

**ORGANİK YÜKÜ YÜKSEK OLAN ANTİBİYOTİK
ÜRETİMİ ATIKSUYUNUN ANAEROBİK ARITIMI
VE KİNETİK MODELLENMESİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. İlda DEĞİRMEN TAŞ
(506962015)**

112228

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 Mayıs 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 1 Kasım 2001**

Tez Danışmanı :

Prof.Dr. Nuran DEVECİ

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Nursen İPEKOĞLU (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Ayşe AKSOY (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Günay KOCASOY (B.Ü.)

Prof.Dr. Reşat APAK (İ.Ü.)

KASIM 2001

ÖNSÖZ

İçinde yaşadığımız çağda, insan nüfusu hızla artmaktadır. Artan nüfus ihtiyaçlarının karşılanması için çeşitli üretim teknikleri ve sanayinin akıl almaz boyutlarda gelişmesi, fabrika atıkları ve bunlara bağlı olarak; hızlı ve sağlıklı kentleşme, ormanların ve diğer yeşil alanların hızla azalmasına sebep olmuş ve çevre kirliliğini doğurmuştur. Böylece içinde yaşadığımız çevrenin doğal dengesi bozulmuş ve canlıların sağlığını tehdit eder duruma gelmiştir.

İçinde bulunduğumuz yüzyıl, birçok teknolojik yararları insanlara sunarken, bir yandan da insanlığın ortak malı olarak çevreden geri getirilmesi zor, hatta mümkün olmayan varlıkları da alıp götürmektedir.

Çevre kirliliğinin günden güne artması ekolojik dengenin sürekli bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle günümüzün önemli sorunlarından olan çevre kirliliğinin mümkün mertebede azaltılması için hiç zaman kaybedilmeden bu yolda yapılan çalışmalara destek verilmesi gerektiği inancından hareketle, gerçekleştirilen bu çalışmada da organik yükü yüksek olan antibiyotik türevleri üretimi atıksuyunun anaerobik arıtımı ve kinetiğinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmalarım sırasında bana desteğini hiç eksik etmeyen Sn. Prof. Dr. Nuran Deveci'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalarım sırasında da değerli katkılarından dolayı Araş. Gör. Dr. Ahmet Esat Yıldırım ve Araş. Gör. Ali Öztürk'e, Teknisyenler Şenel Karancı ve Hanife Aksu'ya teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarda kullanılan hammadde ve mamül madde ile anaerobik çamurun sağlandığı Fako İlaçları ve Pakmaya A.Ş.'lerine teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olup, tüm yaşantım boyunca beni daima destekledikleri için sevgili aileme minnettarım.

Kasım, 2001

İlida DEĞİRMENİTAŞ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
SUMMARY	xviii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
1.1 Çalışmanın Önemi	1
1.2 Çalışmanın Amacı	2
2. ENDÜSTRİYEL ATIKSULARIN BİYOLOJİK ARITIMI	4
2.1 Anaerobik Arıtım	4
2.1.1 Anaerobik arıtımı etkileyen faktörler	7
2.1.1.1 Sıcaklık	7
2.1.1.2 Besin maddeleri	9
2.1.1.3 İnhibisyon ve zehirlilik	9
2.1.1.4 pH	10
2.1.1.5 Kalkilik	10
2.1.1.6 Uçucu asitler	11
3. ATIKSULARIN ARITIM KİNETİĞİ VE MODELLENMESİ	12
3.1 Mikrobiyal Kinetik	13
3.2 Hız Belirleyen Kademe Yaklaşımı	14
3.3 Kinetik Modelleme	15
3.4 Hız İfadeleri	19
3.5 İnhibisyon Kinetiği	20
4. ANTİBİYOTİKLER	25
4.1 Antibiyotik Üretimi Atıksuyunun Özellikleri	26
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	29
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
6.1 Malzeme Ve Yöntem	31
6.1.1 Analiz yöntemleri	32
6.1.1.1 Kimyasal oksijen ihtiyacı	32

6.1.1.2 Uçucu yağ asitleri	33
6.1.1.3 Katı maddeler	34
6.1.2 Deney düzenekleri	37
6.1.2.1 Fermentörlü anaerobik arıtıma düzeneği	37
6.1.2.2 Çalkalamalı su banyolu düzenek	38
6.2 Deneyler	38
6.2.1 Şahit deney	40
6.2.2 Çalkalamalı su banyosunda yapılan deneyler	43
6.2.3 Besin maddesi konsantrasyonunun ve aktif çamurun arıtım deneylerine etkisi	58
6.2.4 Fermentörde yapılan deneyler	68
6.3 Kinetik Modelleme	78
6.3.1 Büyüme verimi (Y) ve bakteriyal ölüm hız (k_d) sabitlerinin hesaplanması	81
6.3.2 Anaerobik arıtım işlemi kademelerinin kinetik modellenmesi	82
6.3.3 Deney ve model verilerinin karşılaştırılması	89
6.4 İstatistik Değerlendirme	106
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	109
KAYNAKLAR	113
EK A	118
EK B	130
EK C	147
EK D	150
ÖZGEÇMİŞ	155

KISALTMALAR

AKM	: Askıda Katı Madde
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TÇKM	: Toplam Çözünmüş Katı Madde
TKM	: Toplam Katı Madde
UAKM	: Uçucu Askıda Katı Madde
UTKM	: Uçucu Toplam Katı Madde
UYA	: Uçucu Yağ Asitleri



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	Anaerobik Mikroorganizmaların önemli grupları..... 5
Tablo 2.2	Anaerobik süreçlerde kullanılan eser elementler ve etkileri..... 9
Tablo 2.3	Metal iyonlarının inhibisyon konsantrasyonları..... 10
Tablo 3.1	Anaerobik arıtmada kullanılan kinetik modeller..... 14
Tablo 3.2	Üreme için kinetik modeller..... 21
Tablo 6.1	Fako İlaçları A. Ş.'nin antibiyotik üretim atıksuyunun özellikleri..... 31
Tablo 6.2	Aktif çamurların karakteristik özellikleri..... 39
Tablo 6.3	Kullanılan vitaminin bileşimi (Tablet Başına, Tablet Ağırlığı =1.5 gram)..... 40
Tablo 6.4	Hesaplanan k_1 , k_2 ve k_3 değerleri (Birinci mertebe kabulü)..... 87
Tablo 6.5	Hesaplanan k_1 , k_2 ve k_3 değerleri (İkinci mertebe kabulü)..... 88
Tablo 6.6	Hesaplanan kinetik sabitler..... 89
Tablo 6.7	Belirli KOİ aralığı için hesaplanan regresyon katsayıları..... 108
Tablo A.1	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 3.077 mg/L)..... 118
Tablo A.2	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 4.615 mg/L)..... 118
Tablo A.3	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 4.954 mg/L)..... 119
Tablo A.4	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 5.424 mg/L)..... 119
Tablo A.5	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 5.505 mg/L)..... 120
Tablo A.6	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 6.102 mg/L)..... 120
Tablo A.7	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 10.094 mg/L)..... 121
Tablo A.8	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 10.961 mg/L)..... 122
Tablo A.9	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 13.214 mg/L)..... 123
Tablo A.10	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 14.257 mg/L)..... 124
Tablo A.11	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 14.933 mg/L)..... 125
Tablo A.12	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 17.359 mg/L)..... 126
Tablo A.13	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 22.326 mg/L)..... 127

Tablo A.14	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 31.284 mg/L).....	128
Tablo A.15	pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ= 42.623 mg/L).....	129
Tablo C.1	Birinci merteye yaklaşımın göre hesaplanan μ ve q değerleri.....	147
Tablo C.2	İkinci merteye yaklaşımın göre hesaplanan μ ve q değerleri.....	148
Tablo D.1	Deneysel olarak tespit edilen ve model denklemden hesaplanan toplam KOİ değerleri.....	150



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Anaerobik artım kademeleri.....	8
Şekil 3.1 : Substrat konsantrasyonu ile spesifik büyüme hızının değişimi.....	17
Şekil 3.2 : Spesifik büyüme hızı ile spesifik substrat tüketim hızının değişimi.	19
Şekil 3.3 : Eşitlik 3. 12'ye göre k ve n'nin tayini.....	20
Şekil 3.4 : Monod ve Haldane göre μ ve S arasındaki değişim.....	21
Şekil 6.1 : Fermentörlü deney düzeneğinin akım şeması.....	37
Şekil 6.2 : Çalkalamalı su banyolu deney düzeneği.....	38
Şekil 6.3 : Şahit deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ = 14.257 mg/L).....	41
Şekil 6.4 : Şahit deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ =14.257 mg/L).....	42
Şekil 6.5 : Şahit deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ = 14.257 mg/L)....	42
Şekil 6.6 : Şahit deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimleri (Başlangıç KOİ= 14.257 mg/L).....	43
Şekil 6.7 : Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ=10.961 mg/L).....	44
Şekil 6.8 : Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ=10.961 mg/L).....	44
Şekil 6.9 : Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ=10.961 mg/L).....	45
Şekil 6.10 : Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ=10.961 mg/L).	45
Şekil 6.11 : Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ=31.284 mg/L).....	46
Şekil 6.12 : Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ=31.284 mg/L).....	47
Şekil 6.13 : Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ=31.284 mg/L).....	47
Şekil 6.14 : Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ=31.284 mg/L).....	48
Şekil 6.15 : Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ=17.359 mg/L).....	49
Şekil 6.16 : Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ=17.359 mg/L).....	49
Şekil 6.17 : Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ=17.359 mg/L).....	50
Şekil 6.18 : Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM Değişimi (Başlangıç KOİ=17.359 mg/L).....	50

Şekil 6.19	: Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ=14.933 mg/L).....	51
Şekil 6.20	: Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ=14.933 mg/L).....	52
Şekil 6.21	: Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ=14.933 mg/L).....	52
Şekil 6.22	: Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ=14.933 mg/L).....	53
Şekil 6.23	: Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ=3.077 mg/L).....	54
Şekil 6.24	: Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ=3.077 mg/L).....	54
Şekil 6.25	: Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ=3.077 mg/L).....	55
Şekil 6.26	: Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ=3.077 mg/L).....	55
Şekil 6.27	: Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ=4.615 mg/L).....	56
Şekil 6.28	: Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ=4.615 mg/L).....	56
Şekil 6.29	: Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ=4.615 mg/L).....	57
Şekil 6.30	: Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ=4.615 mg/L).....	57
Şekil 6.31	: Besin maddesi içermeyen, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 4.954 mg/L).....	58
Şekil 6.32	: Besin maddesi içermeyen, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ= 4.954 mg/L).....	59
Şekil 6.33	: Besin maddesi içermeyen, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 4.954 mg/L).....	59
Şekil 6.34	: Besin maddesi içermeyen, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ= 4.954 mg/L).....	60
Şekil 6.35	: 49,1 mg/L vitamin içeren, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 5.505 mg/L).....	61
Şekil 6.36	: 49,1 mg/L vitamin içeren, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ= 5.505 mg/L).....	61
Şekil 6.37	: 49,1 mg/L vitamin içeren, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 5 505 mg/L).....	62

Şekil 6.38	: 49,1 mg/L vitamin içeren, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ= 5.505 mg/L).....	62
Şekil 6.39	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 6.102mg/L).....	63
Şekil 6.40	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ= 6.102mg/L).....	64
Şekil 6.41	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 6.102mg/L).....	64
Şekil 6.42	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ= 6.102mg/L).....	65
Şekil 6.43	: Fako Atıksuyu ve Pakmaya Aktif Çamuru ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 5.424mg/L).....	66
Şekil 6.44	: Fako Atıksuyu ve Pakmaya Aktif Çamuru ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ= 5.424mg/L).....	66
Şekil 6.45	: Fako Atıksuyu ve Pakmaya Aktif Çamuru ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 5.424mg/L).....	67
Şekil 6.46	: Fako Atıksuyu ve Pakmaya Aktif Çamuru ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ=5.424mg/L).....	67
Şekil 6.47	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 10.094 mg/L).....	68
Şekil 6.48	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ= 10.094 mg/L).....	69
Şekil 6.49	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 10.094 mg/L).....	69
Şekil 6.50	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ= 10.094 mg/L).....	70
Şekil 6.51	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 13.214 mg/L).....	70
Şekil 6.52	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ= 13.214 mg/L).....	71
Şekil 6.53	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 13.214 mg/L).....	72
Şekil 6.54	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ= 13.214 mg/L).....	72
Şekil 6.55	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 22.326 mg/L).....	73
Şekil 6.56	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde pH Değişimi (Başlangıç KOİ= 22.326 mg/L).....	74
Şekil 6.57	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 22.326 mg/L).....	74
Şekil 6.58	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ= 22.326 mg/L).....	75
Şekil 6.59	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 42.623 mg/L).....	76

Şekil 6.60	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ= 42.623 mg/L).....	76
Şekil 6.61	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 42.623 mg/L).....	77
Şekil 6.62	: Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ= 42.623 mg/L).....	77
Şekil 6.63	: Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik artımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 3.077 mg/L).....	90
Şekil 6.64	: Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik artımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 3.077 mg/L).....	90
Şekil 6.65	: Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik artımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 4.615 mg/L).....	91
Şekil 6.66	: Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik artımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 4.615 mg/L).....	91
Şekil 6.67	: Fermentörde besin maddesi içermeyen sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik artımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 4.954 mg/L).....	92
Şekil 6.68	: Fermentörde besin maddesi içermeyen sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik artımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 4.954 mg/L).....	92
Şekil 6.69	: Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik artımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 5.424 mg/L).....	93
Şekil 6.70	: Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik artımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 5.424 mg/L).....	93
Şekil 6.71	: Fermentörde sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik artımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 5.505 mg/L).....	94
Şekil 6.72	: Fermentörde sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik artımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 5.505 mg/L).....	94
Şekil 6.73	: Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik artımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 6.102 mg/L).....	95
Şekil 6.74	: Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik artımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 6.102 mg/L).....	96

Şekil 6.75	: Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 10.094$ mg/L).....	96
Şekil 6.76	: Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 10.094$ mg/L).....	97
Şekil 6.77	: Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 10.961$ mg/L).....	97
Şekil 6.78	: Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 10.961$ mg/L).....	98
Şekil 6.79	: Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 13.214$ mg/L).....	98
Şekil 6.80	: Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 13.214$ mg/L).....	99
Şekil 6.81	: Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 14.933$ mg/L).....	99
Şekil 6.82	: Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 14.933$ mg/L).....	100
Şekil 6.83	: Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 17.359$ mg/L).....	100
Şekil 6.84	: Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 17.359$ mg/L).....	101
Şekil 6.85	: Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 22.326$ mg/L).....	101
Şekil 6.86	: Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 22.326$ mg/L).....	102
Şekil 6.87	: Fermentörde su ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 14.257$ mg/L).....	103
Şekil 6.88	: Fermentörde su ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 14.257$ mg/L).....	103

Şekil 6.89	: Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 31.284$ mg/L).....	104
Şekil 6.90	: Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 31.284$ mg/L).....	104
Şekil 6.91	: Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 42.623$ mg/L).....	105
Şekil 6.92	: Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI= 42.623$ mg/L).....	105
Şekil 6.93	: İstatistik değerlendirme (Birinci mertebe kabulü; $KOI= 3.077 - 10.961$ mg/L aralığında).....	107
Şekil 6.94	: İstatistik değerlendirme (Birinci mertebe kabulü; $KOI=13.214 - 22.326$ mg/L aralığında).....	107
Şekil 6.95	: İstatistik değerlendirme (İkinci mertebe kabulü).....	108

SEMBOL LİSTESİ

b	: Mikroorganizma ölüm hızı
B	: Hücre konsantrasyonunun yüksek olduğu durumda, hücre konsantrasyonu ile orantılı yarı doygunluk sabiti
f	: Düzeltme faktörü
k	: Hız sabiti
k_a	: Bakteriyal ölüm hızı sabiti
k₁	: Büyük moleküllu organik maddelerin parçalanmasına ait reaksiyonun hız sabiti
k₂	: Hidroliz ürünlerinin ayrışmasına ait reaksiyonun hız sabiti
k₃	: Uçucu yağ asitlerinin biyogaza dönüşüm reaksiyonun hız sabiti
K_i	: Substrat inhibisyonu sabiti
K_s	: Yarı doygunluk sabiti
m	: Sabit
M	: Molarite
n	: Reaksiyon mertebesini gösteren sabit
N	: Normalite
r	: Reaksiyon hızı
S	: Substrat konsantrasyonu
S_m	: Büyümenin tamamen inhibe olduğu maksimum substrat konsantrasyonu
S_A	: Organik maddelerin konsantrasyonu
S_B	: Hidroliz ürünlerinin konsantrasyonu
S_C	: Uçucu yağ asitlerinin konsantrasyonu
S_D	: Biyogaz konsantrasyonu
S₀	: Büyümeyi sınırlayan besin maddesinin giriş konsantrasyonu
S_T	: Herhangi bir anda büyümeyi sınırlayan toplam substratın konsantrasyonu
S_{A0}	: Büyümeyi sınırlayan substratın giriş konsantrasyonu
S*	: İnhibisyon olması durumunda maksimum substrat konsantrasyonu ($\mu=\mu^*$ daki substrat konsantrasyonu)
t	: Zaman
V_m	: Maksimum reaksiyon hızı
Y	: Üreme verimi sabiti
μ	: Spesifik büyüme hızı
μ_m	: Maksimum spesifik büyüme hızı
μ^*	: İnhibisyon olması durumunda spesifik büyüme hızı (gözlemlenen maksimum spesifik büyüme hızı)
q	: Spesifik substrat tüketim hızı
q_m	: Maksimum spesifik substrat tüketim hızı
θ_c	: Alıkonma süresi
θ_x	: Katı alıkonma süresi
X	: Mikroorganizma konsantrasyonu

ORGANİK YÜKÜ YÜKSEK OLAN ANTİBİYOTİK ÜRETİMİ ATIKSUYUNUN ANAEROBİK ARITIMI VE KİNETİK MODELLENMESİ

ÖZET

Pekçok endüstriyel organik atığın arıtılması için anaerobik arıtım etkili bir yöntemdir. Anaerobik arıtım, çeşitli atıksu arıtım tesislerinin biyolojik olarak parçalanabilen çamurunun stabilize edilmesinde etkin olarak kullanılır. İşlem oksijene ihtiyaç duymayan fakültatif ve obligat (zorunlu) mikroorganizmalarca yürütülür. Bu mikroorganizmalar karmaşık organik maddeleri “biyogaz” olarak adlandırılan son ürüne dönüştürürler. Biyogaz CH_4 ve CO_2 içeren bir gaz karışımı olmakla birlikte eser miktarda da H_2 , H_2S , N_2 gazlarını ve de H_2O buharı da içerir.

