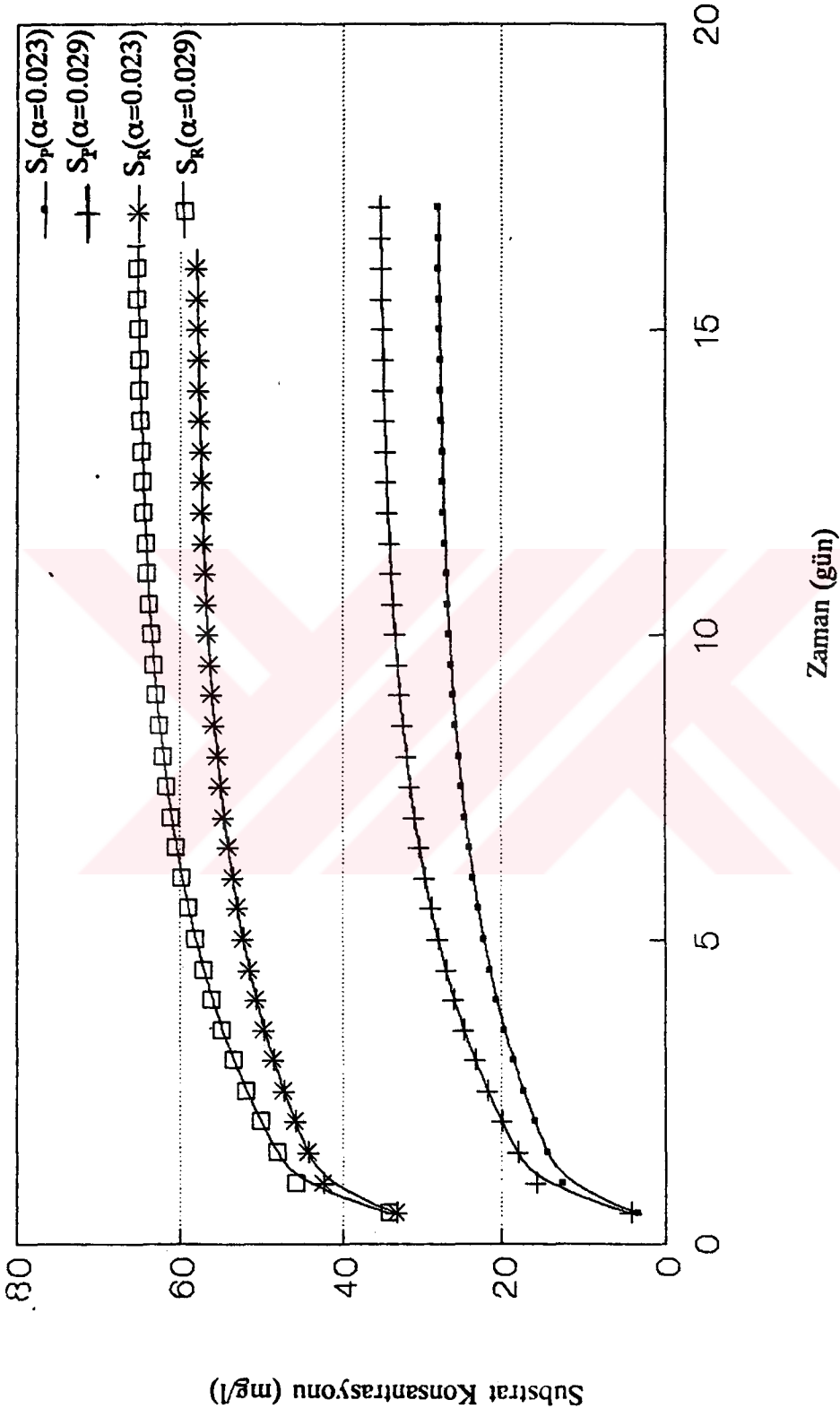
Deneysel sonuçlar ve benzeşim sonuçları ile elde edilen S_T , S_S , S_P , S_R -zaman profilleri incelendiğinde Bölüm 4.1'de elde edilen profillerle benzerlik içinde olduğu görülür. Şekil 4.7'de, 4.9'da verilen S_T - zaman profillerinden görüleceği gibi deneysel veri sonuçları ve benzeşim sonuçları yedi günlük bir süre sonunda aynı değere ulaşmaktadır. S_T - zaman grafiği iki günlük bir bekletme süresi sonunda minimum değerine ulaşmakta ve bundan sonra sabit kalmaktadır. Bunun sebebi S_S grafiğinden de görülebileceği gibi ayrışabilir substrat (S_S) konsantrasyonunun tükenmesidir. Benzeşim sonuçları ve deneysel sonuçlar nihai değer olarak karşılaştırıldığında 7.3 mg/l KOI 'lik bir fark görülür. Bu fark deneysel çalışma sırasında kullanılan ölçüm tekniği ve ölçüm hatası olarak yorumlanarak ihmal edilebilir. Ancak Şekil 4.8 ve Şekil 4.10 incelendiğinde S_R profillerinin hiç bir zaman çakışmadığı görülür. Bunun sebebi seçilen Y_P değerine bağlı olarak bulunan α değerinin farklı olmasıdır. α değeri arttıkça sistemde üretilen S_P miktarı ve dolayısı ile S_R miktarı artmaktadır.

Task Grup kinetik sabitleri ve kağıt endüstrisi için yukarıda belirlenen S_T ve Y_P değerleri kullanılarak sürekli sistemler incelenmiştir.

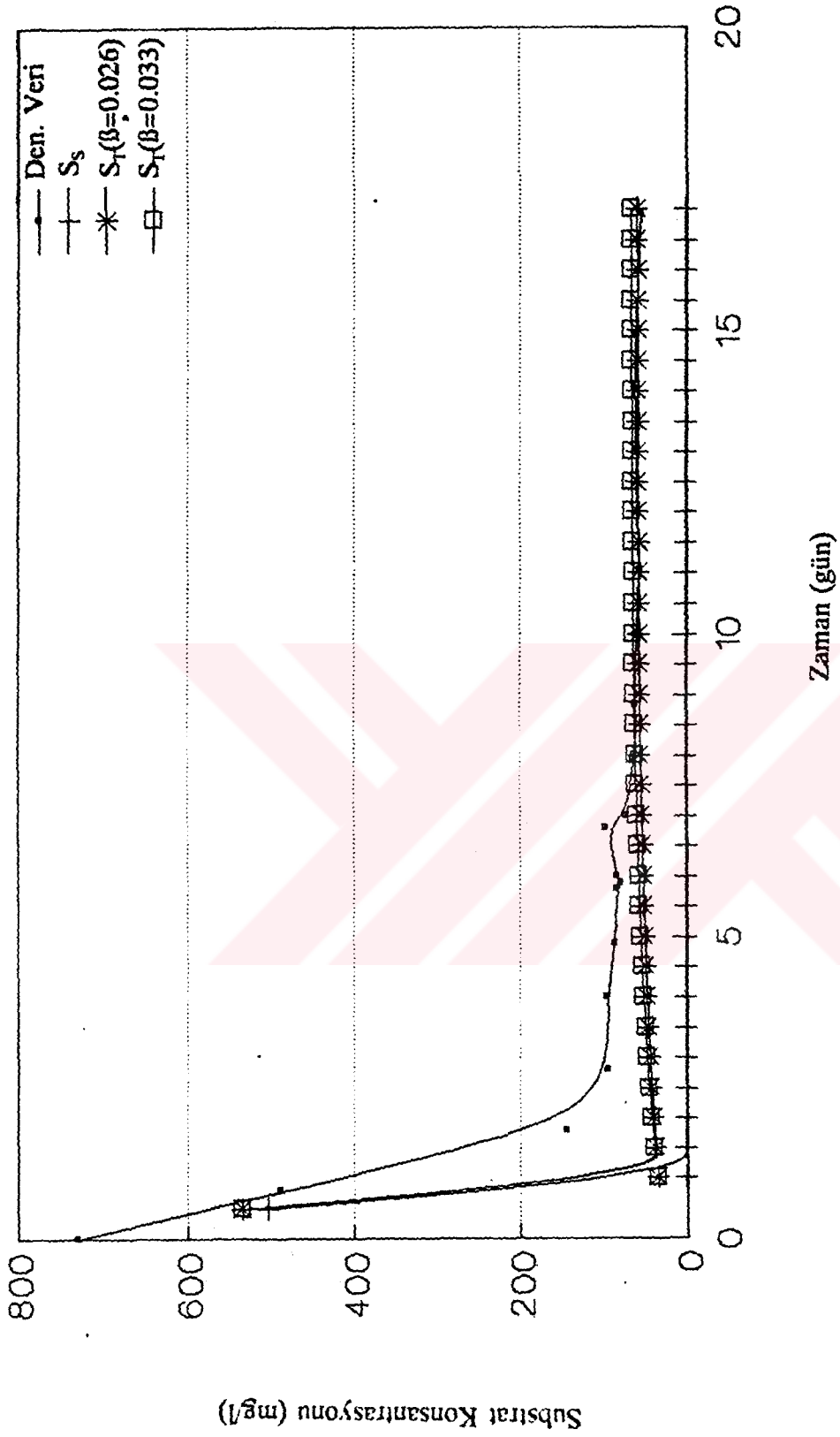
$\hat{\mu} \text{ gün}^{-1}$	3.0
$s \text{ mg/l KOI}$	20
$b_H \text{ gün}^{-1}$	0.62
$Y \text{ mg KOI (mg KOI)}^{-1}$	0.67
$K = k_H/K_X$	50
$f_E \text{ mg KOI (mg KOI)}^{-1}$	0.08



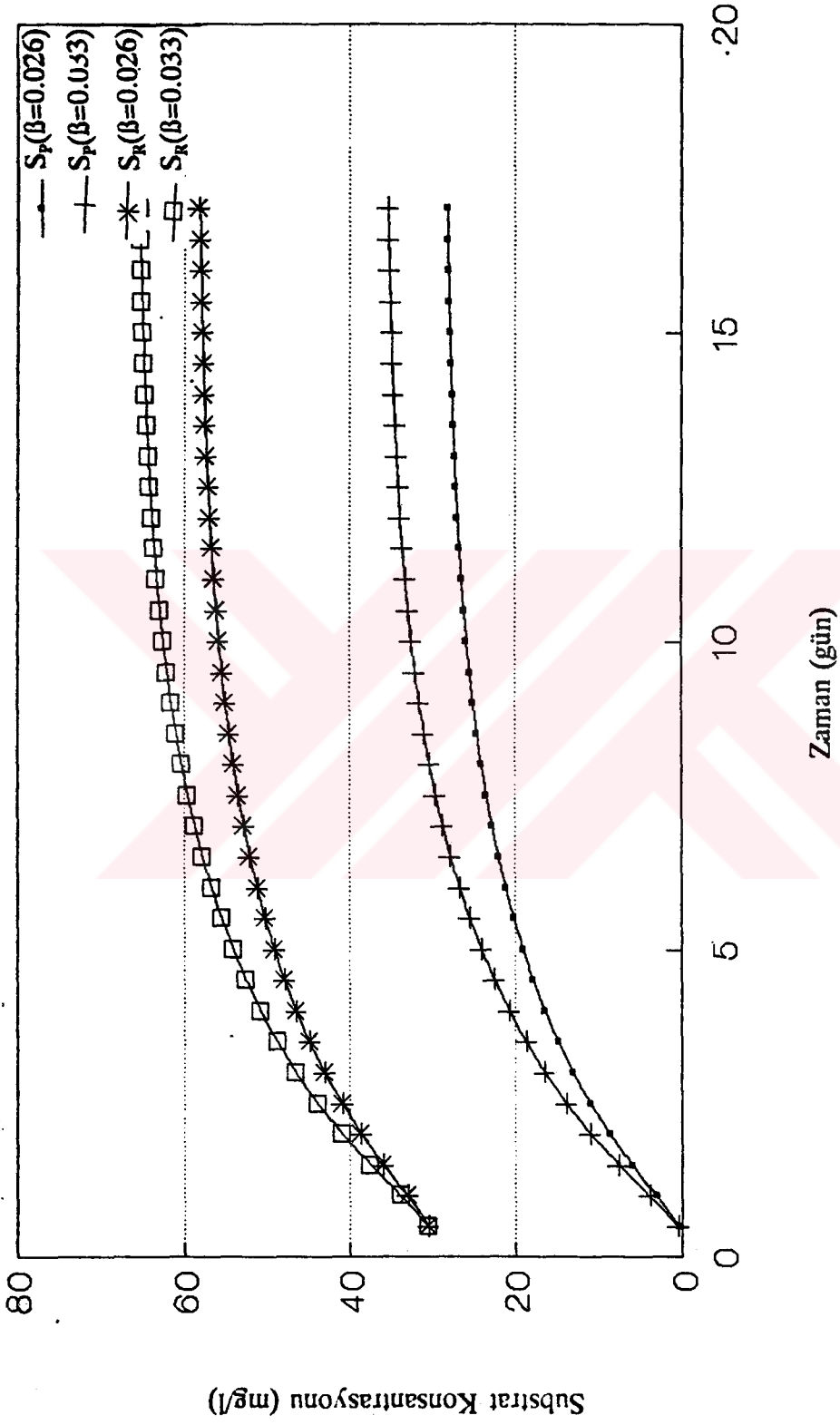
Şekil 4.7 Task Grup Kinetik Sabitleri Ve Değişken α Değerine Karşı S_s Ve S_r Zaman Profilleri



Şekil 4.8 Task Grup Kinetik Sabitleri Ve Değişken α Değerine Karşı S_p Ve S_R Zaman Profilleri



Şekil 4.9 Task Grup Kinetik Sabitleri Ve Değişken B Değerine Karşı S_s Ve S_t Zaman Profilleri



Şekil 4.10 Task Grup Kinetik Sabitleri Vc Değişken β Değerine Karşı S_p Ve S_R Zaman Profilleri

Başlangıç koşulları olarak aşağıdaki değerler alınmıştır.

$t=0$ için $X_A=10$ mg/l KOI

$X_S=0$

$X_I=0$

$S_S=699$ mg/l KOI

$S_I=30$ mg/l KOI

$Y_P=0.036$

$\alpha=0.027$

$\beta=0.031$

Sürekli sistemler için elde edilen benzeşim sonuçları, kesikli sistemler için elde edilen benzeşim sonuçları ile bir uyum sağlamaktadır. Sürekli sistemler için çizilen $S_T-\Theta_c$ grafiği incelendiğinde Şekil 4.11, Şekil 4.12 S_T profilinin $\Theta_c=2 = 3$ gün sonunda bir minimuma ulaştığı görülür. Bu minimumdan sonra S_T değerinin arttığı görülmektedir. Artışın sebebi, sistemde mikrobiyolojik faaliyetler sonucu oluşan ürünlerin zamanla sistem içinde birikmesidir. Ancak bu ürünlerin artışı $\Theta_c=10$ gün üzerinde oldukça azalmakta ve S_T sabit bir değer almaktadır.

Germirli çalışmalarında seyreltik atıksu kullanmıştır. Çalışma sonucu orjinal atıksu için çözünmüş inert substrat (S_I) konsantrasyonunu 137 mg/l KOI olarak belirlemiştir. Sürekli sistemlerde orjinal atıksu değerleri ile çalışılarak elde edilen sonuçlar Şekil 4.13 ve 4.14'de verilmiştir.