Anaerobik parçalanma atıksudaki kötü kokuları gidererek, beslenen çamurdaki bakteri düzeyini, stabilize çamur oluşumunu ve çamur içindeki katı miktarını azaltır. Metan gazından genellikle enerji elde edilmesi nedeni ile de en ekonomik arıtım işlemlerinden biridir.

Anaerobik arıtmada, değişik türdeki organik maddelerin parçalanması çok kademeli biyokimyasal süreçler ile sağlanır. Parçalanma üç temel aşamada gerçekleşir. Birinci aşama olan hidroliz fazında, hücre dışı enzimleri kompleks katı organikleri, selüloz, protein, lignin, organik asitlerde çözünen lipidler, alkoller, CO_2 ve amonyağa dönüştürürler. Asit oluşum fazı olan ikinci aşamada, asit oluşturuıcı bakteriler birinci kademede üretilen ürünleri asetik asit, propiyonik asit, H_2 , CO_2 ve diğer düşük molekül ağırlıklı organik asitlere dönüştürürler. Son kademe olan metan oluşum fazında ise metan oluşturuıcı iki bakteri grubu faaliyet gösterir. Bunlardan biri H_2 ve CO_2 'i metana dönüştürürken diğer grup asetati, metan ve bikarbonata dönüştürür.

Anaerobik olarak atıksu arıtımı oldukça karmaşık bir süreçtir. Organik maddelerin CH_4 ve CO_2 başta olmak üzere biyogaza dönüştürülmesi sürecinde pekçok mikroorganizma çeşidi faaliyet göstermekte ve pekçok metabolik olay gerçekleşmektedir. Ancak aşırı kirli atıksuların arıtımı için anaerobik arıtım yönteminin en uygun yöntem olduğu yapılan çalışmalarla da ispatlanmıştır. Buna ilave olarak anaerobik arıtım işleminin pekçok avantajları da mevcuttur. Bunlar: Metan gazı üretimi, düşük enerji tüketimi, düşük çamur üretimi, yüksek arıtım verimi vb.dir. Avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajlarını da şöyle sıralayabiliriz: Yüksek yatırım giderleri, aşırı hassas kontrol sistemi, ekstra uzmanlık ve tecrübe vb.

Organik yükü yüksek olan antibiyotik üretimi atıksuyunun laboratuvar ölçeğinde anaerobik arıtımının ve kinetik modellenmesinin hedeflendiği bu çalışmada, belirlenen konsantrasyonlara göre hazırlanmış olan sentetik karışımların ve orijinal atıksuyun anaerobik arıtılabilirliği incelenmiştir. Arıtım karıştırıcılı, pH ve ısı kontrollü bir bioreaktör ile çalkalamalı su banyosunda besin maddesi ilave edilerek,

37 ± 1 °C sıcaklıkta, pH'nın 6,5 - 7,5 aralığında tutulduğu ve karıştırma hızının 150 dev/dk olduğu şartlarda gerçekleştirilmiştir. Antibiyotik grubu olarak penisilin türevi seçilmiş ve gerekli olan hammadde ve mamül madde bazındaki kimyasallar Fako İlaçları A.Ş.'den temin edilmiştir. Arıtım işleminde kullanılan anaerobik çamur Pakmaya / Kocaeli Fabrikası Anaerobik Arıtım Tesisinden ve Fako İlaçları A.Ş. Arıtım Ünitesinden sağlanırken, orijinal penisilin türevleri üretimi atıksuyu da yine Fako İlaçları A.Ş.'den temin edilmiştir.

Deneyisel çalışmalarda, başlangıç Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) değeri 3.077-42.623 mg/L aralığındaki çözeltilerin anaerobik arıtmaları sırasında başlangıç, bitiş ve işlemin yürüyüşü sırasında da tespit edilen zaman aralıklarında sistemden alınan numunelerde Standart Analiz Yöntemleri ile KOİ, Uçucu Yağ Asitleri (UYA), Toplam Katı Madde (TKM), Askıda Katı Madde (AKM), Toplam Çözünmüş Katı Madde (TÇKM) ve Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM) parametreleri ile pH tespit edilmiştir.

Anaerobik arıtım verimi, başlangıç KOİ değeri 22.326 mg/L olan çözeltinin arıtımında 1437 saatte maksimum %97 olarak tespit edilmiştir. Saf su ile yapılan şahit deneme dışında tüm anaerobik arıtım işlemlerinde ortamda giderilemeyen inert bir KOİ'nın varlığı tespit edilmiştir. Bu inert KOİ çalışmalarda 725-3.250 mg/L değerleri arasında değişim göstermiştir. Özellikle düşük kirlilikteki atıksuların (KOİ=3.077 - 10.094 mg/L) arıtılmasında verimin düşük olmasının nedenlerinden biri de bu inert KOİ olmuştur.

Yapılan deneyisel çalışmaların sonucunda elde edilen veriler ile, yüksek kirlilikteki (KOİ>25.000 mg/L) antibiyotik üretim atıksuyunun arıtımı için ikinci mertebe yaklaşımına göre herhangi bir andaki toplam kirliliğin zamanla değişimini veren aşağıdaki ifade türetilmiştir.

$$S_T = \left(\frac{S_{A0}}{1 + k_1 S_{A0} t} \right) + \left(\frac{k_1 S_{A0}}{2k_2 + 2tk_1 k_2 S_{A0}} + \frac{1}{2k_2 (1 + tk_1 S_{A0})} \{ -\sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4k_2} S_{A0} + \right.$$

$$\left. \frac{2\sqrt{k_1 + 4k_2} S_{A0}}{1 + \left(\frac{(1 + tk_1 S_{A0})^{-\sqrt{k_1 + 4k_2}/\sqrt{k_1}} (k_1 S_{A0} + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4k_2} S_{A0})}{-k_1 S_{A0} + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4k_2} S_{A0}} \right) \} \right) +$$

$$\left(\frac{k_1 S_{A0}}{2k_3 + 2tk_1 k_3 S_{A0}} + \frac{\sqrt{k_1 (k_1^2 + 4k_1 k_2 + 4k_2 k_3) S_{A0}^2}}{2\sqrt{k_1 + 4k_2 k_3} (1 + tk_1 S_{A0})} \right) +$$

$$\left(\frac{\left((k_1^2 + 4k_1 k_2 + 2k_2 k_3) S_{A0} + \sqrt{k_1 + 4k_2} \sqrt{k_1 (k_1^2 + 4k_1 k_2 + 4k_2 k_3) S_{A0}^2} \right) (-1 + (k_1 + 4k_2)^2 k_3^2 (1 + tk_1 S_{A0}))}{2(k_1 + 4k_2) k_3 (1 + tk_1 S_{A0})} \right)$$

(1)

Bu model denklemden yararlanarak hesaplanan değerler ve deneysel verilerin kıyaslanması yapılmış ve birbirleri ile uyum içinde olduğu görülmüştür. Bu sebepten yüksek kirlilikteki antibiyotik üretim atıksuyunun ($KOI > 25.000$ mg/L) arıtım kinetiğinin ikinci mertebeden olduğu sonucuna varılmıştır. Yine aynı model denklemden yararlanarak arıtım işlemi sırasında gerçekleşen ardışık reaksiyonların hız sabitleri olan k_1 , k_2 ve k_3 hesaplanmıştır. Orta kirlilikteki antibiyotik üretim atıksuyunun ($KOI = 10.000 - 20.000$ mg/L) arıtım kinetiğinin de birinci mertebeye uyum göstermesi nedeni ile literatürdeki mevcut birinci mertebe kinetik denklemden yararlanarak k_1 , k_2 ve k_3 hız sabitleri bu çalışmalar içinde hesaplanmıştır. Ayrıca spesifik büyüme hızı olan μ , spesifik substrat tüketim hızı olan q , büyüme verimi olan Y ve bakteriyal ölüm hızı olan k_d kinetik sabitleri de hesaplanarak bu değerlerin literatürdeki değerler ile uyumlu olduğu da tespit edilmiştir.

Yürütülen çalışmaların sonucunda ikinci mertebe yaklaşımına göre geliştirilen model denklem ve literatürde mevcut olan birinci mertebe yaklaşımına göre hesaplanan değerlerin istatistiksel değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, zaman eksenini boyunca kuramsal (modelle hesaplanan) ve deneysel veriler arasındaki fark sistematik bir korelasyon göstermediğinden geliştirilen modelde eksik bir terimin bulunmadığı düşünülmektedir. Ayrıca hesaplanan regresyon katsayısı değerlerinin de 0,99 - 1,0 arasında değişmesi nedeni ile önerilmiş olan modelin uygun olduğu ve yüksek kirlilikteki antibiyotik üretim atıksuyunun arıtım kinetiğinin ikinci mertebe kinetiğine uyduğu saptanmıştır.

ANAEROBIC TREATMENT OF HIGH STRENGTH ANTIBIOTIC PRODUCTION WASTEWATER AND KINETIC MODELING OF TREATMENT

SUMMARY

Anaerobic digestion is an effective method for the treatment of many organic wastes. This method is used to stabilize the biodegradable portion of the various wastewater treatment plant sludges. This treatment is affected by facultative and obligate anaerobic microorganisms, which, in the absence of oxygen, convert complex organic materials into gaseous end products called "biogas". Biogas consists of a mixture of CH_4 and CO_2 and traces of other gaseous products including H_2 , H_2S , N_2 and H_2O vapour.

Anaerobic digestion reduces the odors and bacteria levels in the sludge feed, leaving the stabilized sludge relatively inert. Stabilization also reduces the amount of solids present in the sludge. Anaerobic digestion is often the most economical stabilization option because this process can actually produce energy in the form of methane gas.

Anaerobic digestion is a multistage biochemical process that can stabilize many different types of organic material. Digestion occurs in three basic stages. In the first stage, which is known Hydrolysis Phase, extracellular enzymes break down solid complex organics, cellulose, proteins, lignins, and lipids into soluble organic fatty acids, alcohols, carbon dioxide, and ammonia. In the second stage known as Acetogenesis Phase, microorganisms convert the products of the first stage into acetic acid, propionic acid, hydrogen, carbon dioxide, and other low molecular weight organic acids. In the third stage, Methanogenesis Phase, two groups of methane-forming bacteria work. One group converts hydrogen and carbon dioxide to methane; the other converts acetate to methane and bicarbonate.

Anaerobic wastewater treatment is a very complex process that involves many microorganisms and metabolic pathways for the degradation of organic matter into a gas mixture, the main components of which are methane and carbon dioxide. It has been proved that anaerobic wastewater treatment is a suitable technology for the treatment of concentrated wastewater. Also, anaerobic wastewater treatment has many advantages such as methane gas production, low energy consumption, low sludge production, and high pathogen removal, etc. Some disadvantages have also to be considered, as the higher investment costs, very sensitive control of treatment system, extra expertism, etc.

The purpose of this study was to develop a mathematical model for anaerobic treatment of the high strength antibiotic production wastewater by using data from the laboratory experiments.

In this study anaerobic treatability was investigated using synthetic solutions and original wastewater the initial Chemical Oxygen Demand (COD) concentration of which was determined at the beginning of experiments. The anaerobic biodegradation was investigated in an anaerobic bioreactor, adding nutrient, which had mixer, pH and temperature controlling systems. The bioreactor was maintained at pH 6,5 - 7,5. The temperature was kept constant at 37 ± 1 °C. Also mixing speed was kept constant at 150 rpm. Penicillin group was selected as an antibiotic group and raw materials and original wastewater were obtained from the Fako Medicine Producing Factory. Anaerobic sludge used in the laboratory study was obtained from the Pakmaya Baker's Yeast Producing Factory in İzmit, Turkey and the Fako Medicine Producing Factory in İstanbul, Turkey.

In the experimental studies, the wastewater samples were prepared by diluting the original wastewater and preparing synthetic solutions to obtain various COD values between 3.077 - 42.623 mg/L. During the experiments, COD, Volatile Fatty Acids (VFA), Total Solids (TS), Suspended Solids (SS), Dissolved Solids (DS) and Volatile Suspended Solids (VSS) were determined according to the Standard Method and controlled pH in the samples which taken at start-up, shut-down and periodically during the treatment.

The maximum efficiency of the anaerobic treatment was 97 % which was obtained in 1437 hours, using the solution, which had 22.326 mg/L COD. In all the anaerobic degradations, except the blank experiment with pure water, there was an inert COD. This inert COD had values between 725 - 3.250 mg/L. One of the reasons of low efficiency in treatment of low strength antibiotic production wastewater (COD= 3.077 - 10.094 mg/L) was this inert COD.

According to the experimental data, the equation, which is given below and can be used in determination of total COD concentration at certain times of treatment was developed (for wastewater having COD more than 25.000 mg/L) and also this equation follows second-order kinetics.

$$S_T = \left(\frac{S_{A0}}{1 + k_1 S_{A0} t} \right) + \left(\frac{k_1 S_{A0}}{2k_2 + 2tk_1 k_2 S_{A0}} + \frac{1}{2k_2 (1 + tk_1 S_{A0})} \{ -\sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4k_2} S_{A0} + \right.$$

$$\left. \frac{2\sqrt{k_1 + 4k_2} S_{A0}}{1 + \left(\frac{(1 + tk_1 S_{A0})^{-\sqrt{k_1 + 4k_2}/\sqrt{k_1}} (k_1 S_{A0} + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4k_2} S_{A0})}{-k_1 S_{A0} + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4k_2} S_{A0}} \right) \} \right) +$$

$$\left(\frac{k_1 S_{A0}}{2k_3 + 2tk_1 k_3 S_{A0}} + \frac{\sqrt{k_1(k_1^2 + 4k_1 k_2 + 4k_2 k_3) S_{A0}^2}}{2\sqrt{k_1 + 4k_2 k_3}(1 + tk_1 S_{A0})} \right) +$$

$$\left(\frac{\left((k_1^2 + 4k_1 k_2 + 2k_2 k_3) S_{A0} + \sqrt{k_1 + 4k_2 k_3} \sqrt{k_1(k_1^2 + 4k_1 k_2 + 4k_2 k_3) S_{A0}^2} \right) \left(-1 + (k_1 + 4k_2)^2 k_3^2 (1 + tk_1 S_{A0}) \right)}{2(k_1 + 4k_2) k_3 (1 + tk_1 S_{A0})} \right)$$

(1)

Making use of this model equation, the calculated values and experimental data have been compared and it has been observed that they are in accordance with each other. For this reason it can be said that, the anaerobic treatment kinetic of the high strength (COD>25.000 mg/L) antibiotic production wastewater fits the second-order kinetics.

Also according to this model equation, k_1 , k_2 and k_3 , the rate constants of the anaerobic biodegradation reactions, were determined. Because of the adaptation of the anaerobic treatment kinetics of the medium strength (COD=10.000 - 20.000 mg/L) antibiotic production wastewater to the first-order kinetics, reaction rate constants k_1 , k_2 and k_3 were calculated according to the first-order kinetic equation which has been presented in the literature.

Furthermore the kinetic constants which are specific growth rate (μ), specific substrate utilization rate (q), growth yield coefficient (Y) and microbial decay coefficient (k_d) were calculated and these constant values have been compared with the literature values; it has been observed that they are in accordance with each other.

According to the results of this study, using the second-order kinetic and first-order kinetic equations, calculated values and experimental data the statistical evaluations were made. As a result of these studies, since the difference between experimental data and calculated values along x axial show no systematic correlation it has been thought that there is no missing term in this model. Added to this became the calculated coefficient of determination values are between 0,99-1,0, it has been proved that the suggested model is proper and the kinetic of anaerobic treatment of the high strength antibiotic production wastewater fits the second-order kinetics.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

1.1 Çalışmanın Önemi

Çevre kirliliği, dünyada olduğu gibi, gün geçtikçe artan boyutları ile ülkemizde de önemini hissettirmektedir. Kirlenme, doğal kaynaklarımızı kullanılmaz hale getirirken, insanları da tedirgin etmektedir. Artan nüfus ve sanayileşme ile birlikte, kullanım sonucu oluşan atık maddelerin miktarı ve özellikleri, günümüzde öylesine büyümüştür ki, doğanın, kontrolsüz bir biçimde atılan atıkları özümlemesi artık mümkün olamamaktadır.

Günümüzde evsel ve endüstriyel amaçlı su kullanımı önemli boyutlara ulaşmıştır. Su kullanımındaki bu artışa paralel olarak üretilen atıksu miktarları da büyük boyutlara ulaşmıştır. Atıksuların herhangi bir arıtım işlemine tabi tutulmaksızın doğrudan doğaya verilmesi çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle atıksuların doğaya deşarj edilmeden önce arıtılması bir zorunluluktur.

Atıksuların arıtılmasında biyolojik arıtma yöntemleri olan aerobik ve anaerobik süreçler kullanılmaktadır (McCarty, 1981a). Düşük enerji kullanımları, kuvvetli atıksulara uygulanabilmeleri, düşük miktarda atık çamur oluşturmaları ve çamur uzaklaştırma masraflarının az oluşu ile arıtma tesisinin daha az yer kaplaması ve tek başına kullanılabilmesi gibi nedenlerden ötürü anaerobik süreçler aerobik süreçlere göre gittikçe üstünlük kazanmaktadır (Çiftçi ve Öztürk, 1995). Ancak anaerobik süreçlerin karmaşık olan biyokimyası nedeniyle arıtım kinetiği üzerinde yoğun araştırmalar yapılması gerekmektedir (Buhr ve Andrews, 1977; Dagley ve Nicholson, 1970; Hulshoff, 1983; Muslu, 1994; Pavlostathis ve Giraldo, 1991).

Günümüzde pek çok endüstriyel atıksuyun organik yükü oldukça yüksektir. Bunlara örnek olarak; ilaç, süt, deri, kağıt üretim prosesi atıksuyu vs. verilebilir. Endüstriyel atıksuların arıtılmasında pek çok yöntem kullanılır. Bu yöntemlerden uygun olanının seçilmesinde atıksuyun kaynağı ve kirlilik özellikleri büyük önem taşır. Endüstriyel

atıksuların su içindeki oksijeni hızla tüketen organik atıklar olduğu düşünülürse bu atıkların arıtılmasında en ekonomik ve uygun yöntem biyolojik arıttır.

Biyolojik arıtma, atıksuda mevcut olan askıda, kolloidal ve çözünmüş organik maddelerin bakterilerce parçalanması ve çökebiyen biyolojik floklar ile sıvının içinde kalan bileşenlere dönüşmesi işlemidir (Nicolaou ve Hodjivassilis,1992). Bu maddeleri suda yaşayan canlılar besin ve enerji kaynağı olarak kullanır. Bu kullanım sırasında, organik maddelerin bir kısmı enerjiye dönüşürken, diğer kısmı hücre için gerekli olan yeni maddelerin biyosentezinde kullanılır (Gülvardar ve Alp, 1993).

Bir çeşit biyolojik arıtma yöntemi olan anaerobik arıtma, organik kirliliğin giderilmesinde, özellikle tarıma dayalı endüstrilerin (şeker, maya, alkol, bira, meşrubat, süt ürünleri, sellüloz ve kağıt, antibiyotik vb.) atıksularına bir asırdan fazla süredir uygulanmaktadır (McCarty, 1981a). Bu proseste, özellikle biyoenerji üretimi ve ortaya çıkan biyolojik çamur miktarının düşük tutulması mümkün olmaktadır.

Bununla birlikte, anaerobik arıttırda tesisin devreye alınma süresinin çok uzun oluşu, arıtımın 20°C altında çok yavaş yürümesi, tesisin ilk yatırım masraflarının yüksek oluşu ve arıtım sisteminin çok hassas kontrol altında tutularak, fazlaca uzmanlık gerektirmesi gibi bazı sakıncaları da mevcuttur.

1.2 Çalışmanın Amacı

İçinde yaşadığımız çağda, insan nüfusu hızla artmaktadır. Artan nüfus ihtiyaçlarının karşılanması için çeşitli üretim teknikleri ve sanayinin akıl almaz boyutlarda gelişmesi, fabrika atıkları ve bunlara bağlı olarak; hızlı ve sağlıklı kentleşme, ormanların ve diğer yeşil alanların hızla azalması çevre kirliliğini doğurmuştur. Böylece içinde yaşadığımız çevrenin doğal dengesi bozulmuş ve canlıların sağlıklı gelişimini tehdit eder duruma gelmiştir.

Çeşitli etkinlikleriyle, içinde yaşadığı çevreyi kirleten ve doğal özelliklerini en çok bozan canlı insandır. İnsan, aynı zamanda bu çevreye en çok ihtiyacı olan canlılardan biridir. Sonuçta, içinde yaşadığımız çevre, insansız da hayatını sürdürebilir; ama insan, kesinlikle bu çevre olmadan yaşayamaz. Bu nedenle insan, içinde yaşadığı çevrenin bir parçası olduğunu ve sağlıklı bir yaşam sürdürebilmesinin, ancak sağlıklı

bir çevreye bağılı olduğunu bilmeli ve çevreyi kirleterek doğal dengeyi bozucu faaliyetlerden kaçınmalıdır.

İçinde bulunduğumuz yüzyıl, birçok teknolojik yararları insanlara sunarken, bir yandan da insanlığın ortak malı olarak çevreden geri getirilmesi zor, hatta mümkün olmayan varlıkları da alıp götürmektedir.

20. yüzyılda dünyadaki hızlı nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme ve gelişen teknoloji ile doğal ve fiziksel kaynaklardan aşırı derecede ve dengesiz şekilde yararlanılmıştır. Bu nedenle, yer yüzünde kullanılmayan, doğallığını koruyabilen alanların sayısı gün geçtikçe azalmakta su, hava, toprak ve orman gibi, insan yaşamı için de hayati öneme sahip unsurların kirlenmesi ve tahribi de her geçen gün artmaktadır. Çevre kirliliğinin günden güne artması ekolojik dengenin sürekli bozulmasına neden olmaktadır.

Günümüzün önemli sorunlarından olan çevre kirliliğinin mümkün mertebede azaltılması için yapılan pek çok bilimsel çalışmalara paralel olarak, gerçekleştirilen bu çalışmada da organik yükü yüksek olan antibiyotik türevleri üretimi atıksuyunun anaerobik artımı ve kinetiğinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. ENDÜSTRİYEL ATIKSULARIN BİYOLOJİK ARITIMI

Günümüzde pek çok endüstri atıksuyunun organik yükü oldukça yüksektir. Bunlara örnek olarak; ilaç, süt, deri, tekstil, kağıt üretim prosesi atıksuyu vb. verilebilir. Endüstriyel atıksuların arıtılmasında pek çok yöntem uygulanabilir. Bu yöntemlerden uygun olanının seçilmesinde atıksuyun kaynağı ve kirlilik özellikleri büyük önem taşır. Endüstriyel atıksuların su içindeki oksijeni hızla tüketen organik atıklar olduğu düşünülürse bu atıkların arıtılmasında en ekonomik ve uygun yöntem biyolojik arıttır.

Biyolojik arıtım, günümüzde endüstriyel atıksuların arıtılmasında bilinen diğer arıtma süreçlerine göre pek çok avantajlar sağlamaktadır. Biyolojik arıtma, atıksuda mevcut olan askıda kolloidal ve çözünmüş organik maddelerin bakterilerce parçalanması ve çökebilen biyolojik floklar ile sıvının içinde kalan bileşenlere dönüşmesi işlemidir (Nicolau ve Hodjivassilis,1992). Bu maddeleri suda yaşayan canlılar besin ve enerji kaynağı olarak kullanır. Bu kullanım sırasında, organik maddelerin bir kısmı enerjiye dönüşürken, diğer kısmı hücre için gerekli olan yeni maddelerin biyosentezinde kullanılır (Gülvardar ve Alp, 1993). Biyolojik arıtım, havalı ortamda gerçekleştirilen aerobik arıtma ve havasız ortamda gerçekleştirilen anaerobik arıtma olarak ikiye ayrılır. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) 3000 mg/L'den fazla olan atıksuların arıtılması için günümüzde, daha düşük miktarda atık çamur oluşturan ve daha az enerji gerektiren anaerobik arıtma yöntemi tercih edilmektedir. Anaerobik arıtma, oksijensiz (anaerob) bir ortamda anaerobik mikroorganizmalar yardımı ile organik maddelerin parçalanıp CO₂ ve CH₄ gazlarına dönüştürülmesi ile gerçekleşen arıtım yöntemidir (Gray, 1989).

2.1 Anaerobik Arıtım

Mikroorganizmalar için hayati faaliyetler, asimilasyon ve disimilasyon olarak ikiye ayrılmıştır. Asimilasyon, bakterilerin organik maddeleri kendi bünyesinde

özümlemesi ve yeni hücreler yapması olayıdır. Bu esnada hücre içinde ve dışında bir takım değişiklikler meydana gelir. Hücre içinde meydana gelen ve organizma için faydalı olmayan maddelerin dışarı atılmasına da disimilasyon adı verilir. Organik maddelerin anaerobik olarak indirgenmesi, birbirine bağlı, ard arda ve paralel olarak oluşan çeşitli reaksiyonların oluşturduğu karmaşık mikrobiyal süreçtir.

Anaerobik süreçlerin biyokimya ve mikrobiyolojisi; artım sürecinin geniş bir mikroorganizma topluluğu tarafından çok çeşitli adımlarda gerçekleştirilmesi nedeni ile aerobik süreçlere göre daha karmaşıktır. Bu reaksiyon adımları ve adımları gerçekleştiren mikroorganizmalar halen ayrıntılı olarak tanımlanamamıştır. Bununla birlikte organik maddelerin anaerobik ortamda bozunmasında etkin mikroorganizmaları genelde iki grupta toplamak mümkün olmaktadır. Bu iki grup Tablo 2.1’ de gösterilen iki alt gruba ayrılmaktadır.

Tablo 2.1 Anaerobik mikroorganizmaların önemli grupları (Henze ve Harremoes, 1983).

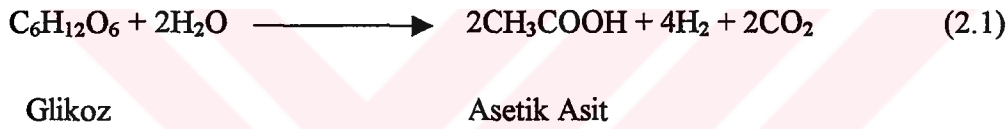
Asit Üreten Bakteriler	Asit yapan bakteriler (Bütirik ve Propiyonik asit üretirler)
	Asetat bakterileri (Asetik asit ve hidrojen üretirler)
Metan Üreten Bakteriler	Asetat seven bakteriler
	Hidrojen seven bakteriler

Asit üreten bakteriler substratı (besin maddesi) ya bütirik ve propiyonik asitlere ya da asetik asit ve hidrojene dönüştürürler. Bu ara ürünler de hidrojen seven ya da asetat seven metan bakterileri tarafından metana dönüştürülmektedir. Anaerobik reaktörlerdeki spesifik bakteriler hakkında çok az bilgi olmakla birlikte, çeşitli anaerobik süreçlerde artımı gerçekleştiren mikroorganizma topluluğunun, reaktörün özelliğine bağlı olarak değişik yapıda geliştiği gözlenmektedir (Hulshoff, 1983).

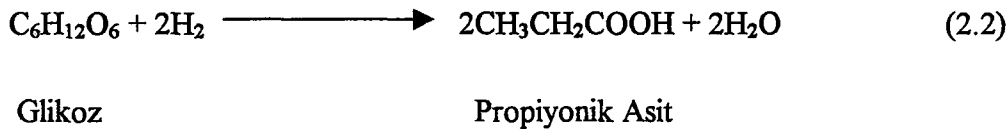
Kompleks organik maddelerin, anaerobik mikroorganizmalar tarafından enzimatik reaksiyonlar sonucu metan ve karbondioksit'e dönüştürülmesi üç temel aşamada gerçekleşmektedir (Buhr ve Andrews, 1977; Dagley ve Nicholson, 1970; Pavlostathis ve Giraldo, 1991).

1.Hidroliz Kademesi: Yüksek molekül ağırlıklı, çözünmüş ve askıda organik maddeler fermentasyon bakterileri tarafından hidroliz edilip, asit yapıcı bakteriler tarafından küçük parçalara bölünür. Hidroliz, nispeten yavaş bir süreç olup, pH ve kalış süresi reaksiyon hızını çok etkilemektedir.

Anaerobik arıtımda, hidroliz kademesinde kompleks organiklerin (çokça selüloz) organik yağ asitlerine parçalanmaları yavaş olduğundan enzimler katalizör görevi yaparak parçalanmanın hızını artırır. Lignin, enzimlerin selüloza girmesini engellendiğinden büyük moleküllü organiklerin parçalanmalarını yavaşlatır ve bir çoğu bu sebepten dolayı hiç parçalanmaz. Böyle yavaş hidroliz olan maddeler içeren atıkların anaerobik arıtımında hidroliz kademesi hız sınırlayıcı kademe olabilmektedir. Bu kademenin temel reaksiyonu aşağıdaki gibidir (Iza ve diğ., 1991; Muslu, 1994):



2.Asit Oluşum Kademesi: Bu aşamada ilk adımda oluşan küçük organik moleküller asit bakterileri tarafından, aşağıdaki reaksiyonlar uyarınca çeşitli uçucu yağ asitlerine (asetik , propiyonik, butirik ve valerik asitlere) dönüştürülür (McCharty, 1981b).



Asit üretim hızının, metan üretim hızına göre yüksek oluşu, ortamdaki uçucu yağ asitleri konsantrasyonunu çok yükselterek, metan bakterilerini inhibe etmektedir. Bu nedenle sistemin pH'nın çok iyi kontrol edilmesi gerekmektedir (Henze ve Harremoes, 1983; Muslu, 1994).

3.Metan Oluşum Kademesi: Yavaş bir süreç oluşu nedeni ile metan üretimi, anaerobik parçalanmada hızı kontrol eden adım olmaktadır. Metan bakterileri, asetik

asitten ya da hidrojen ve karbondioksitten metan üretmektedirler. Ayrıca metanol ve formik asitten de çok az miktarda metan üretilmektedir. Hidrojen ve karbondioksitten metan oluşturan bakteriler diğerlerine göre daha hızlı üremektedirler (Henze ve Harremoes, 1983; Froster ve Wase, 1987).

Yapılan çalışmalar anaerobik arıtmada açığa çıkan CH_4 'ün %72'nin CH_3COOH 'ın, %28'nin $\text{H}_2 + \text{CO}_2$ yoluyla üretildiğini göstermektedir (Froster ve Wase, 1987).

Şekil 2.1'de organik maddelerin anaerobik arıtımındaki reaksiyon adımlarını görmek mümkündür.