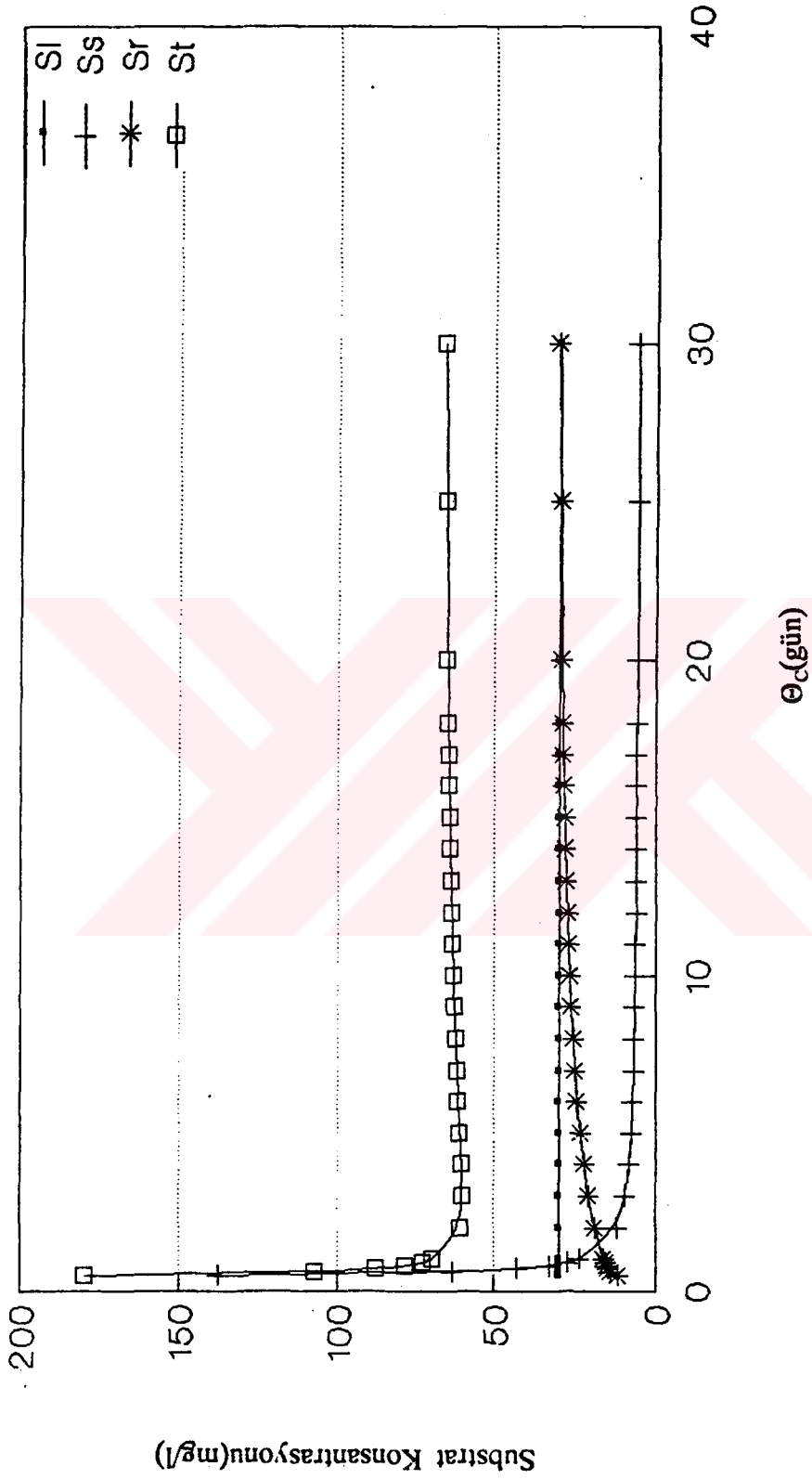
Orjinal atıksu $S_T=3340$ mg/l KOI

$S_I=137$ mg/l KOI

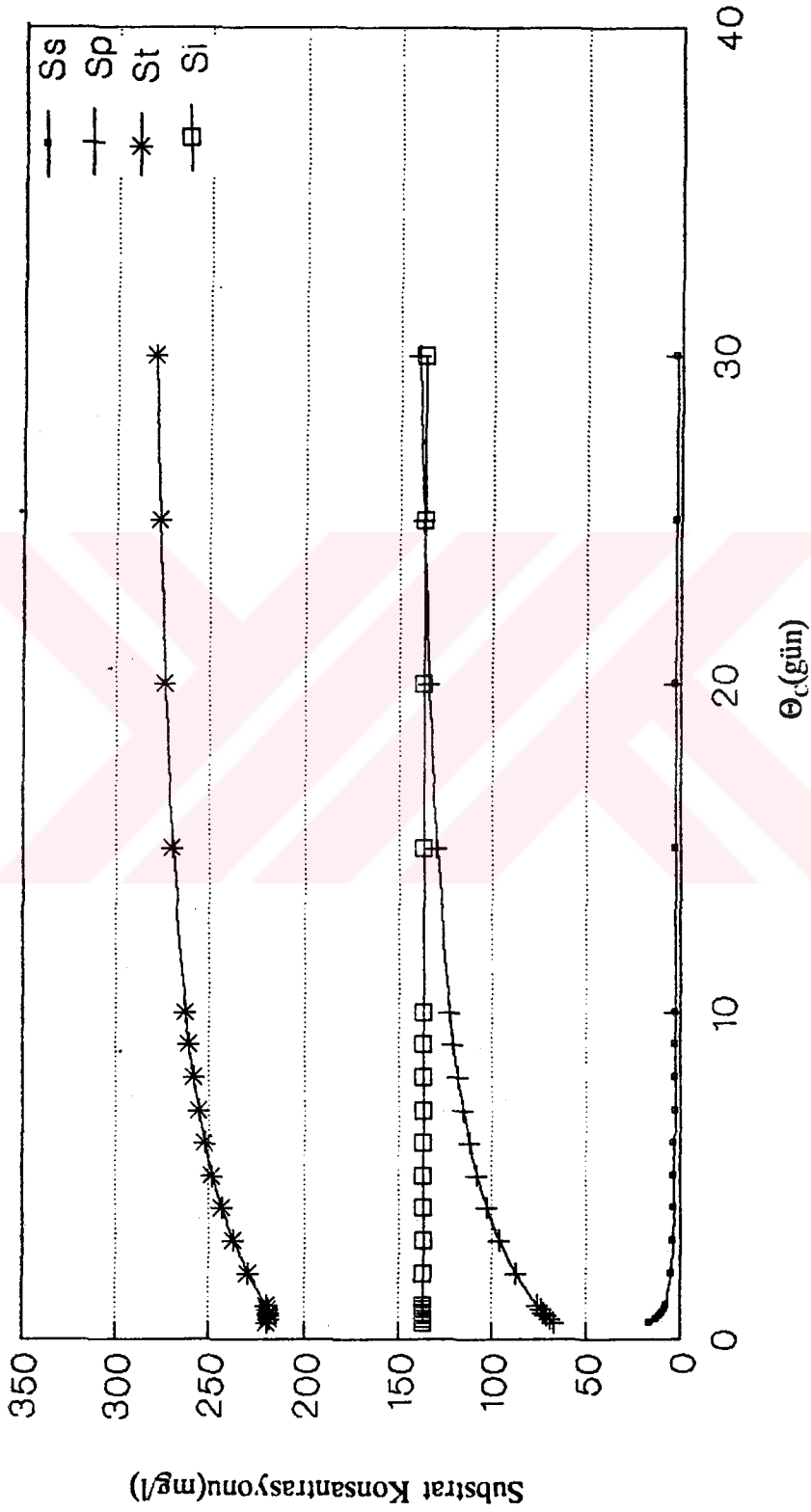
Sistem girişindeki çözünmüş inert substrat, sistemde hiçbir değişikliğe uğramadan sistemi terk ettiği için, sistem çıkışındaki toplam substrat konsantrasyonunu ve dolayısı ile deşarj limitleri üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle S_I konsantrasyonunun bilinmesi arıtma açısından çok önemlidir.



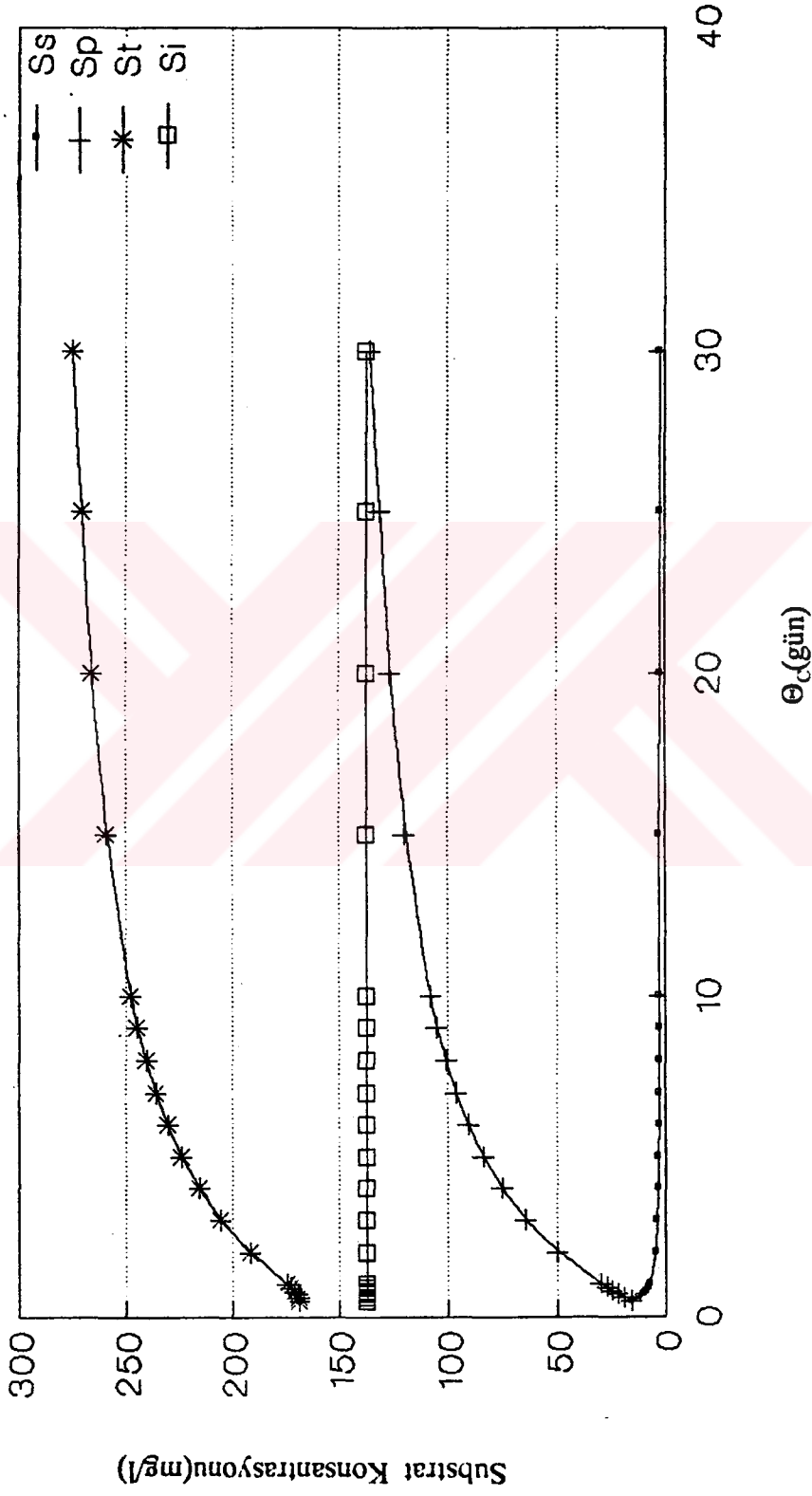
Şekil 4.11 Sürekli Sistemlerde S_p , S_s , S_1 - θ_c Profilleri ($\beta=0.031$)



Şekil 4.12 Sürekli Sistemlerde S_p , S_s , S_i - Θ_c Profilleri ($\alpha=0.027$)



Şekil 4.13 Sürekli Sistemlerde S_T , S_p , S_s , S_i - Θ_c Profilleri ($S_T=3340$, $\alpha=0.027$)



Şekil 4.14 Sürekli Sistemlerde S_T , S_p , S_s , S_i - Θ_c Profilleri ($S_T=3340$, $\beta=0.03$ l)

BÖLÜM 5

ARITILABİLİRLİK SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde Artan ve Cimşit modeli geri devirli tam karışımlı aktif çamur sistemlerine uygulanması ile çıkış suyundaki çözünmüş KOI değeri, sistemin işletme parametrelerine ve atıksu özelliğine bağlı olarak incelenmiştir. Bu simülasyonda Tablo 5.1'de verilen kinetik ve stokiometrik katsayılar kullanılmıştır.

Tablo 5.1 Sürekli Sistemler İçin Seçilen Kinetik Ve Stokiometrik Katsayılar

Sembol	Birim	Seçilen Değer
Y	mg KOI/mg KOI	0.67
$\hat{\mu}$	gün ⁻¹	3.0
K _s	mg /l	20
b _H	gün ⁻¹	0.62
K	gün ⁻¹	50
f _E	mg KOI/mg KOI	0.08
f _{SP}	mg KOI/mg KOI	$\alpha=0.023$

Sistem girişindeki toplam çözünmüş madde konsantrasyonu, çözünmüş inert ürün fraksiyonu (f_{sp}) ve sistem girişindeki çözünmüş inert substrat konsantrasyonu için aşağıdaki değerler alınarak sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir.

S _r (mg/l)	Y _p mg KOI/mg KOI	Y _i mg KOI/mg KOI
500	0.04	0.04
2000	0.06	0
	0.02	0.02
		0.06
		0.1

Başlangıç koşullu olarak Tablo 5.1'de verilen kinetik stokiometrik katsayılar ve yukarıda verilen S_T , Y_P , Y_I değerinden sadece biri değişken (S_T sabit, Y_P değişken, Y_I sabit) diğerleri sabit alınarak sistem üzerindeki etki incelenmiştir.

Başlangıç Koşulları

$t=0$ için $S_T=500$ mg/l KOI

$Y_I=0.04$

$X_{S0}=X_I=0$

S_T ve Y_I değerleri sabit, Y_P değeri değişken alınarak Tablo 5.1'de verilen kinetik-stokiometrik katsayılar kullanıldığında elde edilen sonuçlar şekil 5.1'de verilmiştir. Şekil 5.1 incelendiğinde çözünmüş inert ürün oluşumunun, çözünmüş inert ürün fraksiyonu (α) değerinin artması ile arttığı görülür. Çözünmüş inert ürün (S_P) oluşumu Θ_C 'nin bir fonksiyonu olarak artmaktadır. Ancak çoğalmaya bağlı olarak oluştuğu için sistemdeki substrat miktarının azalması ile azalmaktadır. Sistem çıkışındaki substrat konsantrasyonu (S_T) çözünmüş inert ürün konsantrasyonundan etkilenmediği için S_P üretimine bağlı olarak değişmektedir. Buna bağlı olarak sistem çıkışındaki çözünmüş substrat konsantrasyonu, çözünmüş inert ürün fraksiyonundan önemli ölçüde etkilenmektedir.

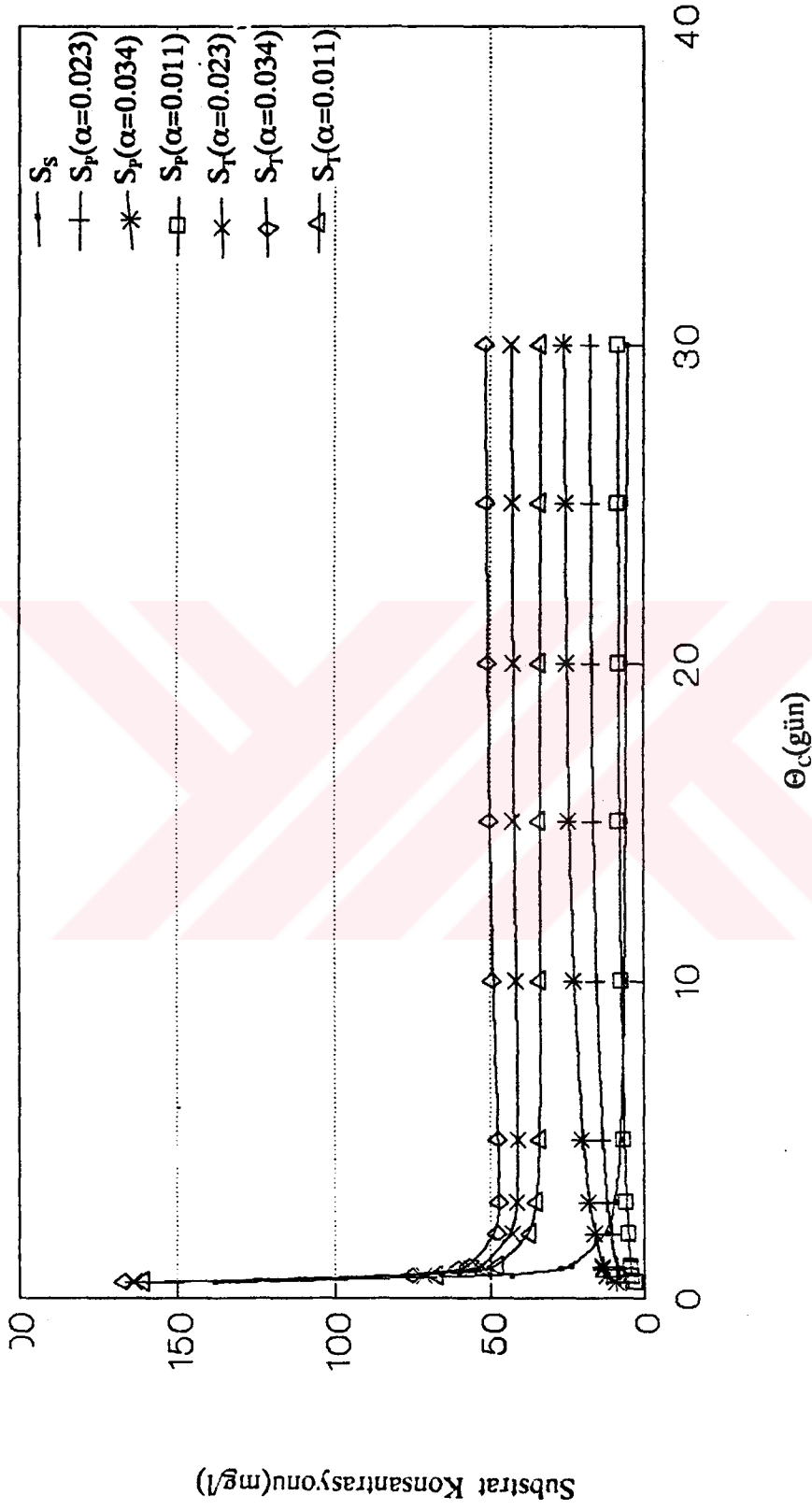
Başlangıç Koşulları:

$t=0$ için $S_T=500$ mg/l KOI

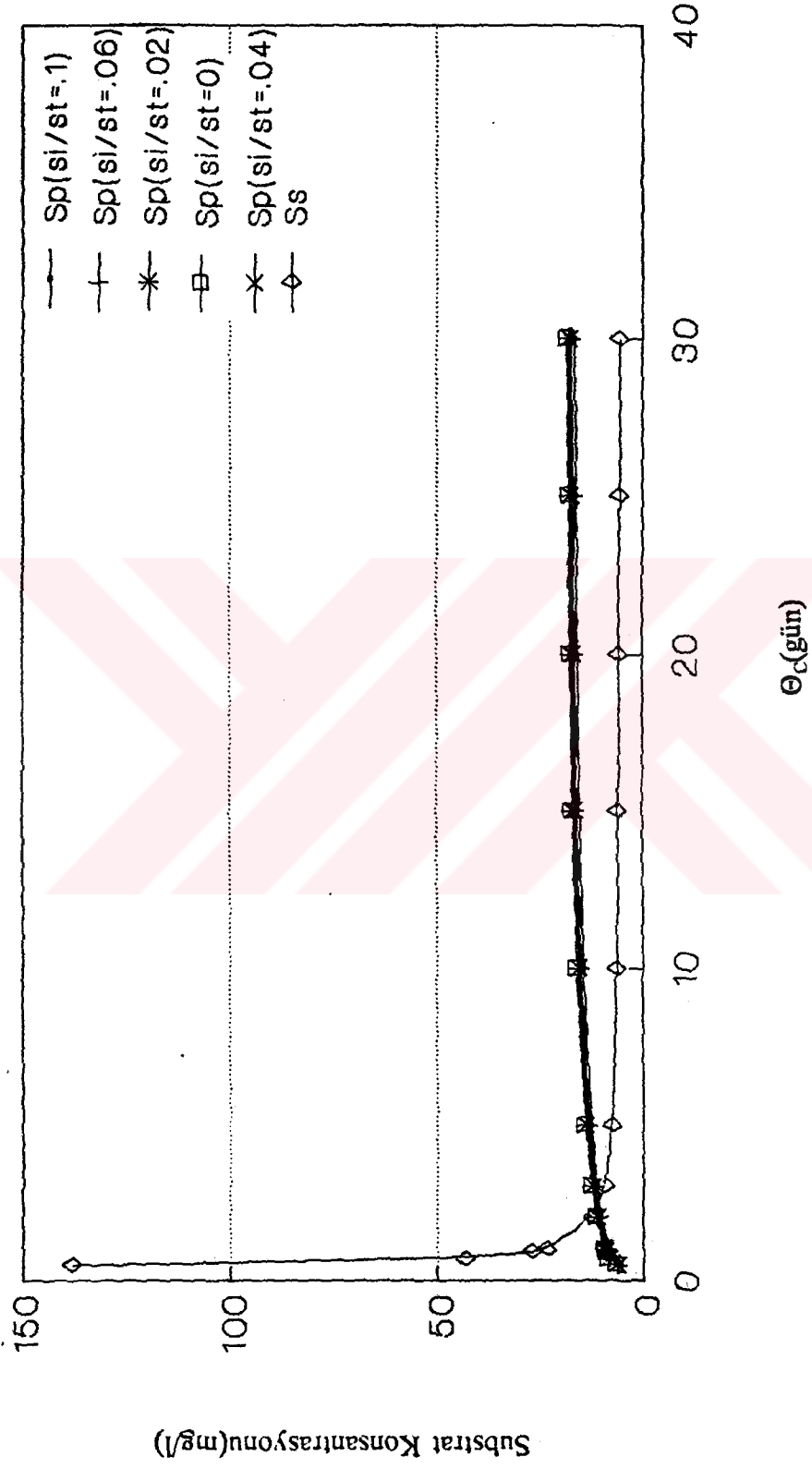
$Y_P=0.04$

$X_{S0}=X_I=0$

S_T ve Y_P değerleri sabit Y_I değeri değişken alınarak Tablo 5.1'de verilen kinetik-stokiometrik katsayılar kullanıldığında elde edilen sonuçlar Şekil 5.2'de ve 5.3'de verilmiştir. Şekil 5.2 incelendiğinde, sistemde üretilen inert substrat (S_P) konsantrasyonunun Y_I değerinin değişmesine karşılık dikkate alınacak bir değişikliğe uğramadığı görülür. Bunun nedeni S_P üretiminin çoğalmaya bağlı olması ve Y_P değerinin sabit alınmasıdır. Ancak şekil 5.3 incelendiğinde S_T değerinin Y_I değerine bağlı olarak değiştiği görülür. Bu ise sistem çıkışındaki KOI değerinin, çözünmüş ayrışabilir substrattan kalan, üretilen inert substrat ve başlangıçtaki inert substrat ($S_S+S_P+S_I$) toplamından oluşması ile açıklanabilir. Çözünmüş inert substrat sistemde hiç bir değişikliğe uğramadan sistemi terk ettiği ve sistem çıkışındaki konsantrasyonu



Şekil 5.1 $S_T=500$ mg/l Olması Halinde S_s , S_p , S_T - Θ_c Profilleri



Şekil 5.2 $S_i=500$ mg/l İçin Değişken Y_1 Değerine Karşı $S_R - \Theta_c$ Profilleri



Şekil 5.3 $S_1=500$ mg/l İçin Değişken Y_1 Değerine Karşı $S_T - \Theta_c$ Profilleri

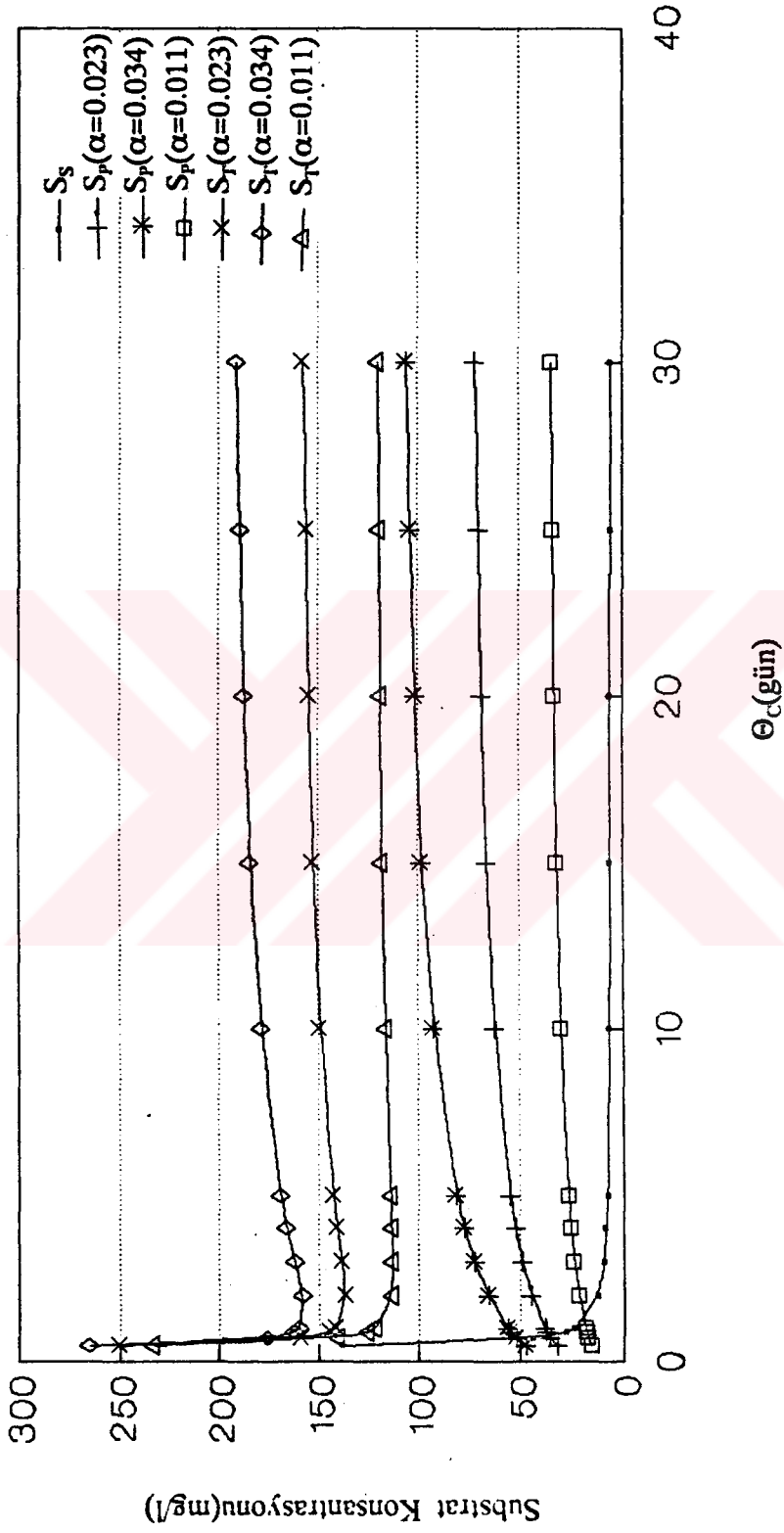
Yukarıdaki çalışmalarda yer alan $S_T=500$ mg/l değeri $S_T= 2000$ mg/l olarak değiştirilmiş ve benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 5.4, 5.5, 5.6). Ancak ürün oluşumu çoğalmaya bağlı olarak meydana geldiği ve çoğalmada sadece girişteki substrat üzerinden gerçekleştiği için bir artış göstermiştir. S_s profili ise değişmemiştir. Çünkü S_s , Θ_c 'nin bir fonksiyonu olduğu için başlangıçtaki substrat konsantrasyonundan etkilenmemiştir.

Kinetik sabitlerin değişiminin sistem üzerindeki etkisini incelemek için $\hat{\mu}$, K_s , Y aşağıdaki değerler değişken olarak alınmıştır.

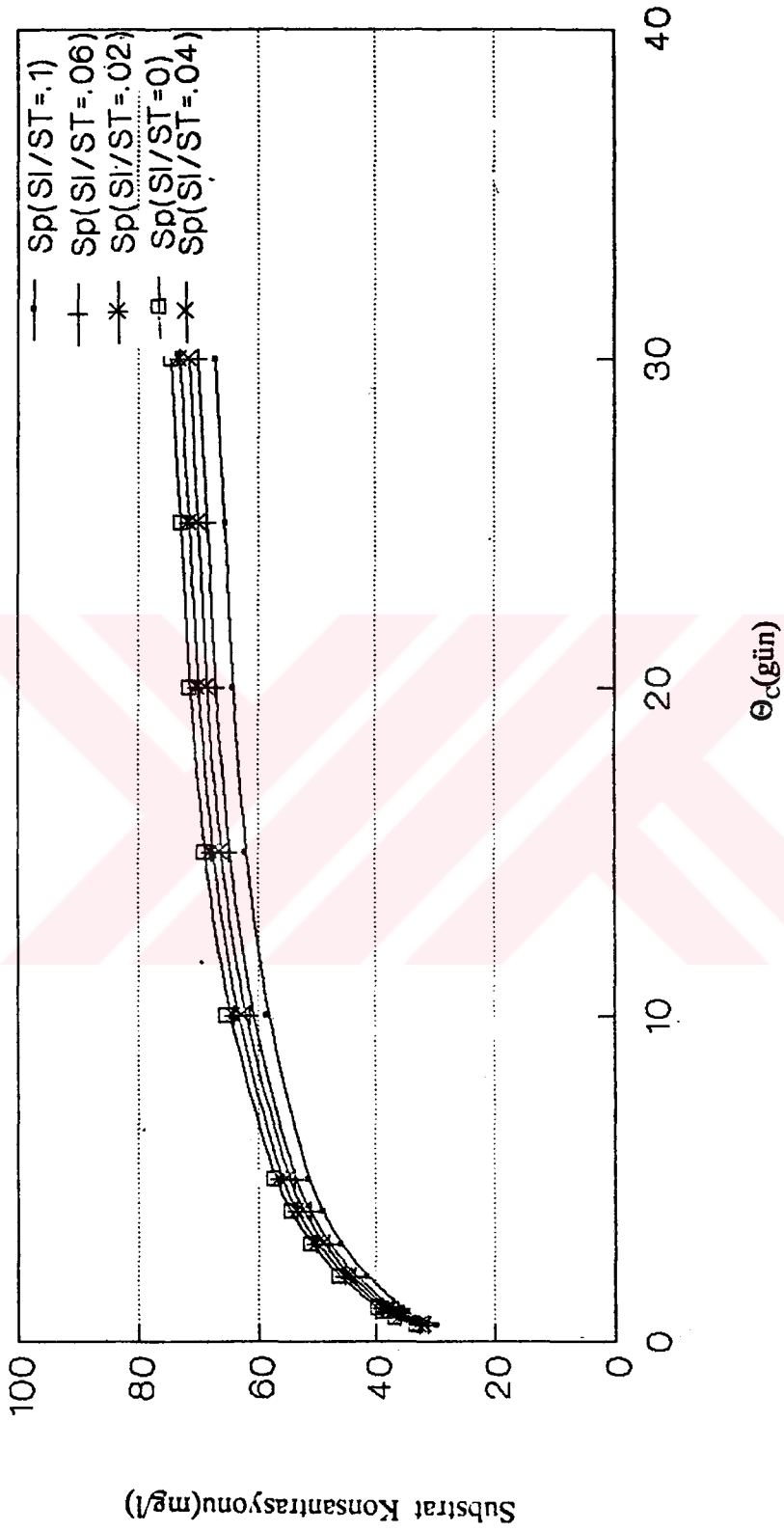
$\hat{\mu}$ (gün ⁻¹)	K_s (mg/l)	Y(mg KOI/mg KOI)
3	20	0.45
4	50	0.67
5	100	0.72
6	300	
Başlangıç Koşulları		
t=0 için	$S_T=500$ mg/l	
	$Y_i=Y_p=0.04$	
	$X_{s0}=X_i=0$	