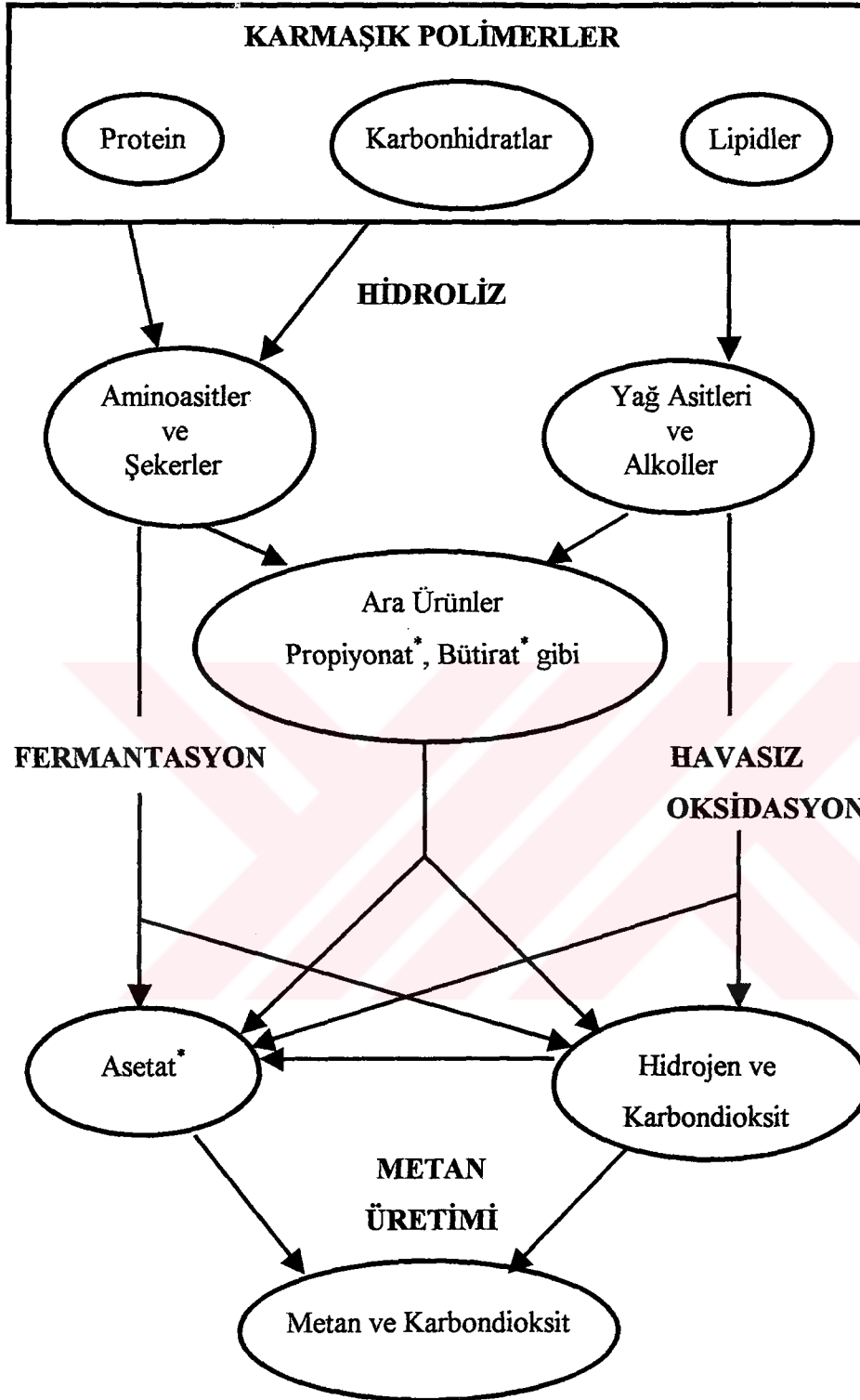
2.1.1 Anaerobik Arıtımı Etkileyen Faktörler

Anaerobik süreçler aerobik süreçlere kıyasla çevresel faktörlere oldukça hassastır. Çevresel faktörlerdeki ani değişiklikler sürecin kararlılığına olumsuz etki yapmakta ve verimin düşmesine sebep olmaktadır. Bunun başlıca sebebi de, atıkların stabilizasyonunda çok etkili olan metan bakterilerinin çevre koşullarına hassas olmasıdır. Bu bölümde anaerobik süreçler üzerinde birinci dereceden etkili çevresel faktörler ele alınmıştır.

2.1.1.1 Sıcaklık

Anaerobik süreçler sıcaklık değişimlerine karşı çok duyarlıdır. Ani yapılan sıcaklık değişimleri sistem üzerinde şok etkisi yaparlar ve mikroorganizmaların faaliyetlerini tamamen durdurabilirler.

Mikroorganizmalar psikrofilik ($<20^\circ\text{C}$), mezofilik ($20 - 40^\circ\text{C}$) ve termofilik ($50 - 60^\circ\text{C}$) sıcaklıklarda etkili olmalarına göre üç grupta toplanırlar. Anaerobik arıtma süreçlerinde optimum sıcaklık aralığı $34 - 37^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir (İza ve diğ., 1991).



Şekil 2.1 Anaerobik artım kademeleri (Pavlostathis ve Giraldo, 1991).

* Asetik, propiyonik, butirik asit tuzları.

2.1.1.2 Besin Maddeleri

Anaerobik süreçlerde hücre büyümesi için gerekli temel besin maddeleri (N, P) aerobik süreçlere kıyasla daha az olmaktadır. Anaerobik süreçlerde toplam KOİ'nin % 10'nun hücre sentezinde kullanıldığı varsayılarak toplam KOİ'nin % 1'i ve % 0,15'i oranında azot ve fosforun yeterli olacağı öngörülmektedir. Nitekim bu yönde yapılan çalışmaların sonucu olarak anaerobik süreçlerde uygulanan KOİ / N / P oranı (kütlesel) 300 / 7 / 1 olarak verilmektedir (Speece ve McCarty, 1982).

Anaerobik süreçlerde gerekli olan besin miktarı, mikroorganizmaların büyümesi ile orantılıdır. Bir çok mikroorganizma hücrelerinin büyümesi için mikrobeyinler denilen N ve P dışında bazı eser elementlere de gerek vardır. Sürecin verimini arttıran eser elementler ve etkileri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2 Anaerobik süreçlerde kullanılan eser elementler ve etkileri (Timur, 1986).

Element	Konsantrasyon (mg/L)	Etkileri
Fe ²⁺	200	S ²⁻ çökmesi
Ni ²⁺	10	Aktivite artışı
Mg ²⁺	10-20	Flokülasyon
Ca ²⁺	10-40	Flokülasyon
Ba ²⁺	10-100	Flokülasyon
Co ²⁺	10	Vitamin
SO ₄ ²⁻ (n=3, 4)	20	Aktivite artışı

2.1.1.3 İnhibisyon ve Zehirlilik

Organik ve inorganik bileşiklerin belirli konsantrasyonlar üzerinde atıksuda mevcut olması biyolojik süreçlerde biyokütlelenin metabolizmik faaliyetlerinin yavaşlamasına ve hatta durmasına neden olabilmektedir. Organik ve inorganik yapıdaki çok sayıda bileşiklerin anaerobik bakteriler üzerindeki etkileri yönünde birçok çalışma yapılmış ve bu bileşiklerin anaerobik mikroorganizmaların faaliyetlerini yavaşlatan ve durduran kirlilik konsantrasyon değerleri saptanmıştır.

Bazı metal iyonlarının düşük miktarlardaki konsantrasyonları bakteriyel faaliyetleri artırırken, belirli konsantrasyon değerlerinin üzerinde süreci inhibe edebilmektedirler. Tablo 2.3’de bazı toprak alkali metal iyonlarının inhibisyona neden olan konsantrasyon değerleri verilmiştir (Berg ve Lentz, 1981; Lettinga, 1980; Speece ve McCarty, 1982).

Tablo 2.3 Metal iyonlarının inhibisyon konsantrasyonları.

Kasyon	Orta Derecede İnhibisyon Konsantrasyonu (mg/L)	Kuvvetli İnhibisyon Konsantrasyonu (mg/L)
Na ⁺	3.500-5.500	8.000
K ⁺	2.500-4.500	12.000
Ca ²⁺	2.500-4.500	8.000
Mg ²⁺	1.000-1.500	3.000

Metal iyonlarının sistemde aynı anda birlikte bulunmaları durumunda inhibisyon etkisinin azalması veya artması söz konusu olabilmektedir.

2.1.1.4 pH

Metan oluşturan bakterilerin pH değerine karşı çok hassas olmaları nedeni ile en elverişli ortam pH’ın 6 ile 8 aralığında olduğu şartlardır. Anaerobik arıtma için optimum pH değeri 7,0 dir. Bu nedenle metan bakterilerinin büyümesi için en uygun olan 6,5 - 7,5 pH aralığında çalışılır. pH’ın 6 değerinin altına düşmesi, metan üreten bakteriler için inhibisyona neden olur. pH’ın 8’in üstüne çıkması halinde de ortamda bulunan çözünmüş amonyak inhibisyona neden olur. Böyle durumlarda ortamın pH’sı istenen değere ayarlanarak arıtımın devam etmesi sağlanır.

2.1.1.5 Kalevilik

Anaerobik arıtma sürecinde üretilen amonyum bikarbonat sistemdeki kaleviliğin kaynağıdır. Magnezyum ve kalsiyum bikarbonatlar ise orijinal atık içinden gelerek kaleviliğe neden olabilirler.

İyi çalışan bir arıtım sisteminde kalemilik değerin 2.000 - 5.000 mg/L (40 - 100 miliekivalent/L) değeri arasında olması gerekmektedir. Eğer oluşan uçucu asit miktarı yükselmiş ise bunun dengelenip pH'ın düşüşünün sağlanıp sistemin kalemilik değerin uygun aralığa getirilmesi için sisteme NaHCO_3 ve kireç ilavesi yapılmalıdır (McCarty, 1964; Water Environment Federation, 1996).

2.1.1.6 Uçucu Asitler

Arıtım işleminin bir ara ürünü olan uçucu asitler, sistemin sağlıklı yürüyüşü hakkında bilgi veren bir ölçüttür. Uçucu asit konsantrasyonu 50 - 300 mg/L aralığında değişim gösterebilir.

Uçucu asit konsantrasyonu ile kalemilik arasındaki oranın değeri arıtımın nasıl ilerlemekte olduğu konusunda fikir verebilir. Bu oranın 0,8'i aşması durumunda, pH'da önemli değişikliklerin meydana geldiği ve metan üretiminin inhibe olduğu anlaşılır. Oranın 0,3 - 0,4 civarında olması da uyumsuzluk belirtisidir ve sisteme müdahale edilmesini gerektirir (Water Environment Federation, 1996).

3. ATIKSULARIN ARITIM KİNETİĞİ VE MODELLENMESİ

Ardışık reaksiyonların kinetikleri anaerobik arıtma sistemlerinin gelişimi ve işletilmelerinde önemli bir rol oynar. Anaerobik arıtma sürecini tanımlayan karakteristikleri aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür (Lema ve diğ., 1991).

1. Çok kademeli süreçlerin hızını kontrol eden kademe genel olarak ya büyük moleküllü polimerik maddelerin hidroliz olduğu ilk kademe ya da kolay hidroliz olabilen substratların metana dönüşümü olan son kademedir.
2. Reaksiyon süresi çok uzun olduğundan, saat hatta günler cinsinden ölçülür. Bu durumda, geri dönüşlü kontrol sistemleri kullanmak verimli olmaz çünkü cevap süresi çok uzundur.
3. Reaksiyonlar düşük atık yoğunluklarında birinci mertebe kinetik gösterirler.
4. Maksimum biyokütle büyüme hızı sabitleri diğer aerobik biyolojik süreçlerle karşılaştırıldığında daha düşüktür.
5. Her kademenin sıcaklık, pH gibi karakteristik parametreleri arasında farklar vardır. Her kademedeki reaksiyona giren maddelerin konsantrasyonu ve mikroorganizma canlılığına bağlı olarak kademelerin hızları değişik olabilir. Böyle bir durumda kademeler arası uyum problemleri ortaya çıkar.
6. Sıcaklık, pH gibi çevre şartları işlem sırasında oluşan uçucu yağ asitleri, NH_4^+ , H_2S gibi kimyasallar, bazı reaksiyon kademelerini yavaşlatabilir ve hatta durdurabilir.

3.1 Mikrobiyal Kinetik

Mikrobiyal kinetik modellenmesinde genel olarak canlı mikroorganizma nüfus yoğunluğu esas alınmaktadır. Ancak parçacık halde organik maddeler içeren sistemlerle çalışıldığında, hidroliz kademesinde birinci mertbe kinetik geçerli olduğundan canlı mikroorganizma sayısının tespiti çok zordur. Endüstriyel üretimde ortaya çıkan pekçok atıksu içinde asılı halde organik parçacıklar vardır. Literatürde bulunan kinetik verilerin çoğu ise, zenginleştirilmiş karışık kültürle veya saf kültürlerle sentetik karışımların laboratuvar ölçeğinde arıtıldığı çalışmalardan elde edilmiştir.

Biyolojik büyüme kinetik denklileri, mikroorganizmanın büyüme hızı ve besin maddesi kullanma hızı arasındaki ana ilişkiden oluşur. Büyümeyi sınırlayan gerekli besin maddesi konsantrasyonunun mikrobiyal büyüme hızına etkisi, çeşitli kinetik modeller tarafından tespit edilebilmektedir (Contois, 1959; Grau ve diğ., 1975; Monod, 1949).

Monod modeli ve onun benzeri olan modeller de, substrat içinde çözünebilen organik maddeler mikrobiyal büyümeyi simüle etmek için kullanılmaktadır. Biyolojik parçalanma dinamiklerini ifade etmek için kullanılan Monod kinetiklerinde, Michealis-Menten enzim reaksiyon kinetiği temel alınmaktadır.

Kararlı haldeki çok substratlı dönüşüm prosesleri, veya kesikli besleme şartlarındaki tek substratlı dönüşüm süreçleri mevcut kinetik denklilerle çok iyi ifade edilebilmektedir. Kararsız halde karmaşık veya çoklu substrat dönüşüm süreçleri veya şok yükleme şartlarında bu kinetik denkliler uygun olmazlar. Bu şartlarda, simülasyonu etkileyen bazı faktörleri kinetik model içinde göstermek zordur (Iza ve diğ., 1991).

Atıksudaki her bir kimyasal madde için kinetik verilere gereksinim duyulmasına rağmen literatürde incelenmiş veriler çok azdır. Pek çok çalışmada da atıksuyun kimyasal bileşimi bilinmemektedir. Tablo 3.1'de anaerobik arıtma çalışmalarında kullanılan çeşitli kinetik modeller gösterilmektedir. Bu tablodaki Contois, Chen-Hashimoto ve Grau ve çalışma arkadaşlarının modelleri Monod modelinden yola

çıkılarak geliştirilmiştir (Chen ve Hashimoto, 1980; Contois, 1959; Grau ve diğ., 1975; Monod, 1949).

Tablo 3.1 Anaerobik arıtmada kullanılan kinetik modeller (Chen ve Hashimoto, 1980; Contois, 1959; Grau ve diğ., 1975; Monod, 1949).

Model	Özgül Büyüme Hızı	Besin Maddesi Tüketim Hızı	Substrat Derişimi
1.Mertebe	$\mu = \frac{kS}{S_0 - S} - b$	$-\frac{dS}{dt} = kS$	$S = \frac{S_0}{1 + k\theta_x}$
Grau ve ç.a.	$\mu = \frac{\mu_m S}{S_0} - b$	$-\frac{dS}{dt} = \frac{\mu_m XS}{YS_0}$	$S = \frac{S_0(1 + b\theta_x)}{\mu_m \theta_x}$
Monod	$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} - b$	$-\frac{dS}{dt} = \frac{\mu_m XS}{Y(K_s + S)}$	$S = \frac{K_s(1 + b\theta_x)}{\theta_x(\mu_m - b) - 1}$
Contois	$\mu = \frac{\mu_m S}{BX + S} - b$	$-\frac{dS}{dt} = \frac{\mu_m XS}{Y(BX + S)}$	$S = \frac{BY S_0(1 + b\theta_x)}{BY(1 + b\theta_x) + \theta_x(\mu_m - b) - 1}$
Chen& Hashimoto	$\mu = \frac{\mu_m S}{KS_0 + (1 - K)S} - b$	$-\frac{dS}{dt} = \frac{\mu_m XS}{KX + YS}$	$S = \frac{KS_0(1 + b\theta_x)}{(K - 1)(1 + b\theta_x) + \mu_m \theta_x}$

3.2 Hız Belirleyen Kademe Yaklaşımı

Anaerobik arıtma süreçlerinde bir dizi simbiyotik süreç oluşması ve kademelerden birinin diğerlerinden daha yavaş olması sebebi ile en yavaş kademe hız belirleyicidir. Birçok araştırmacı anaerobik parçalanma kinetiklerini modellerken Şekil 2.1'deki kademelerden sadece birini göz önüne almıştır. Örneğin; Çiftçi (1997), ekmek mayası atıksuyunun parçalanmasına kinetik model oluştururken, organik maddelerin hidrolizi, hidroliz ürünlerinden uçucu yağ asitlerinin meydana gelmesi ve uçucu yağ

asitlerinden biyogaz oluşumunun, önemli reaksiyon kademeleri olduğunu kabul etmiştir (Çiftçi, 1997). Hangi kademenin hız belirleyen kademe olduğu substratın yapısına, proses konfigürasyonuna, sıcaklığa ve yükleme hızına bağlıdır (Speece, 1983). Asılı haldeki polimerik organik partiküller için hidroliz kademesi, aromatik bileşikler için fermentasyon kademesi, buna karşılık propiyonat için ise asit oluşumu kademesi hız belirleyen kademe olur (Pavlostathis ve Giraldo, 1991).

Tekil reaksiyonlar ile tanımlanamayan karmaşık substratlar ile yapılan pekçok çalışmada kinetik parametreler elde edilmiş ve metan oluşumunun tek kademe süreci olduğu kabul edilmiştir. Hidroliz kademesinin de 1. Mertebe kinetik gösterdiği kabul edilir ve pekçok durumda Monod modeli ve türevlerinin hidroliz kademesinde oluşan heterojen reaksiyonları tanımlamakta yetersiz kaldığı sonucuna varılır. Asit ve metan oluşumunun sınırlayıcı kademeler olmasına rağmen, hidroliz tüm proses kinetiklerini etkilemektedir. Hidroliz kademesi hariç, anaerobik arıtmanın diğer kademeleri Monod kinetiği ile başarıyla modellenabilmektedir.

3.3 Kinetik Modelleme

Kinetik modelleme çalışmaları, biyolojik arıtma sistemlerinin dizaynında önemli bir yer tutmaktadır. Standart modelleme yaklaşımında esas olarak iki bileşen göz önüne alınarak bunlara ait kütle denklilikleri yazılmaktadır. Bu bileşenlerden biri KOİ olarak ölçülen substrat, diğeri ise uçucu askıda madde olarak saptanan mikroorganizmadır. Klasik yaklaşımda bileşenlerin bu şekilde belirtilmesi, tanım problemine yol açmaktadır. KOİ olarak tanımlanan substratın tamamı biyolojik olarak ayrışabilir nitelikte olmayıp, bir miktar biyolojik olarak ayrışamayan, inert organik madde içerebilmektedir. Aynı şekilde uçucu askıda madde olarak saptanan mikroorganizmada da aktif kısmının yanısıra inert uçucu askıda madde gibi ilave bazı unsurlar bulunmaktadır (Grady ve Roper, 1947 ; Weddle ve Jenkins, 1985). Bu nedenle substrat konsantrasyonu sadece KOİ ve mikroorganizma konsantrasyonu ise tek başına uçucu askıda madde olarak tanımlanan model yaklaşımları dizaynda yetersiz kalmaktadır.

Ayrıca biyolojik arıtma sistemlerinde sadece çoğalmaya bağlı bir modelleme yaklaşımı da yanlış bazı sonuçlar doğurabilmektedir. Askıda katı maddenin

bulunduğu sistemlerde, KOİ olarak saptanan substratın çoğalma reaksiyonuna bağlı olarak gideriminin yanısıra, sistemde KOİ artışına yol açan bazı ilave prosesler de bulunmaktadır (Chudoba, 1985a ; Chudoba, 1985b ; Dennis ve Irvine, 1981). Bu nedenle biyolojik arıtma sisteminin modellenmesinde bileşenlerin ve süreçlerin daha ayrıntılı bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Ancak bu sırada dikkat edilmesi gereken bir husus da modelin çok kompleks olup, uygulanabilirliğinin imkansız bir hale gelmemesidir.

Literatürde arıtım kinetiğindeki değişkenler arasında mevcut ilişkilerin önemini tayin etmek amacıyla bazı kinetik modeller geliştirilmiştir. Bu modellerin kurulmasında ve kinetik parametrelerin tespitinde çeşitli eşitlikler kullanılmaktadır.

Monod ifadesi kullanılarak, substrat konsantrasyonunun (S) büyüme hızına (μ) etkisi şöyle ifade edilebilir (Monod, 1949);

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S} \quad (3.1)$$

$$\mu = \frac{dX}{dt} \times \frac{1}{X} \quad (3.2)$$

burada,

$\frac{dX}{dt}$ = Bakteriyal büyüme hızı, (kütle / hacim. zaman)

K_s ise yarı doygunluk sabitidir.

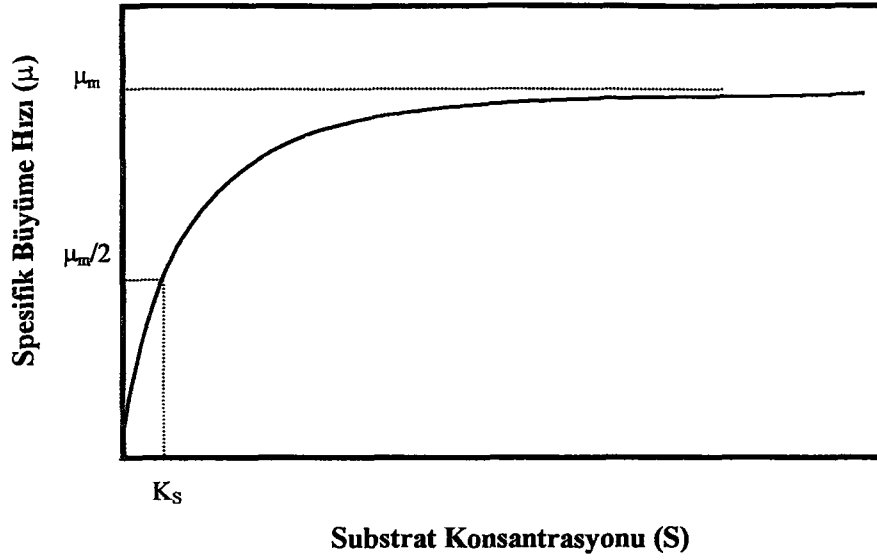
Substrat konsantrasyonunun, spesifik büyüme hızına etkisi Şekil 3.1’de görülmektedir.

Spesifik substrat tüketimi (q),

$$q = \frac{dS}{dt} \times \frac{1}{X} \quad (3.3)$$

ile ifade edilir. Burada,

$\frac{dS}{dt}$ = Substrat tüketim hızı, (kütle / hacim. zaman)



Şekil 3.1 Substrat konsantrasyonu ile spesifik büyüme hızının değişimi.

Üreme verimi (Y) matematiksel olarak,

$$Y = \frac{\left(\frac{dX}{dt}\right)}{\left(\frac{dS}{dt}\right)} \quad (3.4)$$

dir.

Spesifik substrat tüketimi hızı, spesifik büyüme hızı ve üreme verimi arasında bir bağıntı türetmek mümkündür.

$$\frac{\left(\frac{dS}{dt}\right)}{X} = q = \frac{\left(\frac{\left(\frac{dS}{dt}\right)}{X}\right)}{\left(\frac{dX}{dt}\right)} = \frac{\mu}{Y} \quad (3.5)$$

Substrat tüketimi Monod eşitliğine benzer şekilde tanımlanırsa,

$$q = q_m \frac{S}{K_s + S} \quad (3.6)$$

$$\left(\frac{dX}{dt} \right)_c = -k_d X \quad (3.7)$$

burada,

$\left(\frac{dX}{dt} \right)_c$ = Bakteriyal ölüm hızı, (kütle / hacim. zaman),

$$\mu = Yq - k_d \quad (3.8)$$

3.8 eşitliğinde μ gerçek spesifik büyüme hızını ifade eder ve spesifik substrat tüketimi,

$$q = \mu \frac{1}{Y} + \frac{k_d}{Y} \quad (3.9)$$

dir.

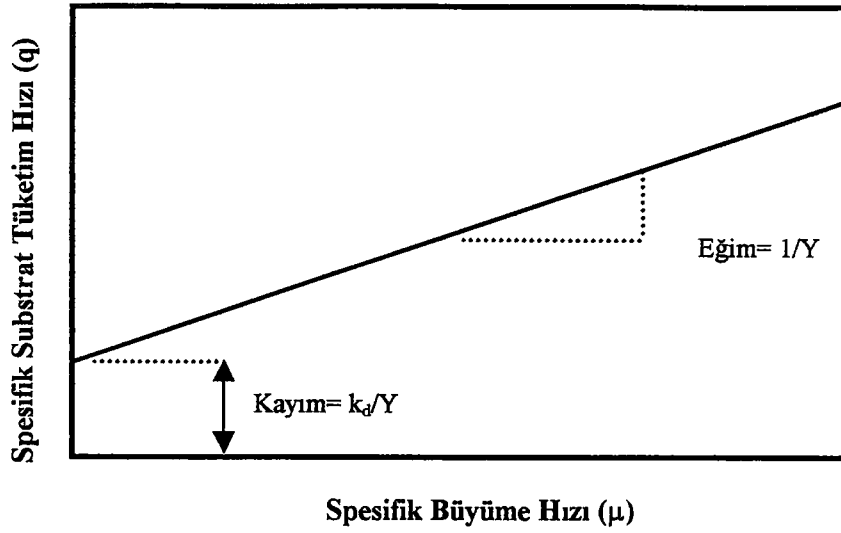
Spesifik substrat tüketim hızı, spesifik üreme hızına karşı grafiğe geçirilirse, Şekil 3. 2’de görüldüğü gibi bir doğru ele geçer. Bu doğrunun eğimi $1/Y$, kayımı ise k_d/Y değerine eşittir.

Gerçek spesifik büyüme hızı $\frac{(dX/dt)}{X}$ in tersi alıkonma süresidir ve

$$\theta_c = \frac{X_t}{\left(\frac{dX}{dt} \right)_t} \quad (3.10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

$\left(\frac{dX}{dt} \right)_t$ = Sistemden uzaklaşan organizma miktarı (kütle / zaman) dır.



Şekil 3.2 Spesifik büyüme hızı ile spesifik substrat tüketim hızının değişimi.

3.4 Hız İfadeleri

Substrat konsantrasyonu ve/veya çevre koşullarının değişimi ile mikroorganizmaların substratı parçalama reaksiyonlarının mertebesi değişiklik göstermektedir. Biyolojik dönüşüm reaksiyonlarında; reaksiyon hızı, substrat konsantrasyonu ve reaksiyon mertebesi arasında genel olarak şu bağıntı vardır (Benefiejd ve Randall, 1980).

$$r = -\frac{dS}{dt} = kS^n \quad (3.11)$$

Eşitliğin her iki tarafının ln alınırsa,

$$\ln r = \ln \left(-\frac{dS}{dt} \right) = \ln k + n \ln S \quad (3.12)$$

burada,

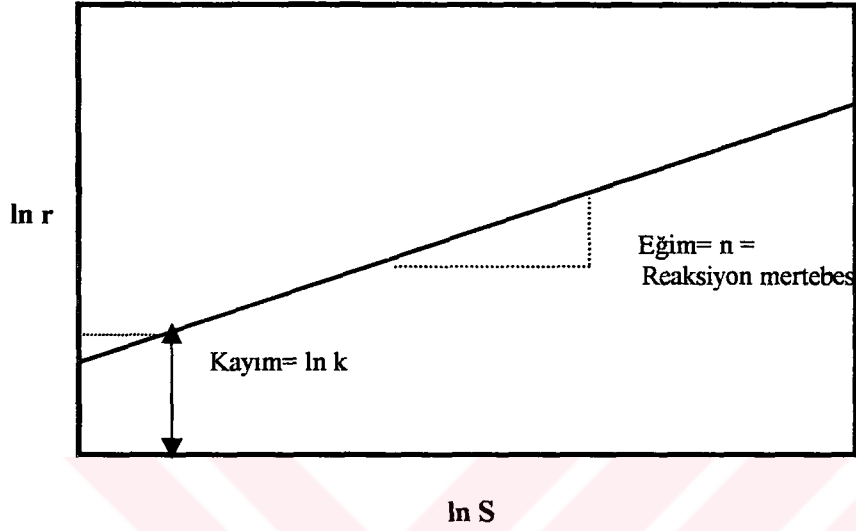
r = reaksiyon hızı (kütle / hacim . zaman),

n = reaksiyon mertebesi,

k =hız sabiti

dir.

3.12 no'lu eşitliğe göre $\ln r$ değerlerine karşı $\ln S$ değerleri grafiğe geçirilirse Şekil 3.3'de görülen bir doğru ele geçer. Bu doğrunun eğimi reaksiyon mertebesi olan n 'yi, kayımı ise $\ln k$ 'yı verir.

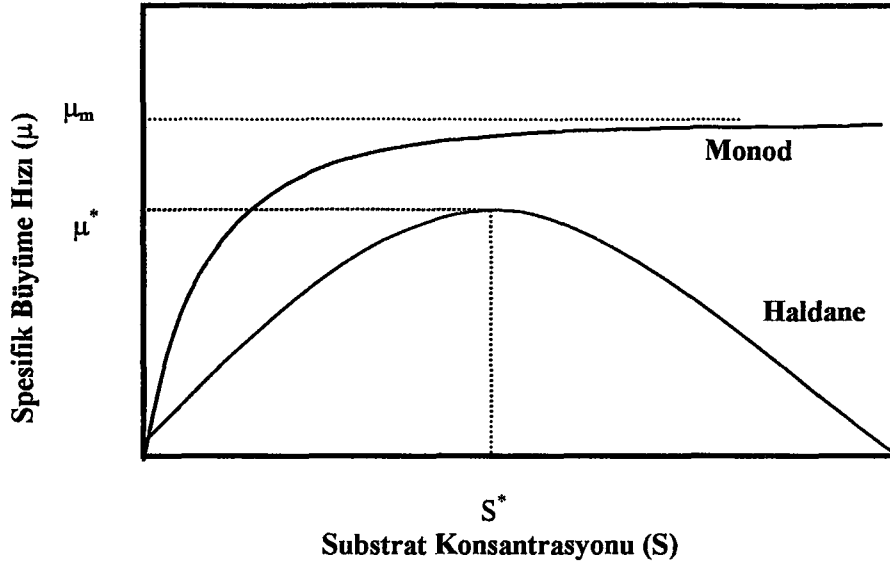


Şekil 3.3 Eşitlik 3.12'ye göre k ve n 'nin tayini.

3.5 İnhibisyon Kinetiği

Mikrobiyal üreme pekçok şekilde inhibe olabilir. Üremenin olduğu ortamda inhibitörlerin varlığı büyümeyi ve çoğalmayı inhibe edebileceği gibi, mikroorganizmayı tamamen inaktive edebilir.

İnhibitör içeren atıkların üreme kinetiği, Monod üreme kinetiğinden farklı bir durum sergilemektedirler. Mikrobiyal üreme hızı, substrat konsantrasyonu arttıkça artmakta ve maksimum bir değere ulaştıktan sonra artan substrat konsantrasyonuna karşı azalma göstermektedir. İnhibisyon olmadığı (Monod) ve inhibisyon olması (Haldane) halinde μ ve S arasında çizilen grafik Şekil 3.4' de görülmektedir.



Şekil 3.4 Monod ve Haldane göre μ ve S arasındaki değişim.

Mikroorganizmaların aktivitesine substrat inhibisyonunun etkisini açıklayıcı pek çok matematik model önerilmektedir (Tablo 3.2). Tablodaki 3.14 - 3.24 eşitlikleri, üreme hızına substratın inhibitör etkisini görmek için geliştirilen ifadelerdir.

Tablo 3.2 Üreme için kinetik modeller.