Maksimum çoğalma hızının sistem üzerindeki etkisini görmek için Tablo 5.1'de verilen kinetik-stokiyometrik katsayılar kullanılmış ancak $\hat{\mu}$ değeri değişken olarak alınmıştır. Başlangıç koşulları olarak verilen S_T , Y_p , Y_i değerleri sabit bir değer olarak belirlenmiştir ve elde edilen sonuçlar ile maksimum çoğalma hızının sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Şekil 5.7 incelendiğinde $\hat{\mu}$ değerinin artması ile sistemde çözünmüş substrat gideriminin maksimum düzeyde olduğu görülür. S_p üretimi çoğalmaya bağlı olduğu için başlangıçtaki substrat miktarı ile Θ_c 'ye bağlı olarak değişmekte ve değişken $\hat{\mu}$ değerine karşı aynı profilleri vermektedir Şekil (5.8). Orjinal substrat Θ_c değerinin artması ile azalmakta ve $S_T - \Theta_c$ profilinde aynı azalmayı göstermektedir (Şekil 5.9). Maksimum çoğalma hızının sistem üzerinde önemli bir değişikliğe sebep olmadığı görülmüştür. Maksimum çoğalma hızı için belirlenen iki uç değer (3 ve 6) alınarak Y_p değişiminin sistemi ne şekilde etkilediği incelenmiştir (Şekil 5.10 ve 5.11).



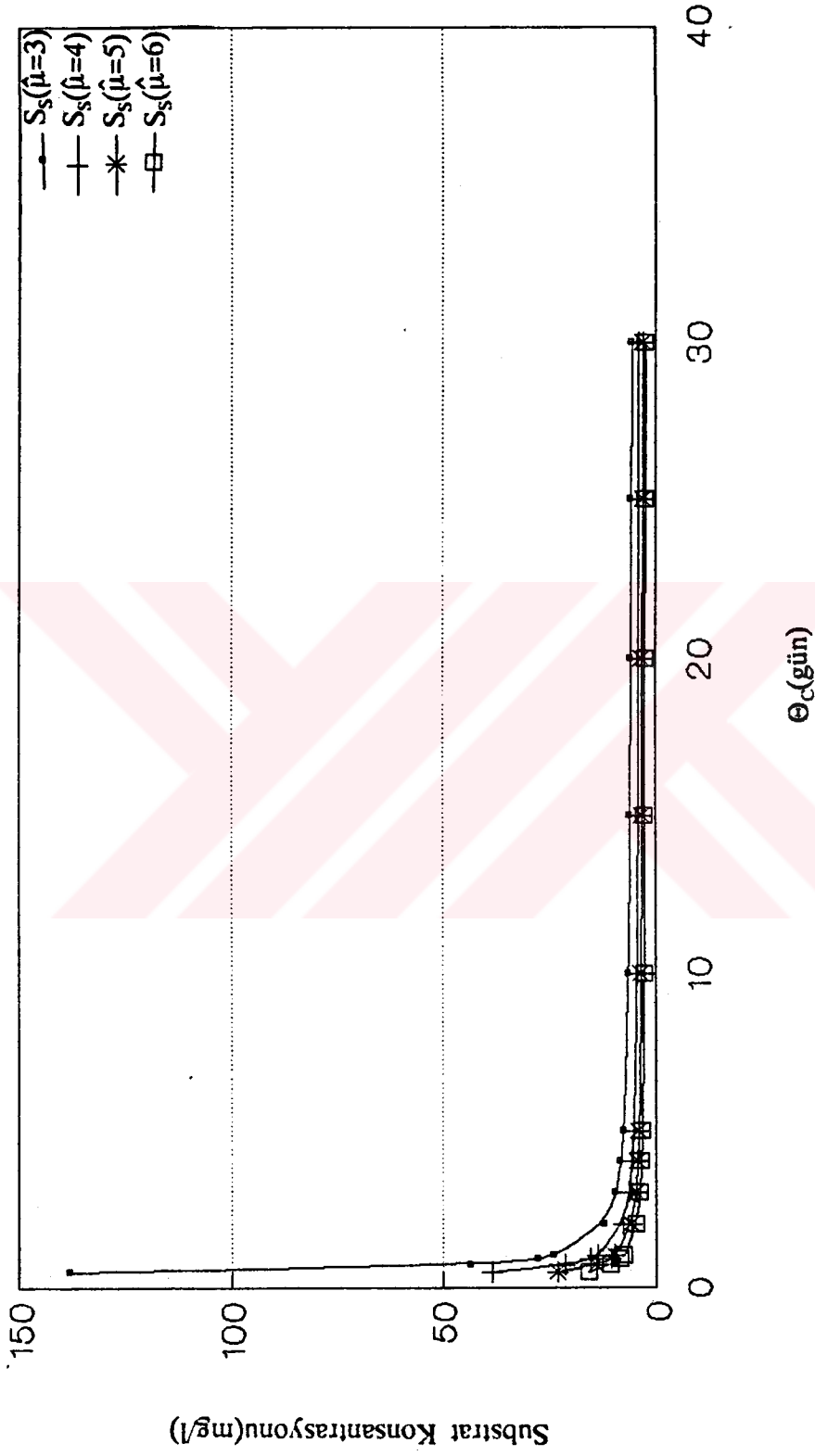
Şekil 5.4 $S_T=2000$ mg/l Olması Halinde S_s , S_p , S_T - Θ_c Profilleri



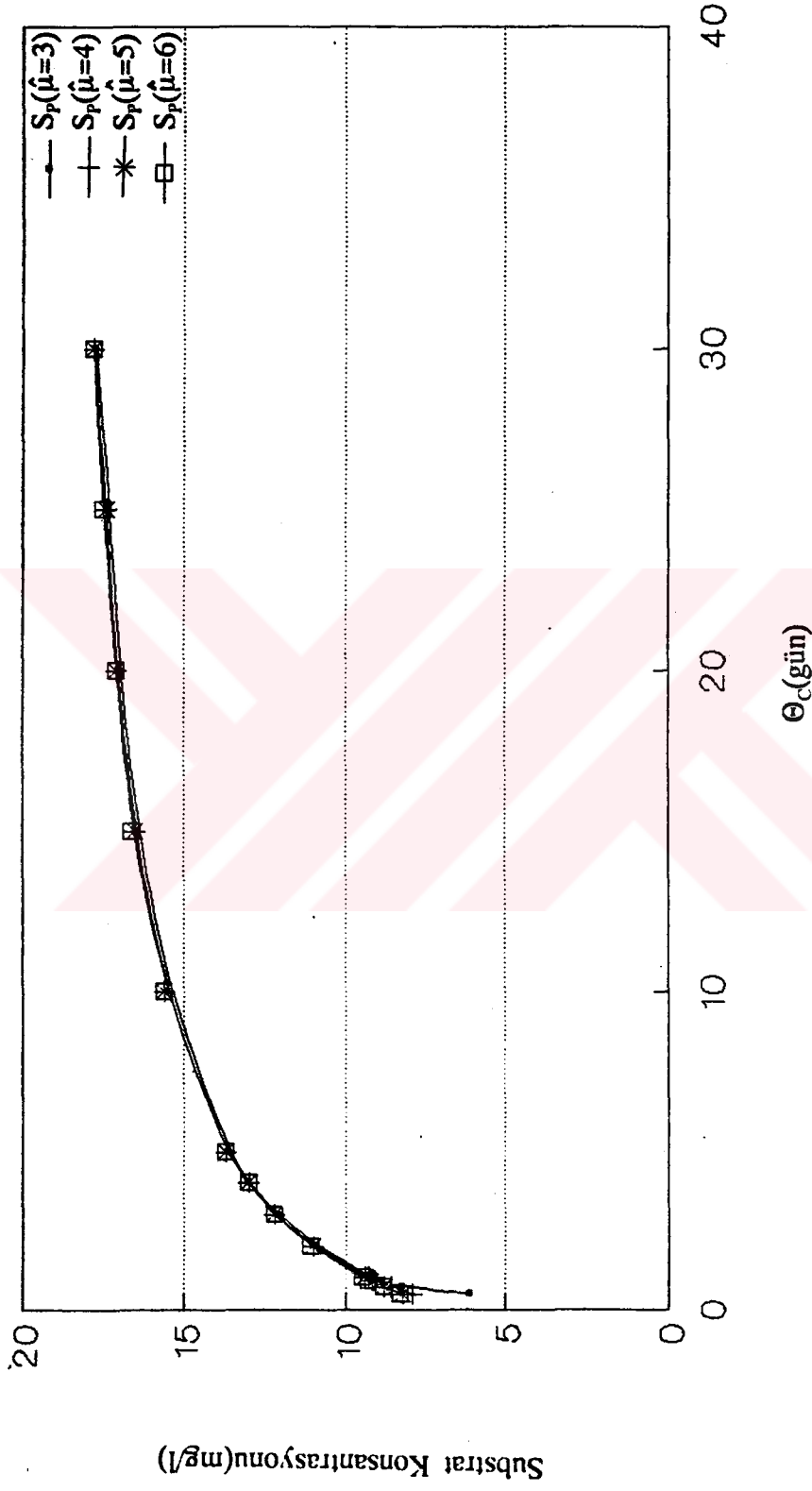
Şekil 5.5 $S_T = 2000$ mg/l İçin Değişken Y_1 Değerine Karşı $S_p - \Theta_c$ Profilleri



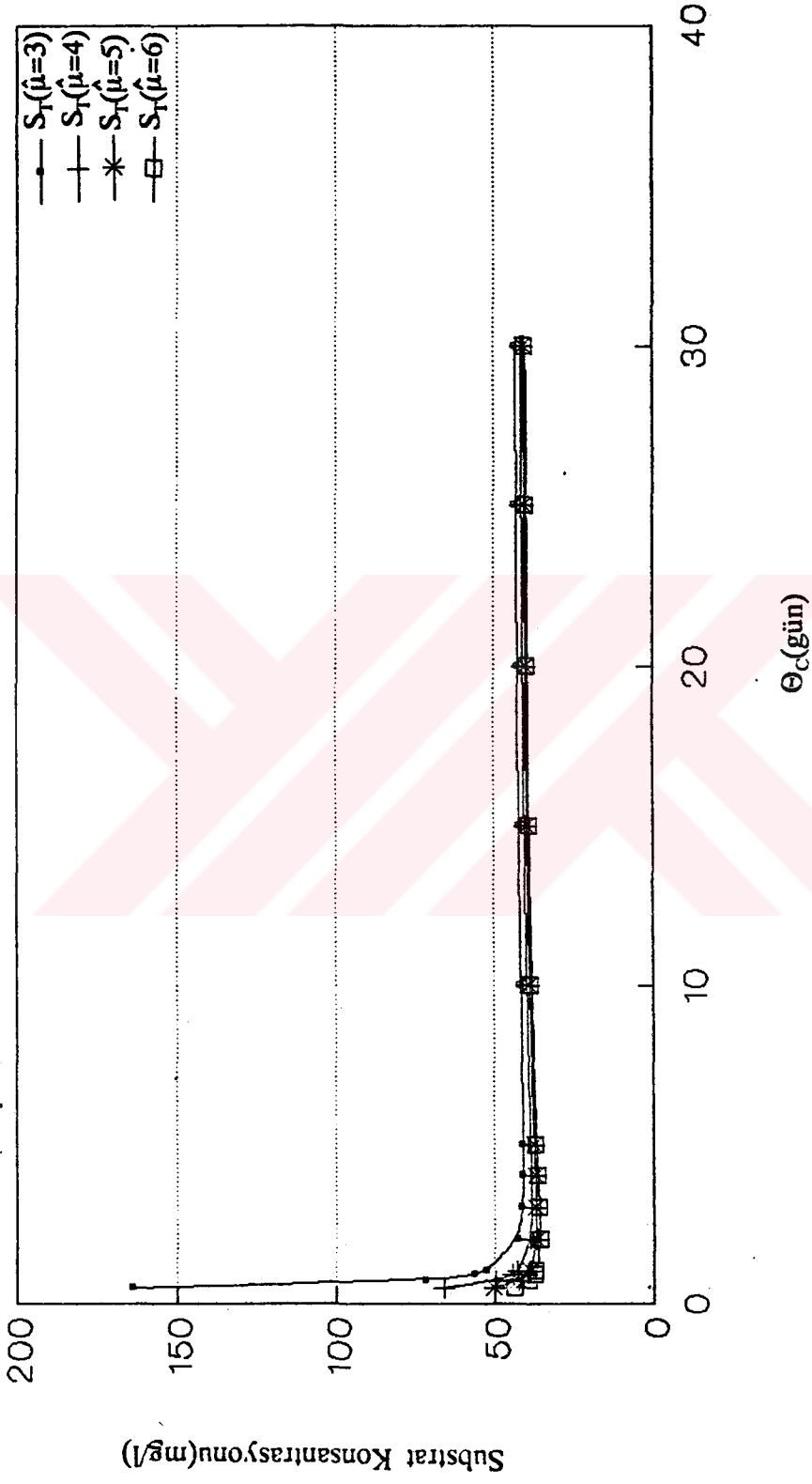
Şekil 5.6 $S_0=2000$ mg/l için Değişken Y_1 Değerine Karşı $S_1 - \Theta_c$ Profilleri



Şekil 5.7 $S_1=500$ mg/l İçin Değişken $\hat{\mu}$ Değerine Karşı $S_s - \Theta_c$ Profilleri