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \quad (3.13)$$

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S + \left(\frac{S^2}{K_i} \right)} \quad (3.14)$$

$$S^* = K_s K_i \quad (3.14a)$$

$$\mu = \frac{\mu_m S}{(K_s + S) \left(1 + \frac{S}{K_i} \right)} \quad (3.15)$$

$$S^* = K_s K_i \quad (3.15a)$$

$$\mu = \frac{\mu_m S \left(1 + \left(\frac{S}{K} \right) \right)}{K_s + S + \left(\frac{S^2}{K_i} \right)} \quad (3.16)$$

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S + \left(\frac{S^2}{K_i} \right) \times \left(1 + \left(\frac{S}{K} \right) \right)} \quad (3.17)$$

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \times \exp\left(-\frac{S}{K_i}\right) \quad (3.18)$$

$$S^* = \frac{1}{2} K_s \left\{ \left[1 + 4 \left(\frac{K_i}{K_s} \right) \right]^{\frac{1}{2}} - 1 \right\} \quad (3.18a)$$

$$\mu = \mu_m \left[\exp\left(\frac{-S}{K_i}\right) - \exp\left(\frac{-S}{K_s}\right) \right] \quad (3.19)$$

$$S^* = \frac{\ln\left(\frac{K_i}{K_s}\right)}{\left(\frac{1}{K_s}\right) - \left(\frac{1}{K_i}\right)} \quad (3.19a)$$

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \times \left(1 - \left(\frac{S}{S_m} \right) \right)^\alpha \quad (3.20)$$

m = Substrat konsantrasyonunun K_s üzerindeki etkisini gösteren sabit.

α = Substrat konsantrasyonunun μ_m üzerindeki etkisini gösteren sabit.

$$S^* = \left\{ \left[\left(\frac{\alpha + 1}{\alpha} \right)^2 \times \left(\frac{K_s^2}{4} \right) + \left(\frac{K_s S_m}{\alpha} \right) \right]^{1/2} - \left(\frac{(\alpha + 1)K_s}{2\alpha} \right) \right\} \quad (3.20a)$$

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \times \left(1 - \left(\frac{S}{K_i} \right) \right) \quad (3.21)$$

$$\mu = \mu_m \left(1 - \left(\frac{S}{S_m} \right) \right)^\alpha \times \frac{S}{S + K_s \left(1 - \left(\frac{S}{S_m} \right) \right)^m} \quad (3.22)$$

$$q = \frac{q_m S}{S + K_s + \left(\frac{S^2}{K_i} \right)} \quad (3.23)$$

$$\frac{q}{q_m} = \frac{\frac{S}{K_s}}{1 + \frac{S}{K_s} + \left(\left\{ \frac{S}{K_s} \right\}^2 / \left\{ \frac{K_i}{K_s} \right\} \right)} \quad (3.24)$$

İnhibisyon mertebesi, inhibisyon kinetik sabiti olan K_i ile ters orantılıdır. K_i 'nin sonsuza yaklaşması, eşitliğin Monod'a indirgenmesine neden olur. Pekçok araştırmacı Monod eşitliğinin (3.13 no'lu eşitlik) inhibisyon olmayan durumlarda çeşitli bileşiklerin parçalanma kinetiğinin belirlenmesinde kullanılabileceğini ispatlamıştır (Brown ve diğ., 1990; Chudoba ve diğ., 1989; Grady, 1989; Yung ve Humphrey, 1975). Haldane eşitliğinin (3.14 nolu eşitlik) ise, substrat inhibisyonu varlığında μ ile S arasındaki fonksiyonel ilişkiyi ve yüksek substrat konsantrasyonlarında büyümeyi açıklamaya uygun olduğu bulunmuştur (D'adamo ve diğ., 1984; Godrej ve Scherrard, 1980; Luong, 1987; Rozich ve diğ., 1985; Yung ve Humphrey, 1975).



4. ANTİBİYOTİKLER

Hastalık yapan ya da yapmayan mikroorganizmaları, çoğalmalarını durdurarak (bakteri durdurucu antibiyotikler) ya da öldürerek (bakteri öldürücü antibiyotikler) etkileyen doğal ya da yapay maddelere antibiyotik denir.

Antik Yunanlıların eğrelti otu ile şerit düşürmeleri, Azteklerin kemopodyum ile helminitiyazis tedavi etmeleri, Hinduların çalmogra ile cüzzamla savaşmaları gibi binlerce yıl öncesine varan enfeksiyon hastalıklarına ilişkin bilgilerimiz 16. yüzyılda frengide merkürünün ve 17. yüzyılda sıtmada kininin kullanılması ile önemli aşamalar göstermişse de bilimsel temelden yoksundu. 1877’de Pasteur ve Joubert’in, şarbon basilinin steril idrarda ürerken, bakteri karışmış bir besi yerinde üremediğini, 1929’da Fleming’in penisilyum notatum çevresinde mikroorganizma üremediğini gözlemlmeleri ile *antibiyotik* sözcüğü , bugünkü anlamı ile ortaya konmuştur.

Ortak özellik taşıyan antibiyotikleri şöyle sınıflandırmak mümkündür:

1. Penisilinleri ve Sefalosporinleri içeren Beta-laktamlar,
2. Vankomisin türevleri,
3. Aminoglikozidler,
4. Tetrasiklinler,
5. Amfenikoller,
6. Makrolidler (eritromisin grubu),
7. Değişik yapıli antibiyotikler.

Antibiyotikler, bakterileri etkileme güçlerine göre sınıflandırıldıklarında, üç gruba ayrılırlar:

1. Etki alanı geniş antibiyotikler: Gram (+) ve Gram (-) mikroorganizmaları etkilerler;
2. Etki alanı sınırlı antibiyotikler: Gram (+) mikroorganizmaları ve Gram (-) mikroorganizmaların bazılarını etkilerler;
3. Etki alanı dar antibiyotikler: Gram (+) mikroorganizmaların bir kısmını ve Gram (-) mikroorganizmaları etkilerler.

Antibiyotikler etki mekanizmalarına göre de dört gruba ayrılabilirler:

1. Bakteri hücre duvarı sentezini inhibe edenler,
2. Bakteri hücre membranının işlevini bozanlar,
3. Bakteri protein sentezini inhibe edenler,
4. Bakteri nükleik asid sentezini inhibe edenler.

Bir antibiyotiğin etkisi, ansızın yüksek bir düzeye ulaşan ve tedavi süresinde değişmemesi gereken kandaki yoğunluk derecesine bağlıdır. Antibiyotikler, verilme yollarına, organizmadaki evrimlerine ve organizmadan atılma hızlarına göre değişiklik gösterirler. Dolayısıyla, antibiyotiğin seçimi yalnızca mikroorganizmanın değil, hızla üstüne gidilmesi gereken kan, beyin-omurilik sıvısı, böbrekler-sindirim sistemi, safra vb. gibi hastalık odağına bağlıdır (Yalman, 1993; Karaalp, 1998).

4.1 Antibiyotik Üretimi Atıksuyunun Özellikleri

İlaç endüstrisi, insan ve hayvan hastalıklarının tedavisinde kullanılan aktif maddelerin gerekli dozlarda üretilmesi ve dağıtılması işlevlerini içerir. Üretim sırasında kullanılan çok sayıda hammadde ve farklı süreçler sınıflandırmada çeşitli alternatifleri ortaya çıkarmaktadır.

İlaç endüstrisi atıksularının sınıflandırılmasına ait yapılan çalışmalar sonunda hammadde, süreç, ürün ve atıksu özellikleri ile artırılabilirlik faktörlerinin dikkate alındığı bir sınıflandırma yapılmış ve buna göre ilaç endüstrisi beş alt gruba ayrılmıştır.

I-) Fermantasyon Ürünleri

Antibiyotik ve steroidlerin üretiminde kullanılan temel işlemdir. Fermantasyon, besi yeri hazırlanması, hammaddelerin bu besi yerinde fermente edilmeleri ve ürünün sıvı besi yerinden geri kazanılması adımlarından oluşur.

II-) Biyolojik ve Doğal Maddelerden Ekstraksiyonla Elde Edilen Ürünler

Farmasotik ürünlerin bitki kökleri, hayvansal salgılar veya parazit mantarlar gibi doğal kaynaklardan elde edilmesidir.

III-) Organik Kimyasal Madde Sentezi ile Üretim

Sentetik antibiyotik, sulfamid grubu ilaçlar başta olmak üzere birçok ilacın üretiminde kimyasal sentez yöntemi kullanılmaktadır. Üretim kesikli reaktörlerde ısıtma, soğutma, karıştırma, yoğunlaştırma, kristalizasyon ve çözücü ekstraksiyonu gibi işlemlerle gerçekleştirilir.

IV-) Formülasyon

Formülasyon işlemi ile farmasotik ürünler kullanıma hazır duruma getirilirler. Tablet, kapsül, sıvı veya merhem haline getirilmiş olan, uygun miktarlarda ilaç aktif bileşiklerinin karıştırılıp, şekil verildikten sonra paketlenip, satışa hazır hale getirilmesi formülasyon aşamasında gerçekleştirilen işlemlerdir.

V-) Farmasotik Araştırmalar

İlaç aktif maddeleri ile ilgili tüm biyolojik, mikrobiyolojik ve kimyasal araştırmalar bu gruba dahildir.

İlaç endüstrisinde genel olarak ortak özellikleri belirlemek, kullanılan hammadde, süreç ve üretilen ürün çeşitliliği nedeniyle mümkün değildir. Endüstrinin özellikleri, belirtilen beş alt grup göz önünde tutularak belirlenir.

Fermantasyon yolu ile antibiyotik üretimi, uygun besiyeri, pH, sıcaklık, havalandırma vs. koşullarda özel mikroorganizmaların geliştirilmesi ve bu biyosentezden sonra elde edilen kimyasal ürünlerin, çeşitli yöntemlerle saflaştırılmasıdır.

Fermantasyon süreci atıksularının karakteristik özelliğinin, yüksek Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ), KOİ, Askıda Katı Madde (AKM) konsantrasyonları ve yüksek atıksu debileri olduğu söylenebilir.

Fermantasyon ve daha sonraki saflaştırma işlemlerinde kullanılan hammaddeler atıksu içerisinde de bulunmaktadır. Bu hammaddelerden fermantasyon aşamasında kullanılanlar karbonhidratlar (mısır unu, dekstrin, şeker, dekstroz), proteinler (soya unu, bitkisel proteinler, gluten), mineral tuzlar, amonyak, köpük gidericiler (bitkisel yağlar) dır. Ekstraksiyon safhasında kullanılan hammaddeler ise perlit (filtre yardımcı maddesi), sülfürik asit, hidroklorik asit, sodyum hidroksit, kuaterner amonyum tuzları, üre, aseton, metanol ve oksalik asittir (Ergenç ve diğ., 1992).



5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde çeşitli endüstriyel atıksuların biyolojik arıtımı ve kinetik modellenmesi ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar;

- Christ ve diğ. (2000), anaerobik süreçlerde hidroliz kademesinin matematik modelini incelemişlerdir. Yağların, proteinlerin ve karbonhidratların hidroliz sabitlerini ayrı ayrı tespit etmişlerdir.
- Sheng ve Cheng (2000), tekstil atık suyunun arıtım kinetiğini araştırmışlardır. Arıtım aktif karbon içeren akışkan yataklı reaktörde ozonlama ile gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon işleminde mekanizmanın birinci mertebe kinetiğe uyum sağladığı kabulü ile model denklem türetilmiştir.
- Elnekave (1999), anaerobik akışkan yataklı-laboratuvar ölçekli bir model reaktörde, yüksek konsantrasyonda formaldehit ve iso-propanol içeren (sentetik olarak hazırlanan) kuvvetli bir atıksuyun arıtılabilirliğini incelemiştir. Ayrıca bu çalışmada her bir substratın ve biyokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan ve önemli bir ara ürün olan asetik asidin tekli, ikili ve üçlü kombinasyonlarının değişik konsantrasyonlarda biyolojik ayrışabilirliği araştırılmış ve anaerobik respirometre cihazından elde edilen sonuçları, Haldane inhibisyon modelinde kullanılarak kinetik değerlendirme yapılmıştır.
- Münch ve diğ. (1999), kütle denkliklerinden ve literatürdeki kinetik verilerden yararlanarak anaerobik arıtım için model denklik geliştirmişlerdir.
- Yu ve diğ. (1998), soya fasülyesinin işlenmesi atıksuyunun anaerobik arıtımı ve kinetik analizlerini incelemişlerdir. Kinetik çalışmalarda ise Monod ve Stover-Kincannon modellerinden yararlanmışlardır. Arıtım işleminde Stover-

Kincannon kinetik modelinin yürüyüşü en iyi şekilde tanımladığı tespit edilmiştir. Arıtımda reaksiyon hız mertebesinin 1/2'inci (yarımınıcı mertebe) mertebeye uyum sağladığı tespit edilmiştir.

- Çiftçi (1997), ekmek mayası üretimi atıksuyunun anaerobik arıtımının matematik modellenmesini amaçladığı çalışmada, laboratuvarında elde edilen veriler ile endüstriyel verilerden yararlanarak, organik kirliliğin zamanla değişimini gösteren basit ve etkin bir model geliştirilirken yine Monod yaklaşımından yararlanmış ve modelin sabitlerini hesaplamıştır.
- Jeyaseelan (1997), anaerobik parçalanma süreci için basit bir matematik model geliştirmiştir. Bu çalışmada da Monod kinetiğinden yararlanılmıştır. Sürekli akış sisteminde mikroorganizmalar ve substrat konsantrasyonu üzerinden kütle denklıklarının kurulması ile model denklem oluşturulmuştur.
- Kiely ve diğ. (1997), organik atıkların anaerobik parçalanmasının fiziksel ve matematiksel modellenmesini araştırmışlardır. Modelin geliştirilmesinde her bir ara ürün için kütle denklığı kurulmuş ve bunlar birbirine bağlı olarak çözümlenerek model parametreleri tayin edilmiştir.
- Timur (1997), sızıntı sularının anaerobik olarak arıtılıp, arıtımın modellenmesi amacıyla yaptığı çalışmada Monod modeli ve substrat inhibisyonu modellerini kullanmış ve model denklem oluşturulup denklemin katsayılarını tespit etmiştir.
- Kınacı (1987), hammadde olarak odun kullanılan lif levha üretimi atıksularına ait kinetik sabitlerin tayini için, kararlı halde sürekli ve geri dönüşümlü çalışan reaktörden elde edilen deney sonuçlarını Monod modelinde kullanmıştır.
- Cimsit (1986), çalışmada kinetik modelin sabitlerinin saptanmasında iki farklı yöntem izlemiş bunun için kesikli ve sürekli sistemlerden faydalanmıştır. Her iki çalışmada da ilk geliştirilen Monod yaklaşımı modeline bağlı olarak organik madde konsantrasyonu KOİ ile ve mikroorganizma konsantrasyonu ise AKM ile ölçülerek kinetik sabitler hesaplanmıştır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde antibiyotik üretimi ile ortaya çıkan atıksuların özellikleri, uygulanan analiz yöntemleri ve deneysel çalışmaların yürütüldüğü düzenekler açıklandıktan sonra laboratuvar çalışmalarının sonucunda elde edilen veriler sunulacaktır.

6.1 Malzeme Ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan endüstriyel atıksuyun özellikleri Tablo 6.1’de sunulmuştur.

Tablo 6.1 Fako İlaçları A. Ş.’nin antibiyotik üretimi atıksuyunun özellikleri.

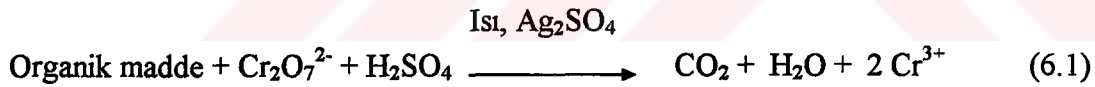
Özellik	Değer
KOİ (mg/L)	10.000 – 43.000
pH	7,75 – 10,62
TKM (mg/L)	16.800 – 23.800
UTKM (mg/L)	6.210 – 8.240
AKM (mg/L)	120 – 580
UAKM (mg/L)	100 – 560

6.1.1 Analiz Yöntemleri

Laboratuvarıda gerçekleştirilen bütün deneylerde başlangıç, bitiş anında ve tespit edilen zamanlarda, Standart Analiz Yöntemleri ile KOİ , Uçucu Yağ Asitleri (UYA), Toplam Katı Madde (TKM), AKM, Toplam Çözünmüş Katı Madde (TÇKM) ve Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM) parametreleri tespit edilmiştir (APHA, AWWA, WPCF, 1989).

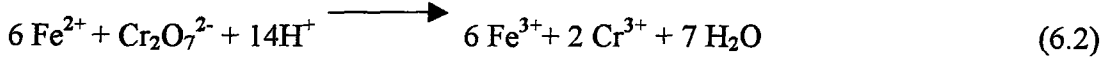
6.1.1.1 Kimyasal Oksijen İhtiyacı

Bir atığın KOİ'si atık içerisindeki organik maddelerin kuvvetli bir kimyasal yükseltgeyiciyle yükseltgenebilen kısmının oksijen eşdeğerinin ölçüsüdür. Bunun için atıksu numunesi geri soğutma altında iki saat süreyle gümüş sülfat katalizörlüğünde, sülfürik asit ve potasyum dikromat ile birlikte kaynatılır (150°C) ve indirgediği potasyum dikromat miktarı tespit edilir. Bu şartlar altında numunedeki karbonun büyük bir kısmı karbondioksit oksitlenirken hidrojen suya dönüşür. Organik maddenin oksitlenmesi sonucunda aşağıdaki reaksiyona göre dikromat üç değerli kroma dönüşür.



Bazı organik bileşiklerin oksitlenmesine yardım etmek için katalizör olarak gümüş sülfat (Ag₂SO₄) kullanılmaktadır. Klorür iyonlarının olumsuz etkisini ortadan kaldırmak için civa sülfat (HgSO₄) katılarak klorür kompleks halinde bağlanır. Reaksiyonda miktarı belli ve gereğinden fazla olan potasyum dikromat kullanılır. Reaksiyondan arta kalan potasyum dikromat, demir (II) amonyum sülfat (Fe(NH₄)₂(SO₄)₂) çözeltisi ile geri titre edilir ve organik maddenin yükseltgenmesinde harcanan potasyum dikromat kantitatif olarak tayin edilir. Potasyum dikromat fazlasının demir amonyum sülfat ile titrasyonu ferroin (1,10 – fenantrolin) indikatörüne karşı yapılır. Ortamda Cr (VI) tükendiği için, ilk damla

demir amonyum sülfat çözeltisindeki Fe^{2+} iyonları fazlası ferroinle koyu kırmızı renk verir.



KOİ değeri ,

$$\text{KOİ (mg O}_2 / \text{L)} = \frac{(\text{A} - \text{B}) \times \text{M} \times 8000}{\text{Numune hacmi (mL)}} \quad (6.3)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Bu eşitlikte,

A : Şahit deney için demir amonyum sülfat sarfiyatı, mL,

B : Numune için demir amonyum sülfat sarfiyatı, mL,

M :Demir amonyum sülfatın molaritesi

dir.

Hesaplanan bu değere göre atıksu içindeki organik madde içeriği hakkında bilgi edinilip, işlemin yürüyüşü takip edilir.

6.1.1.2 Uçucu Yağ Asitleri (UYA)

Uçucu yağ asitleri atmosfer basıncında distile edilebilen, suda çözünen yağ asitleri (altı karbon atomu içeren asitlere kadar) olarak bilinirler. Yüksek kaynama noktasına sahip olmalarına rağmen su ile karışımları distilasyonla ayrılabilir.

Distilasyon metodunda uçucu yağ asitleri asetik asit bazında hesaplanır. Anaerobik ayrıştırma işlemindeki kademeler arasındaki uyumu kontrol etmek amacı ile kullanılır.

Uçucu yağ asitlerinin tespiti için, sistemden alınan 5 mL numune 17.000 dev/dak hızla 5 dakika santrifüj edilir. Sıvı kısım 100 mL'ye seyreltilir ve 250 mL'lik distilasyon balonuna konur. Üzerine 100 mL saf su ve 5 mL (1+1) sülfirik asit

çözeltilisinden eklenir ve karışım distile edilir. Distilleme hızı 5 mL/dakika olacak şekilde ayarlanır. Hidrojen sülfür (H₂S) ve karbondioksitten gelen hataları engellemek için ilk 15 mL'lik distilat atılır. Sonra gelen 150 mL distilat toplanır ve fenolftalein indikatörü ile 0,1 N NaOH'e karşı titre edilir. Kalıcı pembe renk elde edildiğinde büretten NaOH sarfiyatı okunur. Asetik asit cinsinden uçucu yağ asitleri mg/L olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\text{UYA (mg/L)} = \frac{\text{NaOH sarfiyatı (mL)} \times N \times 60.000}{\text{Numune hacmi (mL)} \times f} \quad (6.4)$$

N : NaOH'in normalitesi,

f : Düzeltme faktörü.

Derişimi belli olan standart bir asetik asit çözeltisi ile aynı işlem yapılarak düzeltme faktörü (f) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$f = \frac{\text{Distilattan geri kazanılan asit miktarı (mg/L)}}{\text{Standart çözeltideki asit miktarı (mg/L)}} \quad (6.5)$$

6.1.1.3 Katı Maddeler

Atıksu içinde bulunan organik ve inorganik bileşenler hem çözünebilen hem de çözünmeyen halde bulunurlar. Atıksu içindeki bu maddeler üç tipte tanımlanırlar: Askıda Katı Madde, Toplam Çözünmüş Katı Madde ve Uçucu Askıda Katı Madde. Toplam Katı Madde, Askıda Katı Madde ile Toplam Çözünmüş Katı Maddenin toplamı olarak bilinir. Askıda Katı Madde ile Toplam Çözünmüş Katı Maddenin birbirinden ayrılmasında, kullanılan filtre kağıdının gözenek çapı önemli bir faktördür. Süzme sonunda filtre kağıdı üzerinde hem organik hem de inorganik

maddeleri içeren bir katı kalır. Ancak filtre kağıdı 550⁰C'ye ısıtıldığında organik maddeler yanar ve uzaklaşır; geriye kül olarak inorganik kısım kalır.

- **Toplam Katı Madde (TKM)**

Alınan numune, sabit tartıma getirilmiş kroze içinde 105⁰C'daki etüvde kurutulur (yaklaşık 2-3 saat) ve desikatörde soğutulur. Sabit tartıma gelince hassas terazide tartılır. Aşağıdaki şekilde hesaplama yapılır.

$$\text{TKM (mg/L)} = \frac{(A - B) \times 1.000}{\text{Numune hacmi (mL)}} \quad (6.6)$$

A : Kurutulup, desikatörde soğutulmuş numune ve krozenin toplam ağırlığı (mg),

B : Boş krozenin ağırlığı (mg).

- **Askıda Katı Madde (AKM)**

Numune, vakum altında 105⁰C'da sabit tartıma getirilmiş Milipor AP40 filtre kağıdından süzülür. Daha sonra filtre kağıdı 105⁰C'da etüvde kurutulur ve desikatörde soğutulur. Sabit tartıma gelince hassas terazide tartılır. Aşağıdaki şekilde hesaplama yapılır.

$$\text{AKM (mg/L)} = \frac{(A - B) \times 1.000}{\text{Numune hacmi (mL)}} \quad (6.7)$$

A : Kurutulup, desikatörde soğutulmuş filtre kağıdı ve kalan katı maddenin toplam ağırlığı (mg),

B : Filtre kağıdı ağırlığı (mg).

- **Toplam Çözünmüş Katı Madde (TÇKM)**

AKM tayininden elde edilen süzüntü fazı sabit tartıma gelmiş kroze konur ve 180⁰C'da etüvde kurutulur. Desikatörde sabit tartıma gelince hassas terazide tartılır.

$$\text{TÇKM (mg/L)} = \frac{(A - B) \times 1.000}{\text{Numune hacmi (mL)}} \quad (6.8)$$

- A : Kurutulup, soğutulmuş kroze ve içindeki katı madde ağırlığı (mg),
B : Boş krozenin ağırlığı (mg).

- **Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM)**

AKM analizinden alınan kurutulmuş numune 550⁰C'da 30 dakika bekletilir. Daha sonra desikatöre alınıp soğutulur ve sabit tartıma gelince hassas terazide tartılır.

$$\text{UAKM (mg/L)} = \frac{(A - B) \times 1.000}{\text{Numune hacmi (mL)}} \quad (6.9)$$

- A : 550⁰C'da bekletilip desikatörde soğutulan filtre kağıdı ve üzerinde kalan katı maddenin ağırlığı (mg),
B : AKM analizinden alınan 105⁰C'da kurutulmuş filtre kağıdı ve katı maddenin ağırlığı (mg).

- **Uçucu Toplam Katı Madde (UTKM)**

Uçucu Askıda Katı Madde analizinde olduğu gibi TKM analizinden sonra 105⁰C'da kurutulmuş kroze içindeki katı madde ile 550⁰C'da 30 dakika tutulduktan sonra desikatörde soğutulup hassas terazide tartılır. Başlangıç ve sonuçtaki ağırlık farkları yardımı ile uçucu madde miktarı tespit edilir.

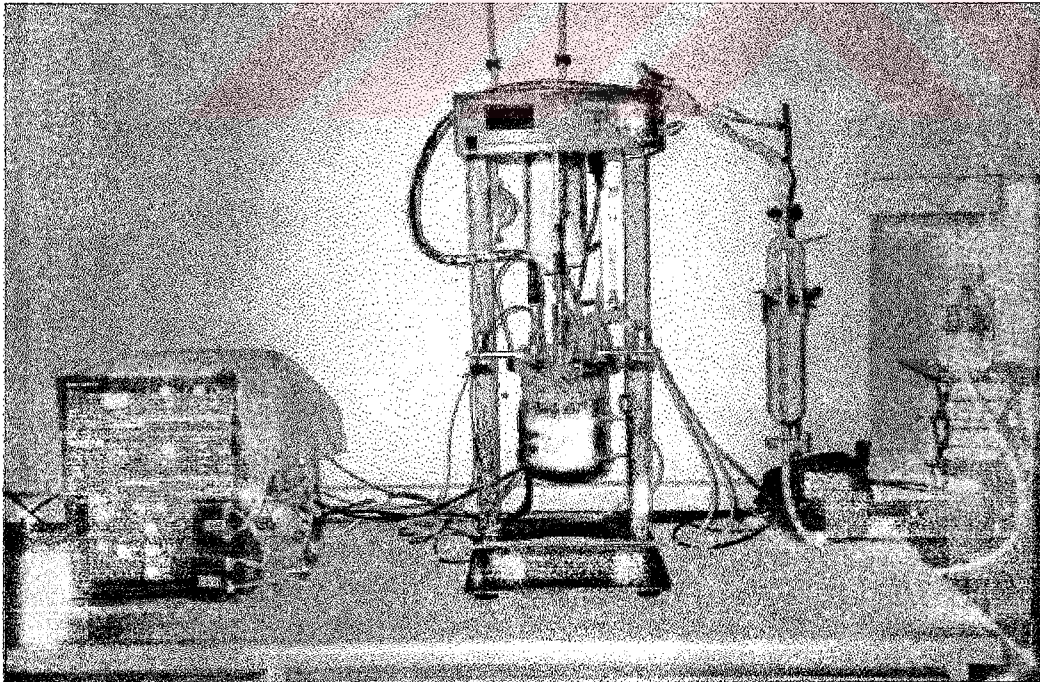
6.1.2 Deney Düzenekleri

Deneysel alışmalar 2,5 litre hacmindeki bir fermentörde ve çalkalamalı su banyosu içindeki 300 mL'lik erlenmayerlerde gerçekleştirilmiştir.

6.1.2.1 Fermentörlü Anaerobik Arıtma Düzeneği

şekil 6.1'de gösterilen karıştırıcılı, pH ve sıcaklık kontrollü bioreaktör ve biogaz toplama kabından oluşan sistemin özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

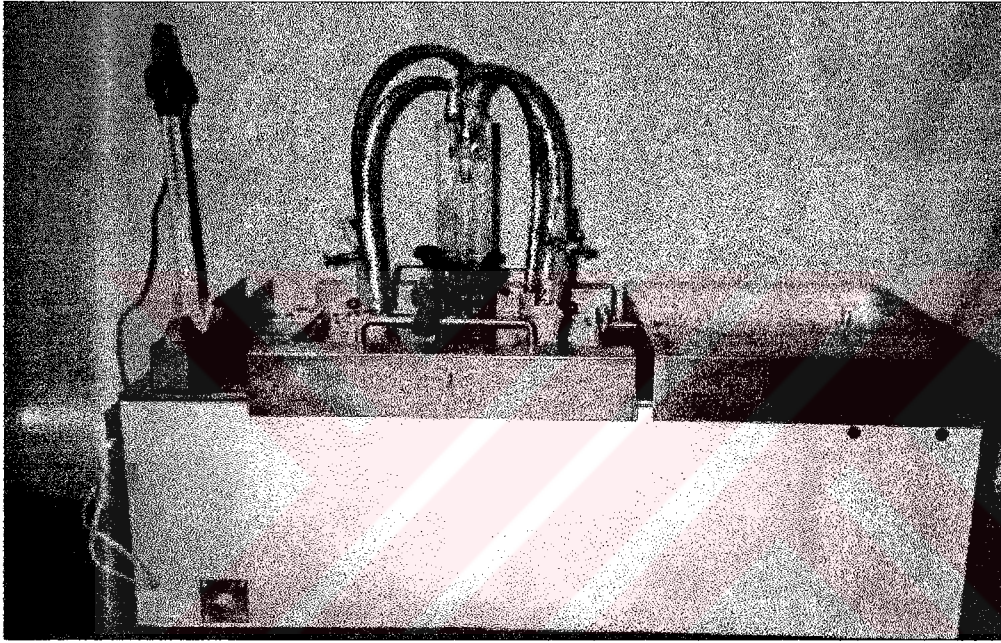
Marka ve Model:	Elektrolab
Reaktör malzemesi:	Cam
Toplam hacim :	2,5 L
Çalışma hacmi:	1,5 L
pH:	1 N NaOH ve 1 N HCl ile 6,5 - 7,5 aralığında tutulmuştur.
Sıcaklık:	37 ± 1 �C
Karıştırma hızı:	150 dev/dk
Besleme tipi:	Kesikli



şekil 6.1 Fermentörlü deney düzeneğinin akım şeması.

6.1.2.2 Çalkalamalı Su Banyolu Düzenek

Clifton marka ileri - geri çalkalamalı su banyosunda, $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta çalışılmıştır. Banyo içerisine 300 mL hacmindeki erlenmayerler yerleştirilmiştir. Erlenmayerlerin ağızları iki deliğı olan tıplar ile kapatılmıştır. Tıpa deliklerinden birisine geçirilen ve sıvıya dalan cam boru numune alma ve pH ayarlama amacıyla, diğeri ise biogazı dışarı alma amacı ile kullanılmıştır. Biogazın çıktığı borunun ucu ağızı açık su dolu bir kaba daldırılmış böylece sistemin hava ile teması kesilmiştir (şekil 6.2).



şekil 6.2 çalkalamalı su banyolu deney düzeneğı.

6.2 Deneyler

İlaç atıksuyunun anaerobik arıtılması sırasında, KOİ değeriinin azalışının matematik modelini ortaya koyabilmek için, bu değeriin zamana karşı değeriimi gözlenmiştir. Bu nedenle başlangıçta çeşitli KOİ değeriine sahip sentetik karışımlar hazırlanmış, mikroorganizmalar için gereken besinler ve aktif çamur ilave edilerek, pH 7,0'ye ayarlanmış ve arıtım gerçekleştirilmiş, KOİ'nin zamana karşı değeriimi gözlenmiştir. Çözelti ile aktif çamurun karışıtrıldığı an başlangıç anı olarak alınmıştır. Daha sonraki deneyler Fako İlaçları A. ř.'den temin edilen atıksu (Fako Atıksuyu) ile s rd r lm ştir.

Arıtım işlemlerinde kullanılan Pakmaya/Kocaeli (Pakmaya Aktif Çamuru) ve Fako İlaçları A. Ş. (Fako Aktif Çamuru) Aktif Çamurunun karakteristik özellikleri Tablo 6.2’de ve çalışmalarda mikroorganizmaların besin maddesi gereksinimlerini karşılamak için kullanılan Multivitamin-Multimineral Formula Forte isimli vitamin tabletinin bileşimi Tablo 6.3’de verilmiştir.

Çeşitli kaynaklarda arıtım işleminde mikroorganizmanın gerek duyduğu besin bileşimi ile ilgili bilgiler mevcuttur (Adams ve McKinney, 1989; Elnekave, 1999; Visser ve diğ., 1993; Weiland ve Rozzi, 1991). Besi yerinde bulunması gereken bileşenlerden biri olan çinkonun zehirlilik sınırının altında kalmak koşulu ile hesaplamalar yapılmış ve 24,5 mg/L olacak şekilde vitamin ilave edilmiştir (Lin, 1993; Mualler ve Steiner, 1992).

Tablo 6.2 Aktif çamurların karakteristik özellikleri.