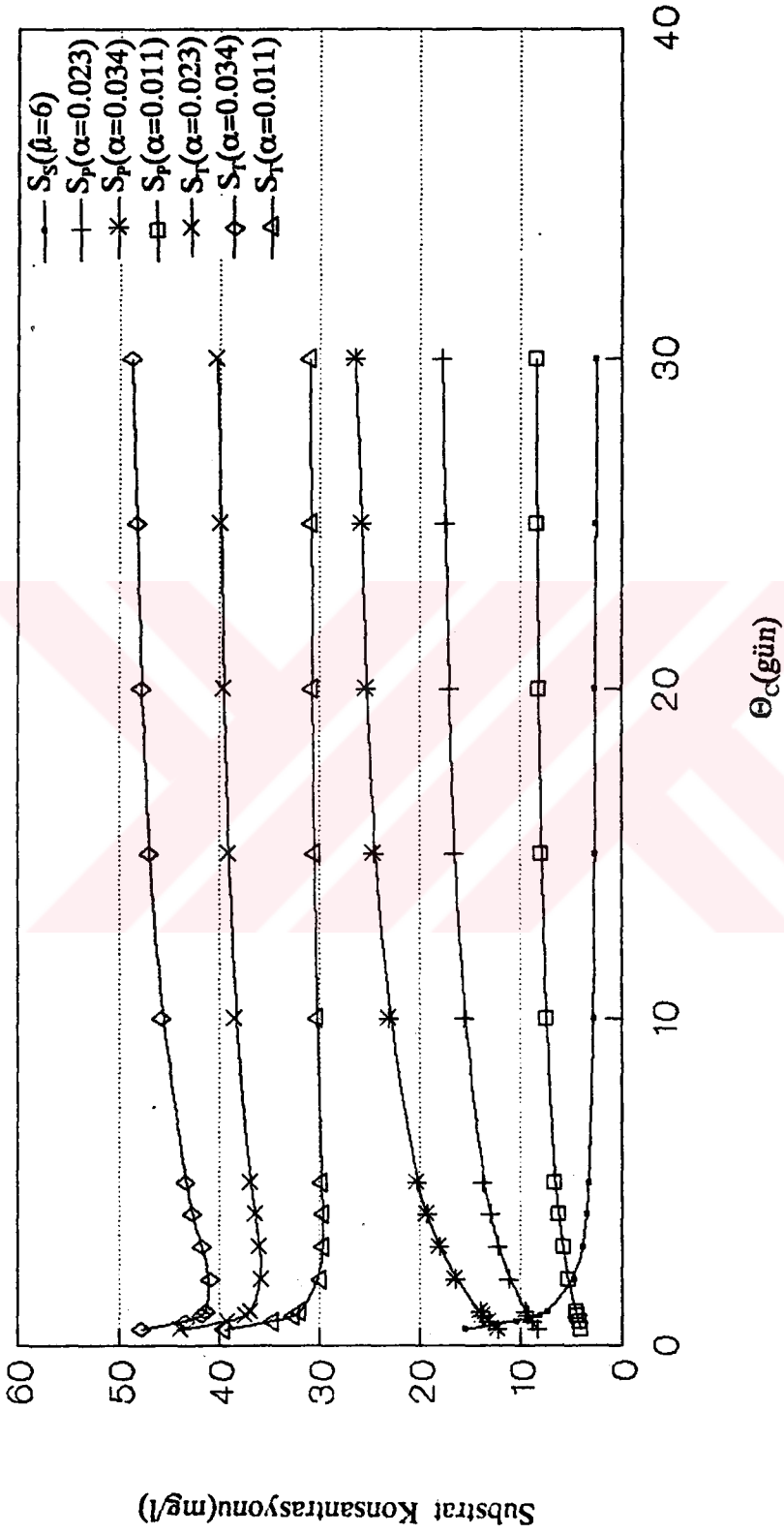
Şekil 5.8 $S_T=500$ mg/l İçin Değişken $\hat{\mu}$ Değerine Karşı $S_p - \Theta_c$ Profilleri



Şekil 5.9 $S_T=500$ mg/l İçin Değişken $\hat{\mu}$ Değerine Karşı $S_T - \Theta_c$ Profilleri



Şekil 5.10 $S_r=500$ mg/l için Değişken Y_p Değerine Karşı S_s , S_p , S_T , $S_p - \Theta_c$ Profilleri



Şekil 5.11 $S_1=500$ mg/l ve $\hat{\mu}=6$ için Değişken Y , Değerine Karşı S_s , S_p , S_r , S_p - Θ_c Profilleri

S_s giderimi $\hat{\mu}$ (3 ve 6) değerinin artması ile maksimum düzeyde gerçekleştiği için sistemi etkileyen sadece S_s konsantrasyonundaki değişme olmuştur.

Benzer sonuçlar başlangıç koşulu olarak belirlenen S_T değerinin 2000 mg/l olarak değiştirilmesi sonucu da elde edilmiştir Şekil 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16.

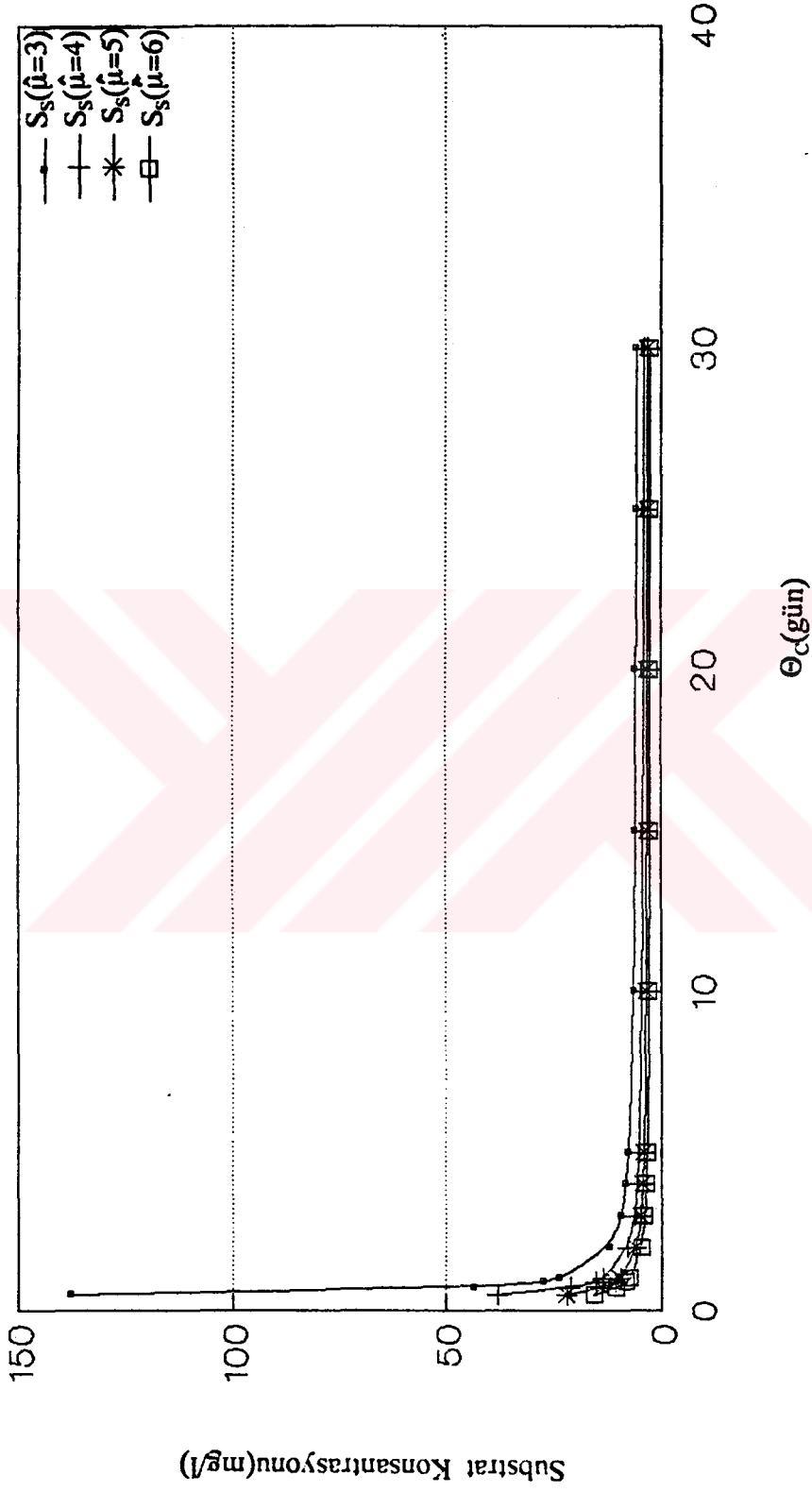
Yarı doygunluk sabiti K_s 'nin sistem üzerindeki etkisini incelemek için Tablo 5.1'de verilen K_s değeri sırasıyla 20, 50, 100, 300 mg/l olarak alınmıştır. Aşağıdaki başlangıç koşulları kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} t=0 \text{ için} \quad S_T &= 500 \text{ mg/l} \\ Y_I &= 0.04 \\ Y_P &= 0.04 \\ X_{SO} &= 0 \\ X_I &= 0 \end{aligned}$$

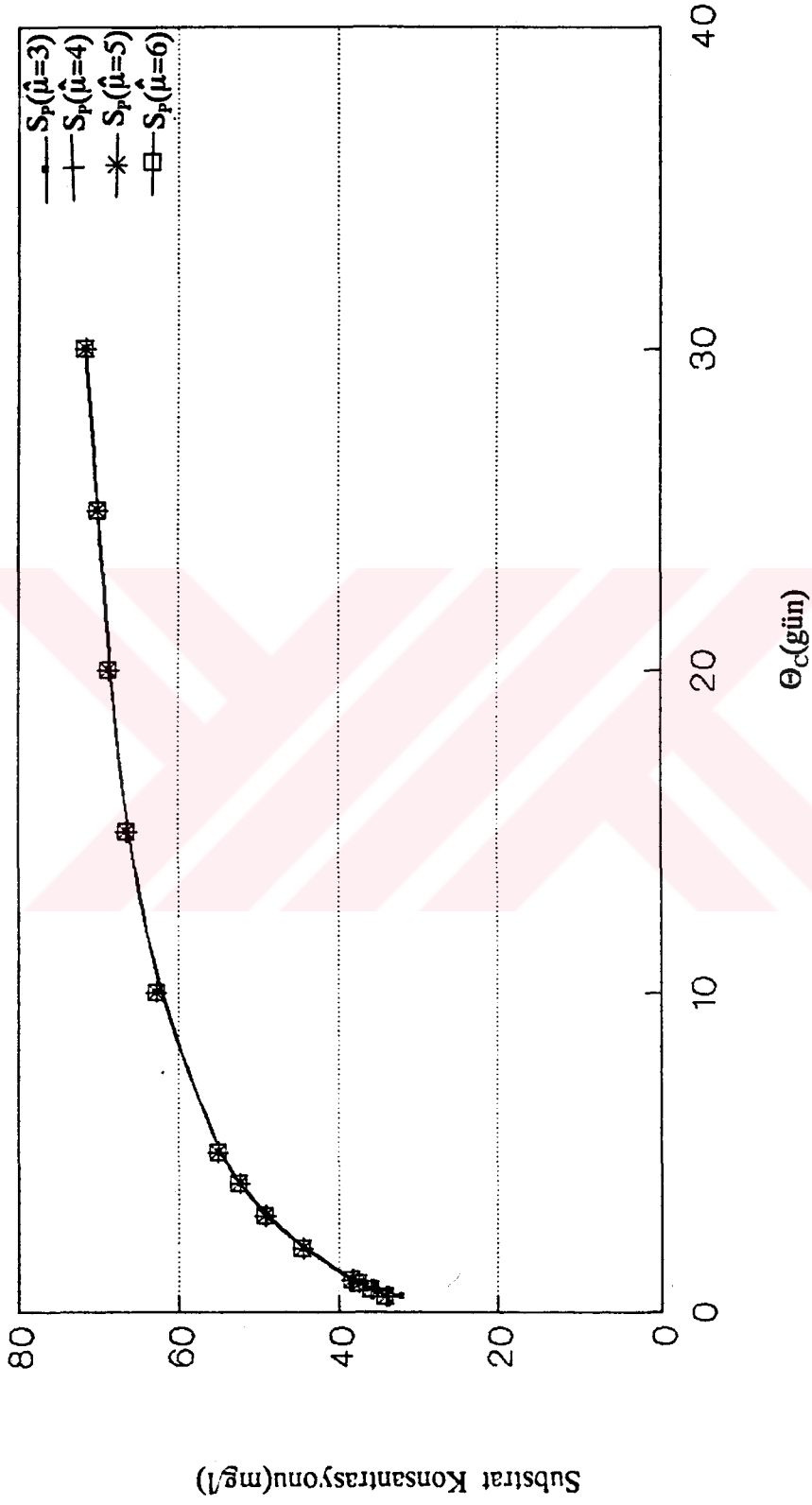
Şekil 5.17 incelendiğinde S_s gideriminin minimum K_s değerinde maksimum düzeyde olduğu görülür. S_p üretimi ise S_s profilinin tam tersine K_s değerinin artması ile minimum düzeyde üretilmektedir (Şekil 5.18). Sistem çıkışındaki KOI ($S_T - \Theta_C$) profilleri (Şekil 5.19). S_s profiline benzer şekilde K_s değeri ile orantılı olarak artmaktadır.

Başlangıç koşulu olarak sadece S_T değeri 2000 mg/l olarak değiştirilmiş ve K_s değişiminin sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir. S_s , Θ_C 'nin fonksiyonu olduğu için başlangıç değerinden etkilenmemiş, S_p ve S_T profilleri başlangıçtaki substrat konsantrasyonunun değişimine paralel olarak bir artış göstermiştir (Şekil 5.20, 5.21, 5.22)

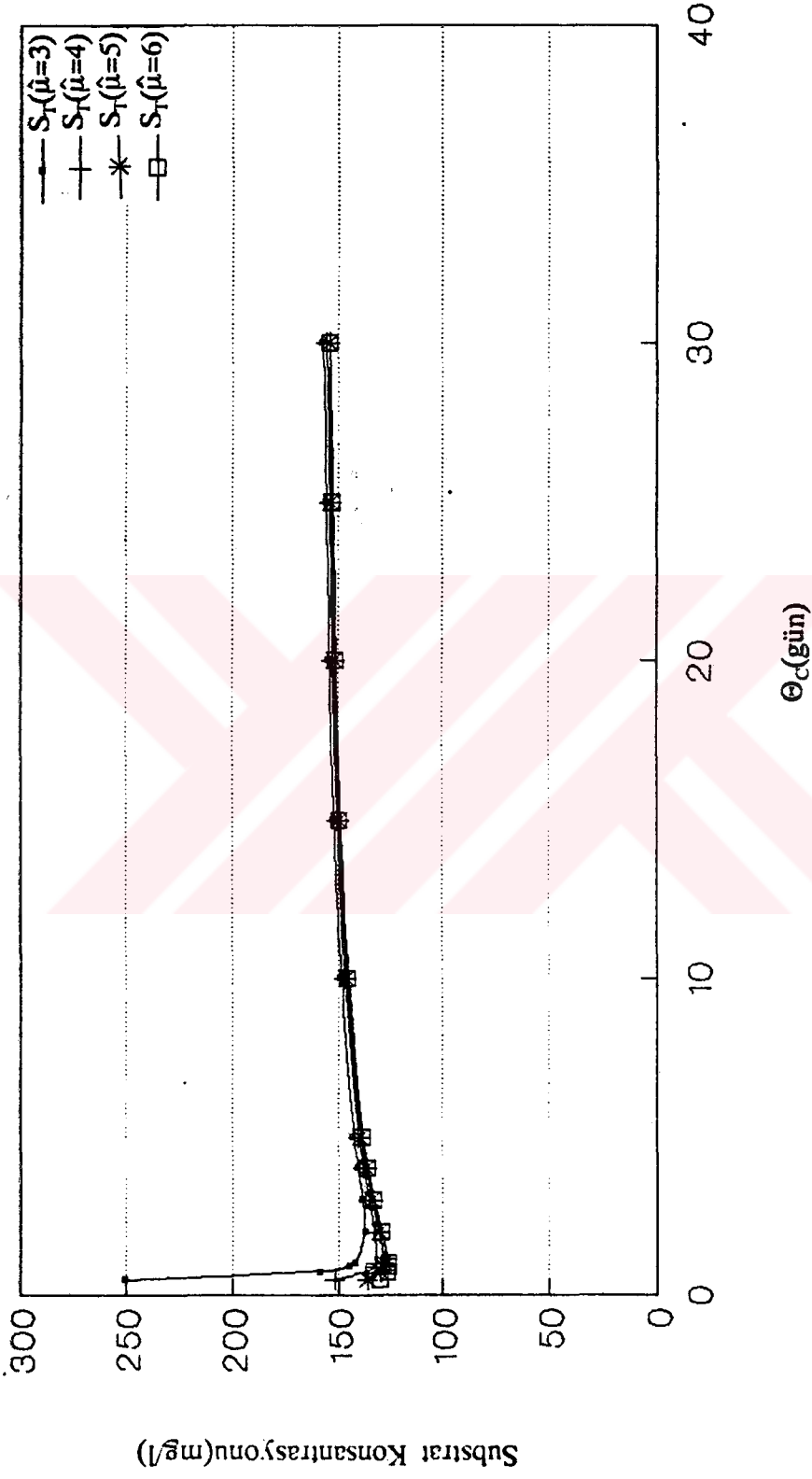
Dönüşüm oranının sistem üzerindeki etkisi incelemek için Tablo 5.1'de verilen kinetik - stokiometrik katsayılar kullanılarak sadece Y değeri değiştirilmiştir. dönüşüm oranı (Y) için sırayla 0.45, 0.67, 0.72 değerleri alınmıştır.



Şekil 5.12 $S_I=2000$ mg/l için Değişken $\hat{\mu}$ Değerine Karşı $S_s - \Theta_c$ Profilleri



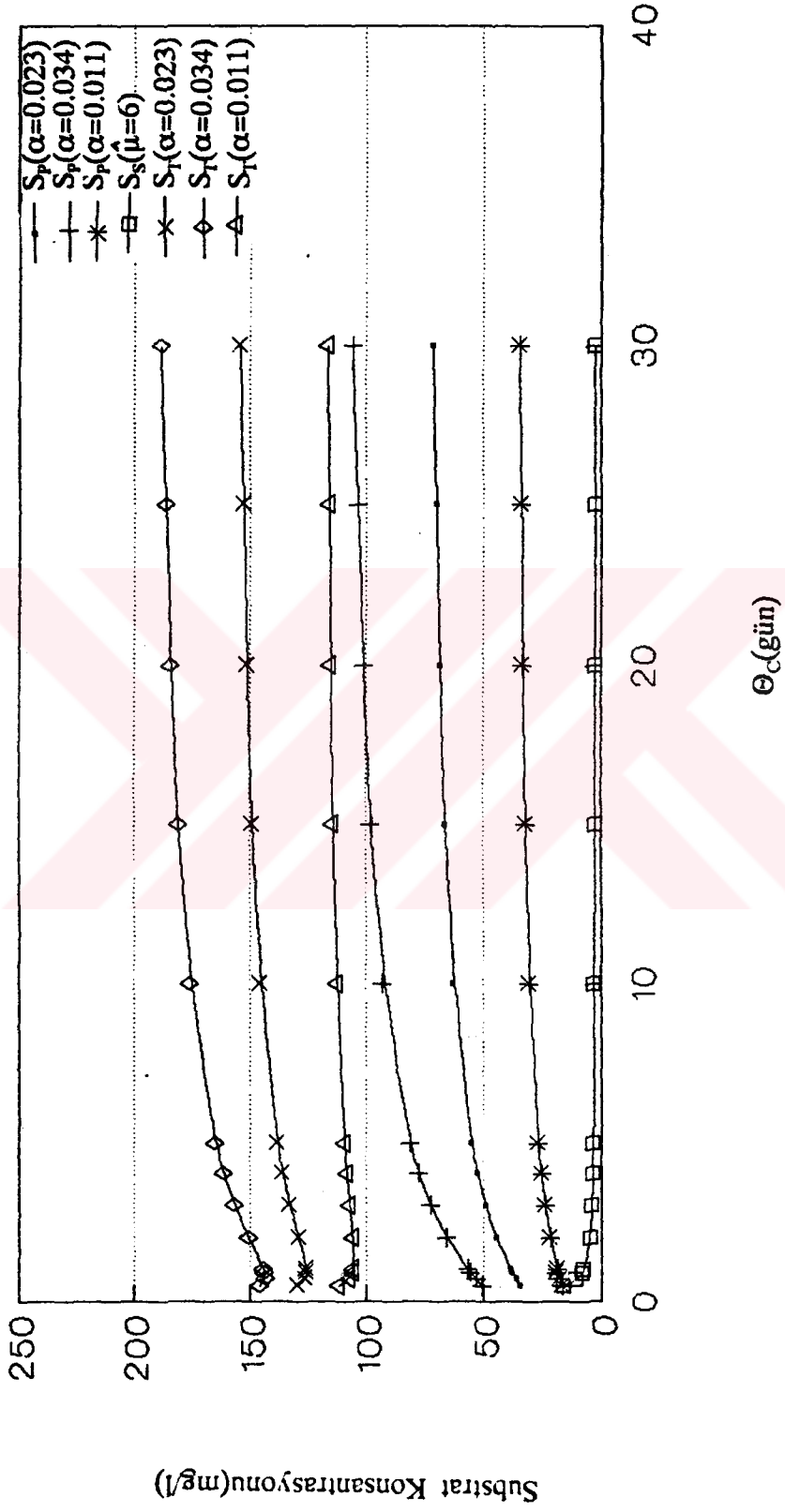
Şekil 5.13 $S_i=2000$ mg/l için Değişken $\hat{\mu}$ Değerine Karşı $S_p - \Theta_c$ Profilleri



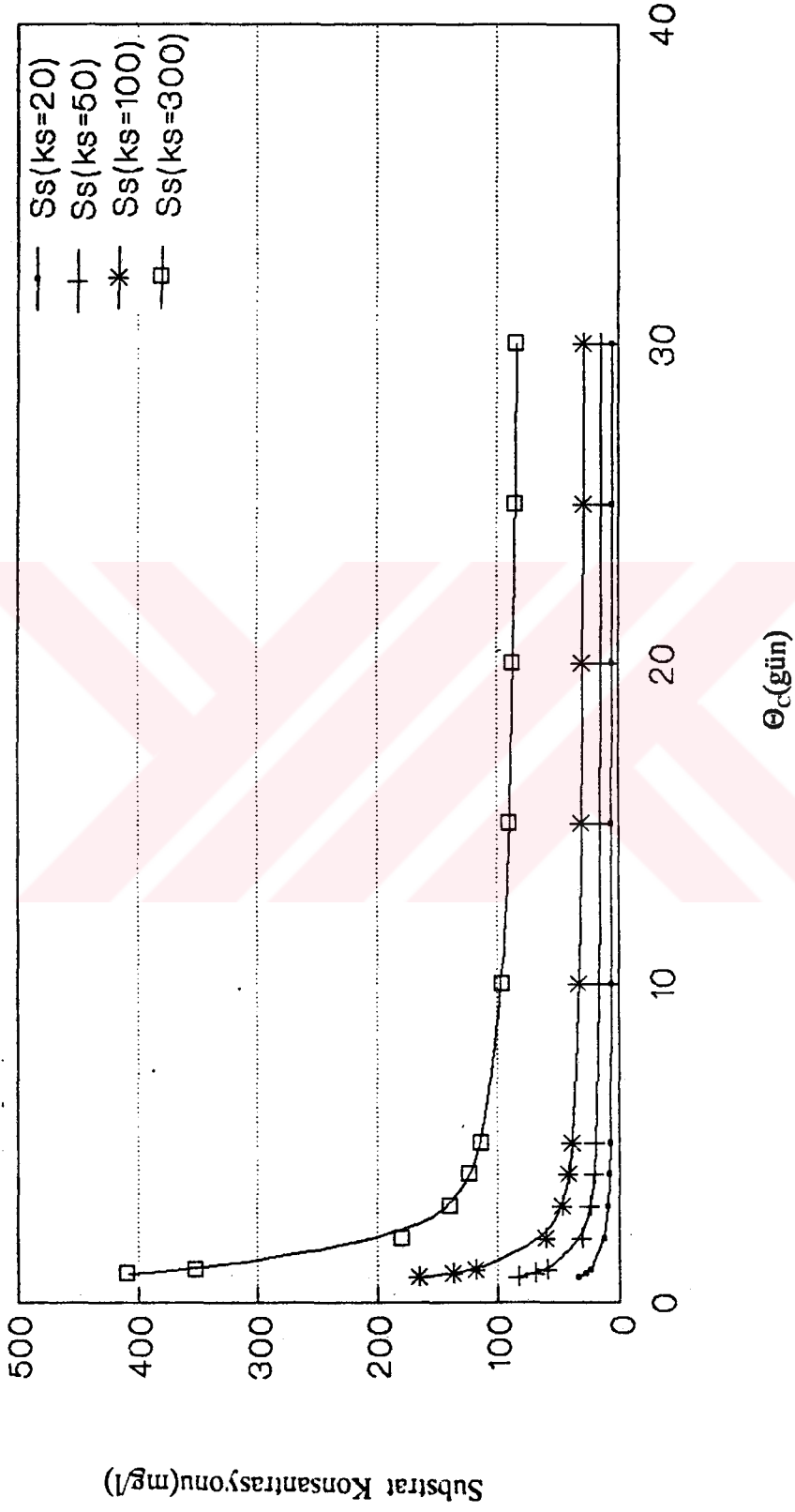
Şekil 5.14 $S_i=2000$ mg/l İçin Değişken $\hat{\mu}$ Değerine Karşı $S_T - \Theta_C$ Profilleri



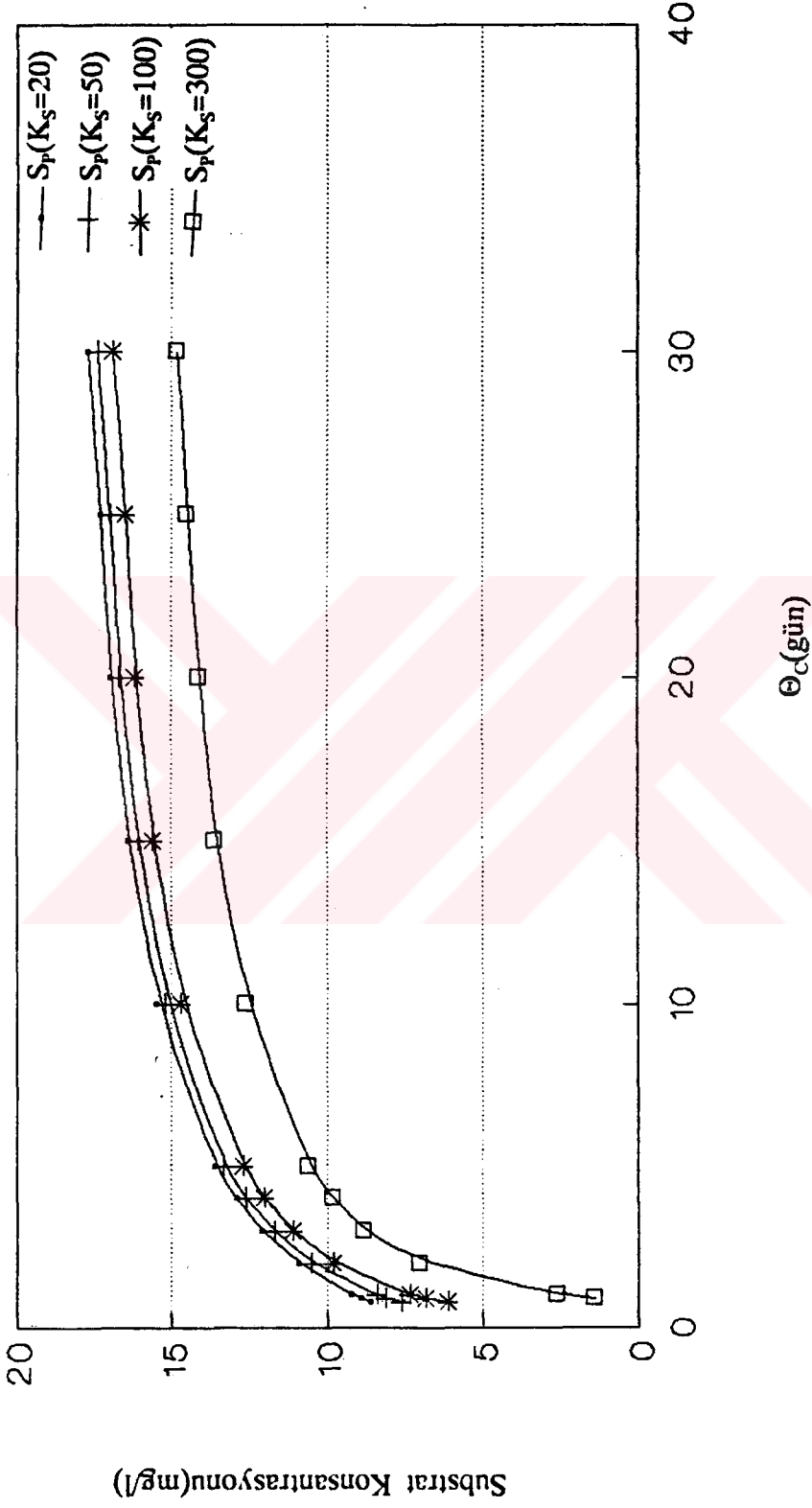
Şekil 5.15 $S_T=2000$ mg/l için $\hat{\mu}=3$ için Değişken Y_p Değerine Karşı S_s , S_p , S_T - Θ_c Profilleri



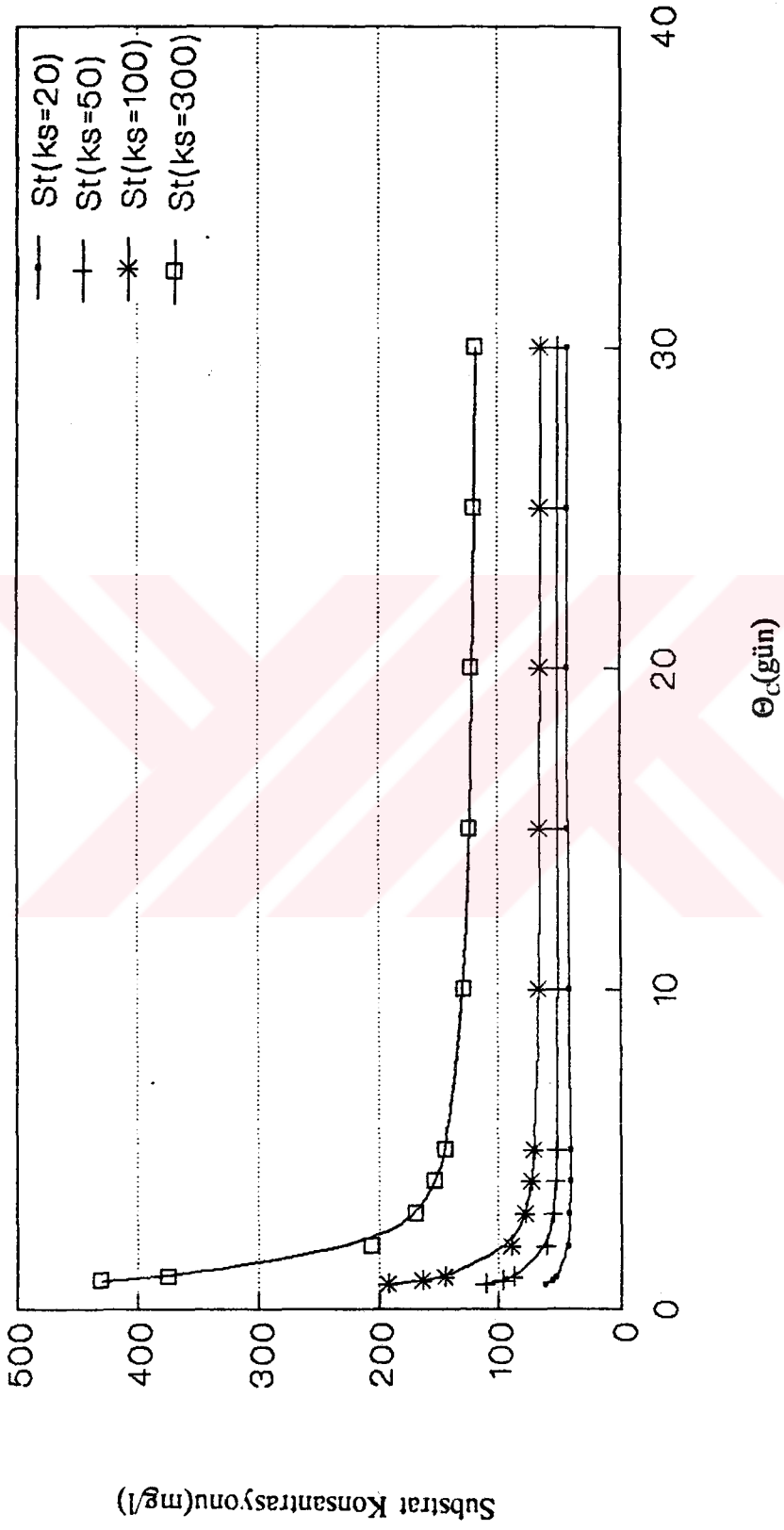
Şekil 5.16 $S_T=2000$ mg/l $\hat{\mu}=6$ için Değişken Y_p Değerine Karşı S_s , S_p , S_T - Θ_c Profilleri



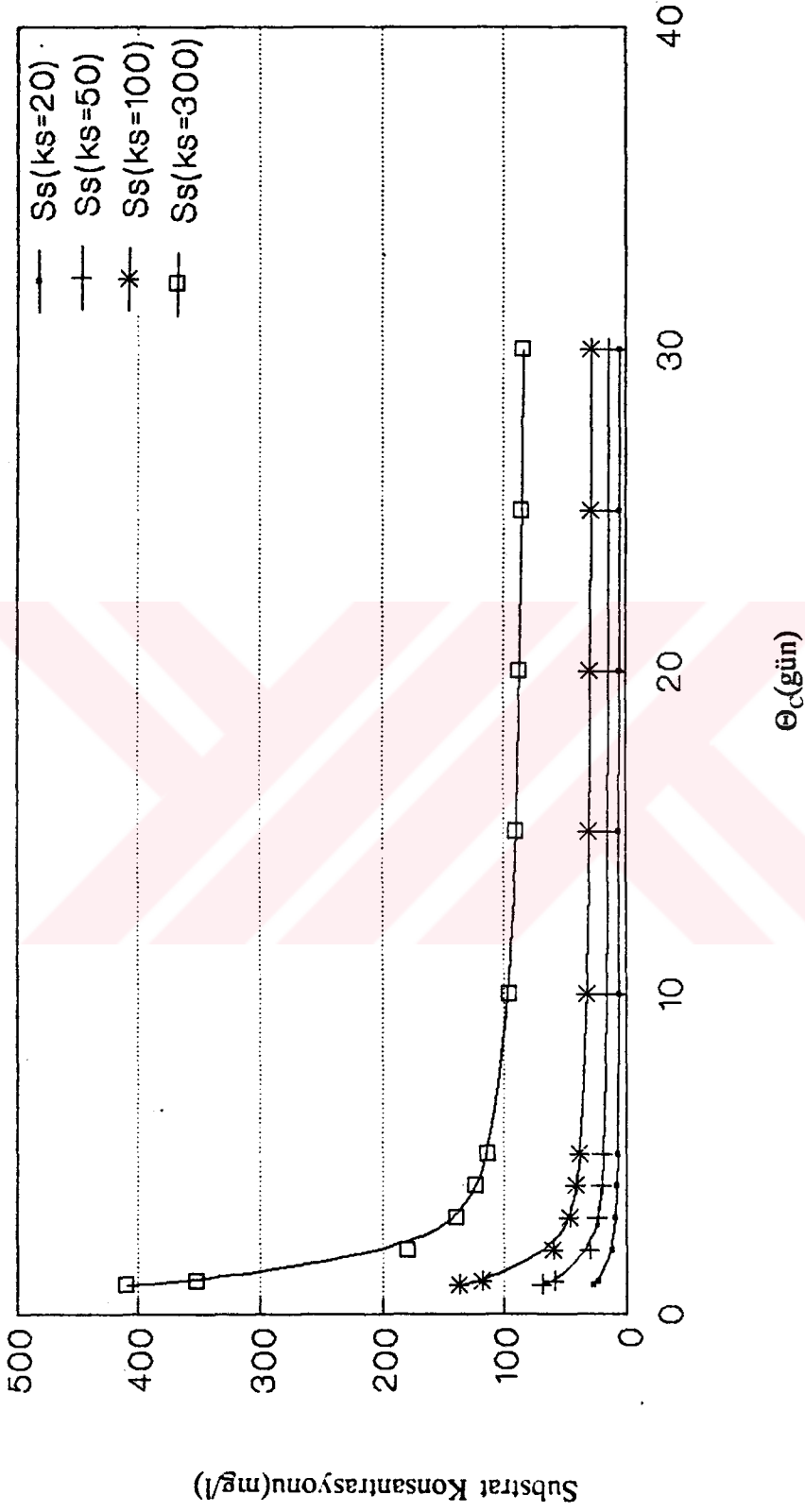
Şekil 5.17 $S_i=500$ mg/l için Değişken K_S Değerine Karşı $S_s - \theta_c$ Profilleri



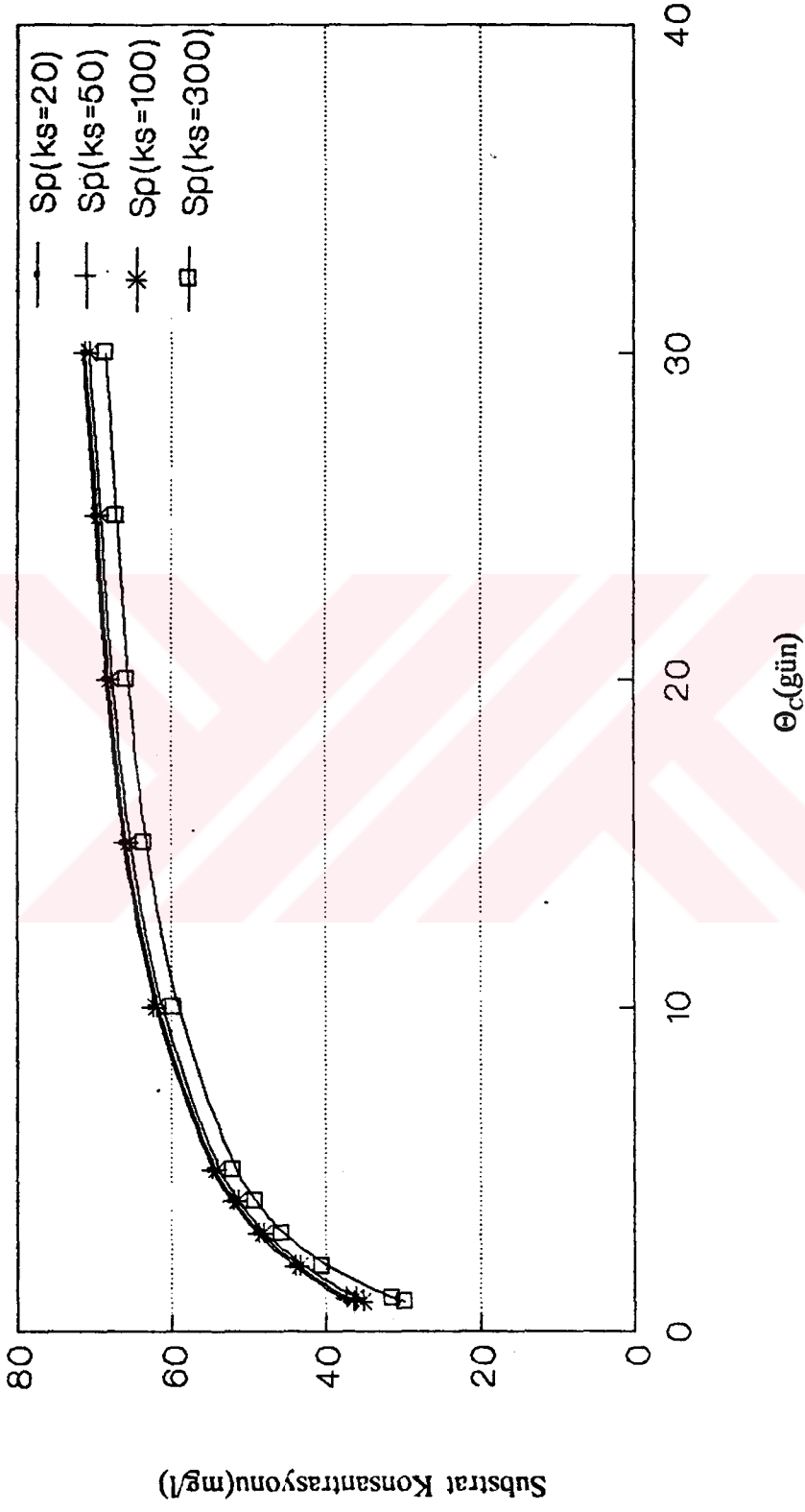
Şekil 5.18 $S_T=500$ mg/l İçin Değişken K_s Değerine Karşı $S_p - \Theta_c$ Profilleri



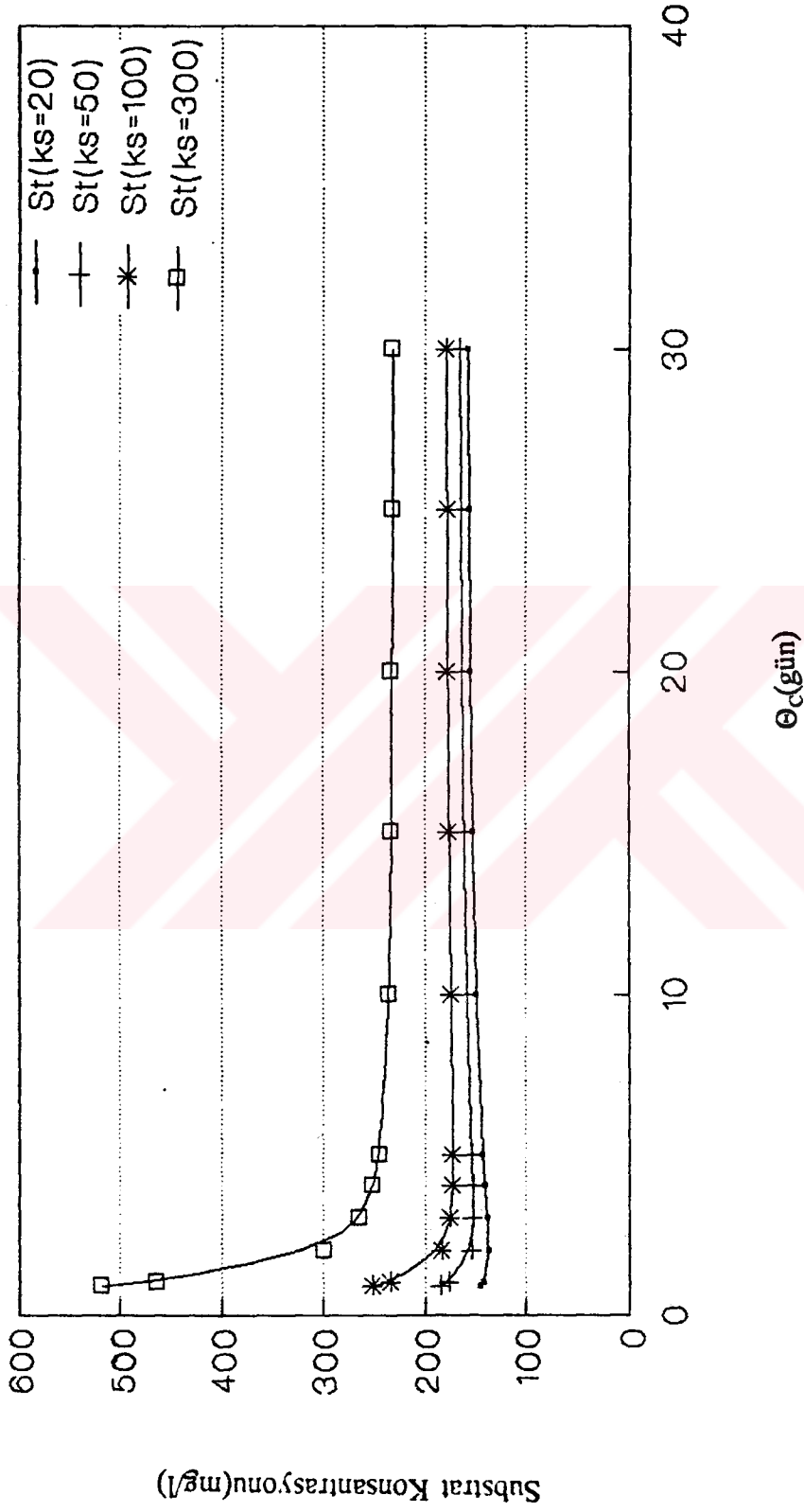
Şekil 5.19 $S_r=500$ mg/l İçin Değişken K_s Değerine Karşı $S_r - \Theta_c$ Profilleri



Şekil 5.20 $S_1=2000$ mg/l İçin Değişken K_s Değerine Karşı $S_s - \Theta_c$ Profilleri



Şekil 5.21 $S_r=2000$ mg/l için Değişken K_s Değerine Karşı $S_p - \Theta_c$ Profilleri



Şekil 5.22 $S_T=2000$ mg/l için Değişken K_s Değerine Karşı $S_T - \Theta_c$ Profilleri

Başlangıç koşulları olarak;

$t=0$ için $S_T=500$ mg/l

$Y_I=0.04$

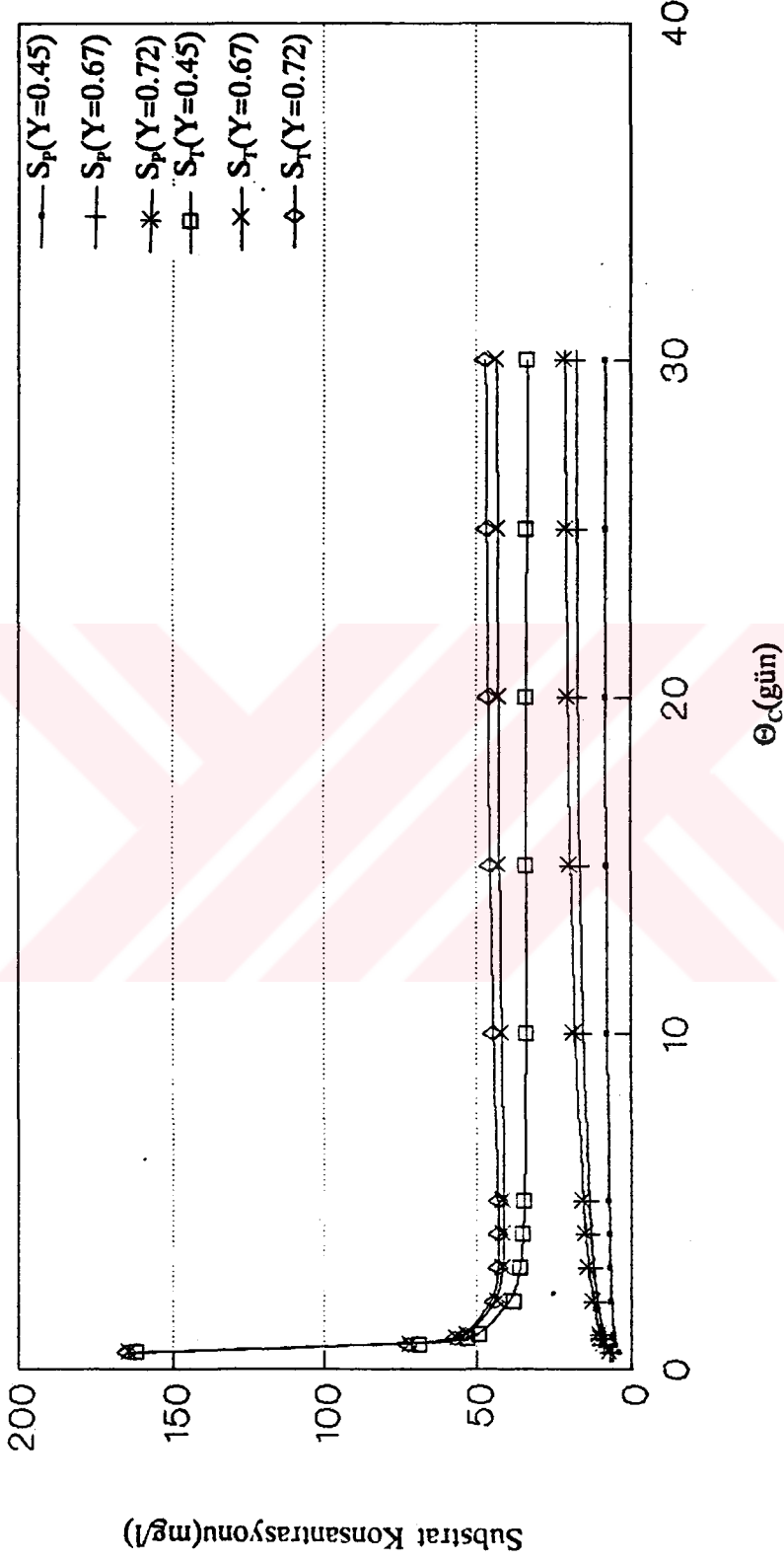
$Y_P=0.04$

$X_{SO}=0$

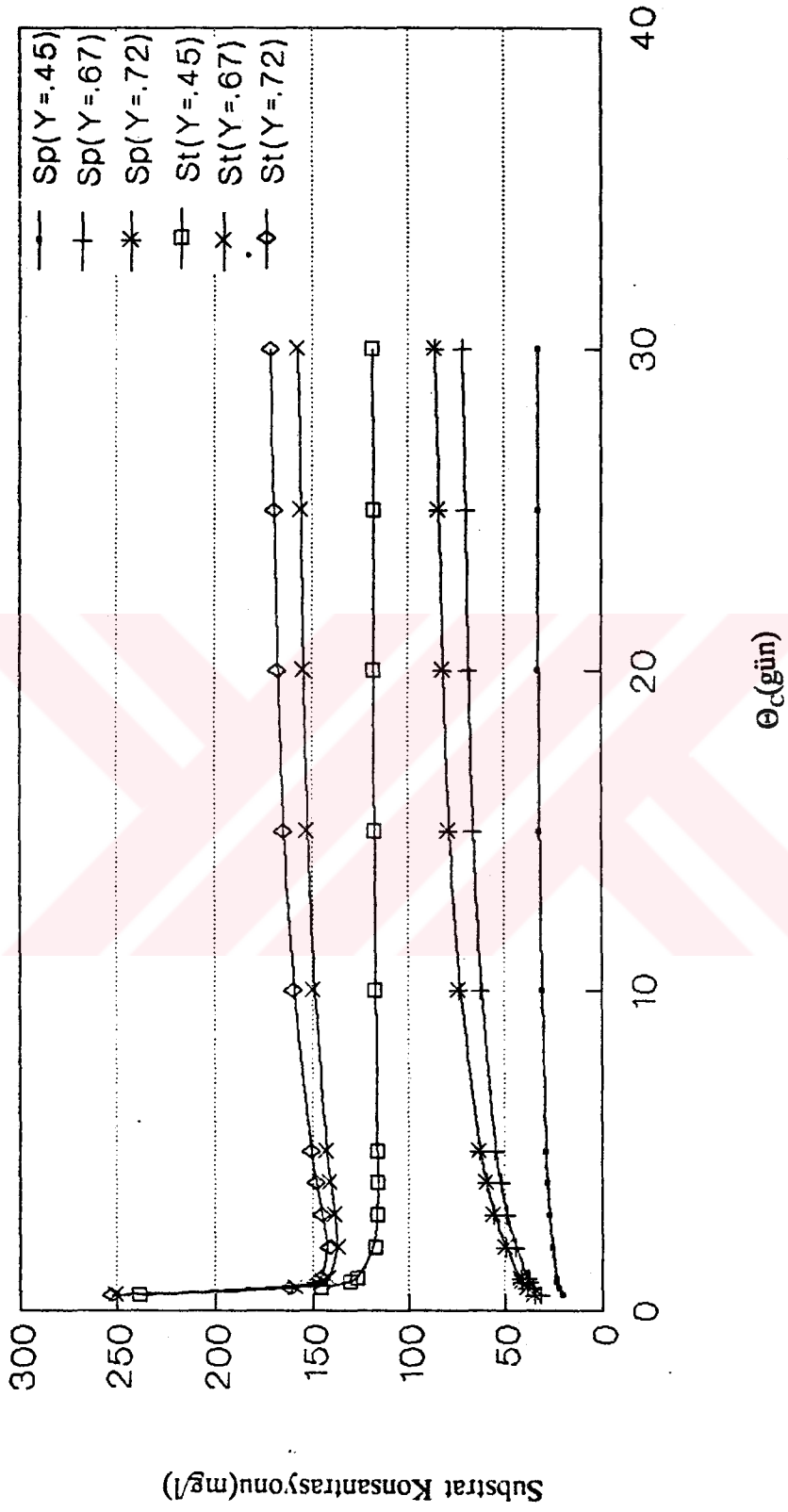
$X_I=0$

alınmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Y değerindeki artış ile S_p üretiminin ve S_T değerinin arttığı görülür (Şekil 5.23). Başlangıç koşulu olarak sadece $S_T=2000$ mg/l olarak değiştirildiğinde benzer sonuçlar elde edilmiştir (5.24).





Şekil 5.23 $S_T=500$ mg/l için Değişken Y Değerine Karşı S_p , S_T - Θ_c Profilleri



Şekil 5.24 $S_T=2000$ mg/l için Değişken Y Değerine Karşı S_p , S_T - Θ_c Profilleri

BÖLÜM VI

SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Aktif çamur sistemlerinde çözünmüş inert ürün ve partiküler inert ürün konsantrasyonunun belirlenmesi ve kinetik – stokiometrik katsayıların sistem üzerindeki etkilerinin incelendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1- Aktif çamur sistemlerinde çözünmüş inert substrat konsantrasyonunun, toplam substrat konsantrasyonuna oranı Y_p , çözünmüş inert ürün konsantrasyonunun, kolay ayrışabilir substrat konsantrasyonuna oranı ise Y_p olarak tanımlanmıştır. Çözünmüş inert ürün konsantrasyonunun belirlenmesinde kullanılan çözünmüş inert ürün fraksiyonu (α ve β), Y_p değerine bağlı olarak formüle edilmiştir.

2- Çözünmüş inert ürün konsantrasyonunun belirlenmesi amacı ile geliştirilen fiziksel modellerde, atıksu ve glukoz dönüşüm oranı farkından kaynaklanan bir hatanın olabileceği belirlenmiştir. Bu hatanın giderilmesi için yeni bir yaklaşım getirilmiştir.

3- Aktif çamur sistemlerinde en az çözünmüş inert substrat konsantrasyonunun bilinmesi kadar öneme sahip olan başlangıçtaki partiküler inert substrat konsantrasyonunun belirlenmesi için üç ayrı yöntem geliştirilmiş ve incelenmiştir.

4- Daha önce Kağıt Endüstrisi için gerçekleştirilen fiziksel model sonuçları ele alınarak, çözünmüş inert ürün fraksiyonu Y_p değerine bağlı olarak geliştirilen formülasyon ile belirlenmiştir. Atıksu kinetik sabitleri ve belirlenen çözünmüş inert ürün fraksiyonları kullanılarak yapılan benzeşim çalışması sonuçları, fiziksel model sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların büyük bir uyum içinde olduğu görülmüştür.

5- Çözünmüş inert ürün fraksiyonunun (α veya β) sistem üzerindeki etkisi yapılan simülasyon çalışmaları ile incelenmiş ve çözünmüş inert ürün konsantrasyonunun, sistem çıkışındaki toplam substrat konsantrasyonunun, çözünmüş inert ürün fraksiyonunun değişimi ile doğru orantılı olarak etkilendiği belirlenmiştir.

6- Çözünmüş inert ürün konsantrasyonunun (Y_I) değişiminin sistem üzerindeki etkisi incelenmiş ve çözünmüş inert substrat konsantrasyonunun değişiminin, çözünmüş inert ürün oluşumu üzerinde etkili olmadığı görülmüştür. Ancak değişimin sistem çıkışındaki toplam substrat konsantrasyonu üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

7- Çözünmüş inert ürün oluşumu başlangıçtaki substrat ve Θ_C 'nin bir fonksiyonu olarak değiştiğinden, maksimum çoğalma hızı değişimi, çözünmüş inert ürün konsantrasyonu üzerinde etkili olmamaktadır. Sistemde μ değerinin artması ile çözünmüş substrat giderimi maksimum düzeyde gerçekleşmektedir.

8- Sistemde yarı doygunluk sabitinin değişimi kolay ayrışabilir substrat giderimini ters orantılı olarak, çözünmüş inert ürün oluşumunu ise doğru orantılı olarak etkilemektedir. Sistem çıkışındaki toplam substrat konsantrasyonu ise K_s değeri ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

9- Dönüşüm oranı değişimi, sistemde üretilen çözünmüş inert ürün konsantrasyonu ve çıkıştaki toplam substrat konsantrasyonu üzerinde, değişimle orantılı bir artış şeklinde etkili olmaktadır.

10- Giriş substrat konsantrasyonu, çıkış substrat konsantrasyonunu etkilemektedir. Her giriş konsantrasyonu için, çıkış KOI değerinin minimum olduğu bir Θ_C değeri vardır. Çökeltme özelliği de gözönüne alınarak çamur yaşını gereğinden fazla uzun tutmamalıdır.

KAYNAKLAR

ARTAN, N., (1987) Aktif Çamurda Çözünmüş Kalıcı Ürün Oluşumu Modeli, Ph. D. Thesis, Istanbul Technical University

ARTAN, N., ORHON D., BELER BAYKAL, B., (1990), Implications of the Task Group Model I: The Effect of Initial Substrate Concentration, Submitted to Wat. Res.

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, Forth Int. Conf. on Water Pollut. Res., Prague.

CHUDoba, J. (1985), Quantitative Estimation in COD Units of Refractory Organic Compounds Produced by Activate Sludge Microorganisms, Wat. Res., Vol.19,1,37-43.

CİMŞİT, Y. (1986), Ardışık Kesikli Reaktörlerle Kuvvetli Atıksuların Arıtım Esasları, Ph.D. Thesis, Istanbul Technical University

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

EKAMA, G.A., MARAIS, G.V.R. (1984), Carbonaceous Material Removal, Theory, Design and Operation of Biological Nutrient Removal Activated Sludge Processes, in WRC (Ed.), WRC of S.A., Univ.of Cape Town

EKAMA, G.A., DOLD, P.L., MARAIS, G.V.R. (1986), Experimental Determination of the Influent Readily Biodegradable COD Fraction and Its Rate of Utilization in the Activated Sludge Process, Wat. Sci. Tech., Vol. 18, 91-114

GERMİRLİ, F. (1990), The Incremental and Comparison Methods for the Assessment of Initial Soluble Inert COD, Ph. D.Thesis, Istanbul Tech. Univ.

GHOSH, S., POHLAND, E.G., (1972), Kinetics of Assimilation of Multiple Substrates in Dispersed Growth Systems, Wat. Res., Vol. 6, 99-115.

GRADY, C.P.L. Jr., HARLOW, L.J., RIESING, R.R. (1972), Effect 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., ROPER, R.E.Jr. (1974), A Model for the Biooxidation Process which Incorporates the Viability Concept, *Wat. Res.*, 8, 471-483

GRAU, P. et al. (1982), Recommended Notation for use in the Description of Biological Wastewater Treatment Processes, *Wat. Res.*, 16, 1501-1505

HENZE, M. et al. (1986), IAWPRC Task Group Report on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment, Final Report

HENZE, M., (1986), Nitrate vs. Oxygen Utilization Rates in Wastewater and Activated Sludge System, *Wat. Sci-Tech.*, Vol.18

JENKINS, D., ORHON, D., WEDDLE, C. (1972), A New Look at the Activated Sludge Process, International Conference of the IAWPR; Atlanta

JONES, G.L. (1973), Bacterial Growth Kinetics: Measurement and Significance in the Activated Sludge Process, *Wat. Res.*, Vol.7, 1475-1492

LAWRENCE, A. W., Mc CARTY, P.L. (1970), Unified Basis for Biological Treatment Design and Operation, *J. San. Eng. Div., ASCE SA3*, 757-778

MARAIS, G.V.R., EKAMA, G.A. (1976), The Activated Sludge Process, Part I- Steady State Behavior, *Water, SA*, Vol. 2, 4, 164

Mc CARTY, P.L.C. (1972) Energetics of Organic Matter Degradation, *Water Pollution microbiology*, Mitchell, R. (Ed.), pp. 91-118, Wiley-Interscience, London.

Mc KINNEY, R.E. SYMONS, J.E. (1962), Formal discussion to the paper: Growth and Endogenous Phases in the Oxidation of Glucose, *Proc. 1st Int. Conf. on Wat. Pollut. Res.*, London, Vol.2.

NELSON, P.O., LAWRENCE, A.W.M. (1980), Microbial Viability Measurements and Activated Sludge Kinetics, *Wat. Res.*, Vol.14, 217-225

ORHON, D., ARTAN, N., CIMŞIT, Y. (1989) The Concept of Soluble Residual Product Formation in the Modelling of Activated Sludge, *Wat. Sci. Tech.*, 21, 339-350

PAPANASTASIOU, A.C., MAIER, W.J., (1982) Kinetics of Biodegradation of 2,4-Dichlorophenoxy-acetate in the Presence of Glucose, *Biotechnology and Bioengineering*, Vol.24, Pp. 2001-2011

SYKES, R.N. (1976), Microbial Product Formation and Variable Yield, J. Wat. Pollut. Control Fed., Vol. 48, 8, 2046-2054

TISCHLER, L.F., ECKENFELDER, W.W.Jr. (1969), Linear Substrate Removal in the Activated Sludge Process, Advances in Water Pollution Research, 361, Pergamon Press, Oxford.

WUHHRMANN, K., MIKX, M. (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



ÖZGEÇMİŞ

Esra Ateş, 1966 yılında İstanbul'da doğmuştur. İlk ve Orta öğrenimini İstanbul'da tamamlayarak 1984 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek öğrenimine başladı. 1988 yılında lisans diploması alarak aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başladı.

T. C.
Yükseköğretim Bakanlığı
Dokümantasyon Birimi