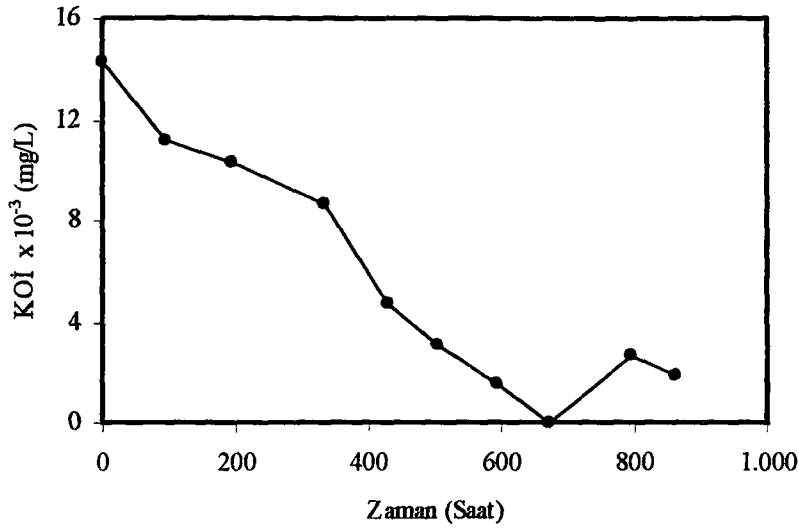
Aktif Çamur	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UTKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	KOİ (mg/L)
Pakmaya	75.800 - 182.100	28.400 - 107.600	57.900 - 163.000	18.540 - 57.700	78.667 - 228.333
Fako	4.200- 22.360	1.200 -5.460	2.200-6.200	700 -3.720	0-7.395

Tablo 6.3 Kullanılan vitaminin bileşimi (Tablet Başına; Tablet Ağırlığı =1.500 mg)

Beta-Carotene (A Vitamini)	3,000 IU
Vitamin A	2.000 IU
Vitamin E	30 IU
Vitamin C	90 mg
Folik Asit	0,4 mg
Vitamin B-1 (Tiyamin Mononitrat)	2,25 mg
Vitamin B-2 (Riboflavin)	3,2 mg
Niacinamide	40 mg
Vitamin B-6	3 mg
Vitamin B-12	9x10 ⁻³ mg
Vitamin D	400 IU
Biotin	45x10 ⁻³ mg
Pantothenic Asid	10 mg
Kalsiyum (Fosfat ve Karbonatlar halinde)	175 mg
Fosfor (Kalsiyum Fosfat)	125 mg
İyod (Potasyum İyodür)	0,15 mg
Demir	10 mg
Magnezyum (Magnezyum Oksit)	100 mg
Bakır	2 mg
Mangan (Mangan Sülfat)	5 mg
Potasyum (Potasyum Klorür)	40 mg
Klor (Potasyum Klorür)	36 mg
Krom	25 x10 ⁻³ mg
Molibden	25 x10 ⁻³ mg
Selenyum	25 x10 ⁻³ mg
Çinko (Çinko Sülfat)	15 mg
Nikel (Nikel Sülfat)	5 x10 ⁻³ mg
Kalay	10 x10 ⁻³ mg
Vanadyum	10 x10 ⁻³ mg
Silikon	10 x10 ⁻³ mg

6.2.1 Şahit Deney

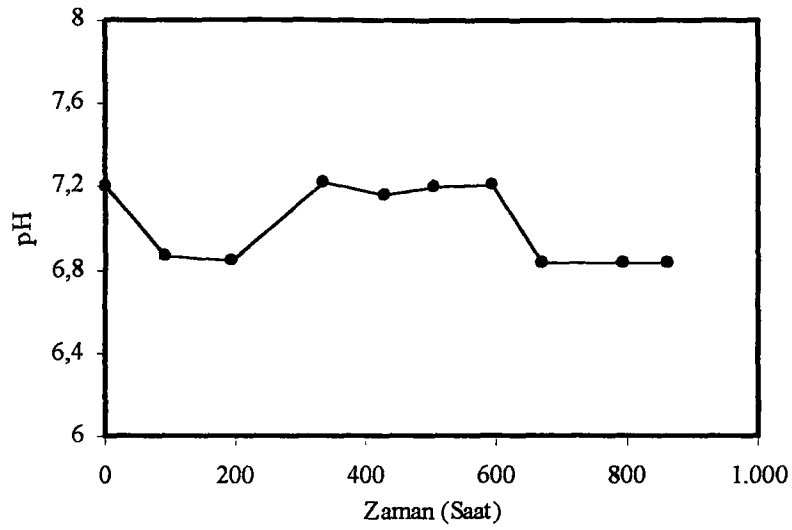
Aktif çamurun beslenme olanağı bulunmadığı durumda, KOİ değerinin nasıl değişeceğini görmek amacıyla, Pakmaya/Kocaeli A. Ş.'den temin edilen 72 mL Aktif Çamur 1.000 mL su eklenmiş oksijensiz ortamda 37 ± 1 °C'da fermentörde işleme sokulmuş ve çeşitli zamanlarda numuneler alınıp süzüntüde KOİ değerleri ölçülmüştür. Bu çalışmada başlangıçtaki AKM değeri 5.700 mg/ L ve UAKM değeri ise 1.980 mg/ L olarak bulunmuştur.



Şekil 6.3 Şahit deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ = 14.257 mg/L).

Şekil 6.3'den görüleceği gibi biyokütleden çözeltiye geçen organik maddeler nedeniyle başlangıçtaki süzüntü KOİ değeri 14.257 mg O₂/L dir. Deney başladıktan sonra geçen 670 saatte bakteriler bu organik maddeleri kullanarak KOİ değerini sıfıra indirmişlerdir. Ancak, süzüntü KOİ değeri bir süre sonra muhtemelen biyokütledeki hücrelerin parçalanması sonucunda tekrar artış göstermiştir. Parçalanmış hücreler diğerleri için besin kaynağı olmuştur.

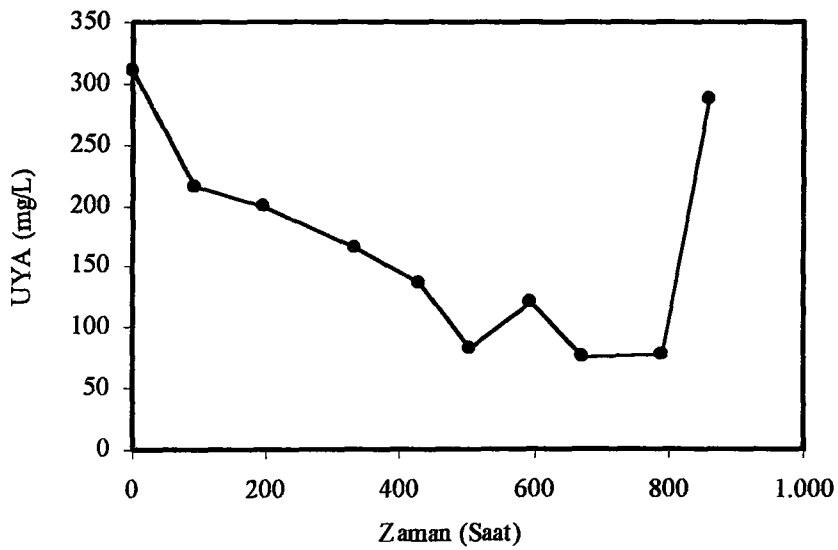
Şekil 6.4'den de görüldüğü üzere, pH değerlerinde önce hızlı bir düşüş saptanmıştır. pH değeri 6,8 ile 7,2 arasında değişmektedir. pH değerinin düşmesi çamurla gelen organik maddelerin, mikroorganizma faaliyetleri nedeniyle uçucu yağ asitlerine dönüşmesinden kaynaklanmaktadır.



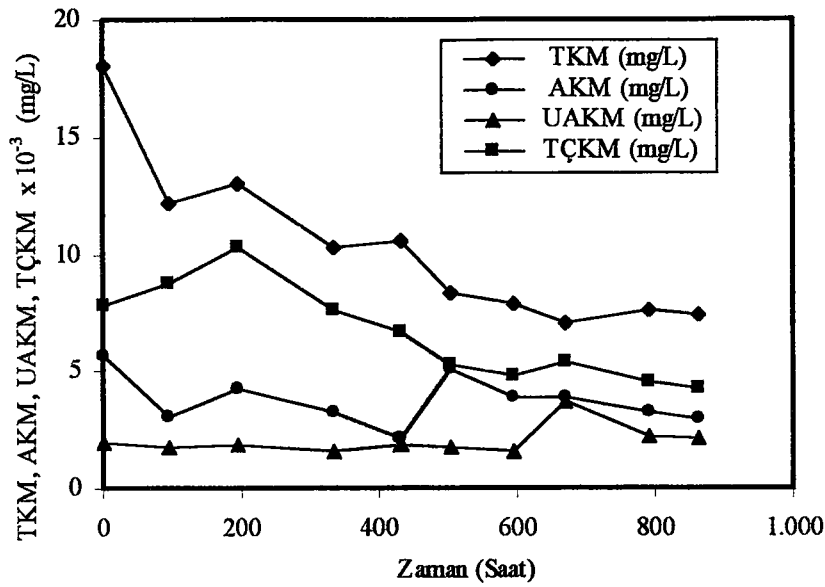
Şekil 6.4 Şahit deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ= 14.257 mg/L).

Şekil 6.5’de uçucu yağ asitleri değerinin arıtım boyunca 50 ile 300 mg/L değerleri arasında salınım yaptığı görülmektedir.

Yapılan denemede, katı madde miktarlarındaki değişimler Şekil 6.6’da görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi bu parametreler arasındaki değişimler uyum içindedir.



Şekil 6.5 Şahit deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 14.257 mg/L).



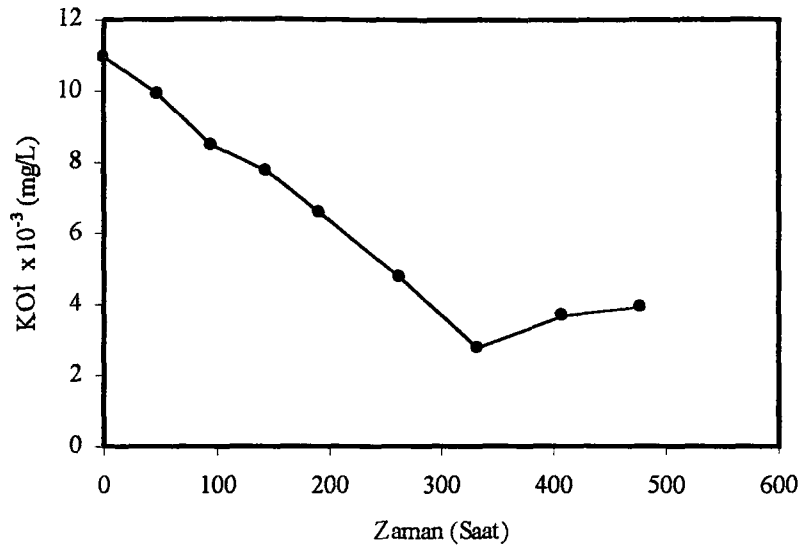
Şekil 6.6 Şahit deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimleri (Başlangıç KOİ= 14.257 mg/L).

6.2.2 Çalkalamalı Su Banyosunda Yapılan Deneyler

Başlangıç KOİ değerlerinde değişikliklerin sistemi nasıl etkilediğini görmek için çalkalamalı su banyosunda 37 ± 1 °C'de, pH 6,5 - 7,5 aralığında deneyler yapılmıştır. Bu çalışmalarda 300 mL'lik 8 adet erlenmayer havasız reaktör olarak kullanılmıştır. Tüm çalışmalarda uçucu askıda katı madde miktarı da yaklaşık olarak 2.500 mg/L olması sağlanmıştır. Zamana karşı elde edilen değerler ile çizilen grafikler aşağıda sunulmuştur (Deneylerde tespit edilen tüm değerler Ek A'da sunulmuştur).

- Birinci Grup Deneyler

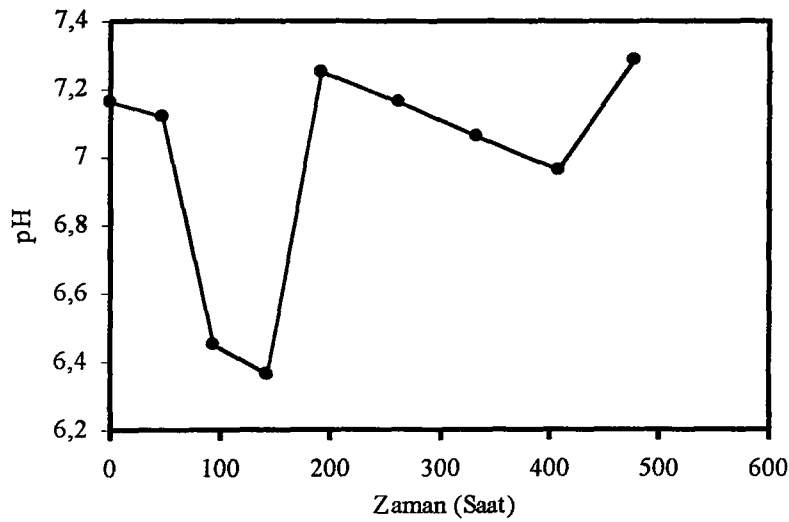
Yapılan ilk grup denemelerde, başlangıç KOİ değeri 10.961 mg/L olarak hazırlanmış sentetik çözelti yukarıda belirtilen koşullarda anaerobik arıtıma tabi tutulmuştur. Şekil 6.7'de arıtımın yürüyüşü esnasındaki KOİ değişimi sunulmuştur.



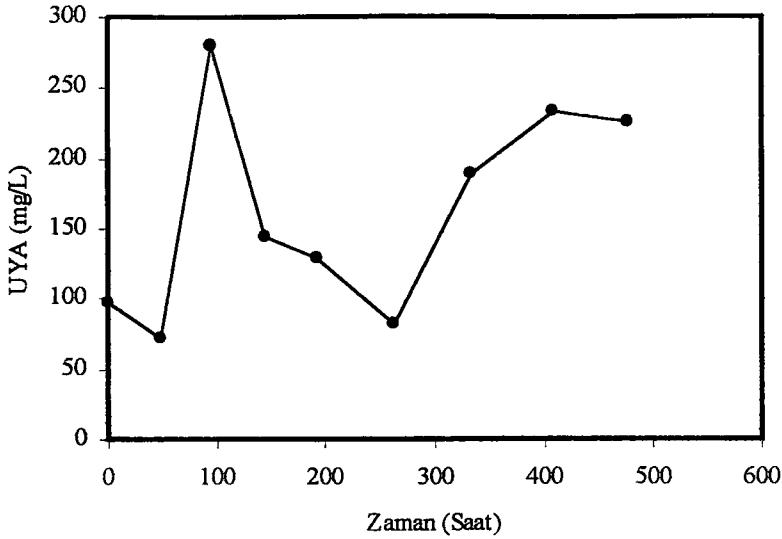
Şekil 6.7 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ=10.961 mg/L).

Şekil 6.7'den de anlaşılacağı gibi yaklaşık 333 saatte başlangıçtaki KOİ'nin %74'ü giderilmiş, bu süreden sonra sistemde salınım başlamıştır.

Şekil 6.8 ve 6.9'dan pH ve UYA miktarının belirli sınırlar içinde salınım yaptığı görülmektedir.

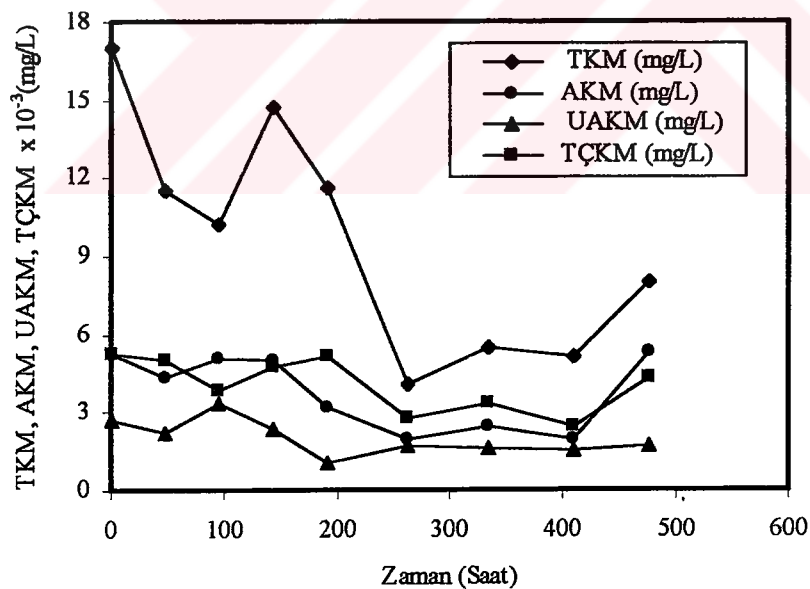


Şekil 6.8 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ=10.961 mg/L).



Şekil 6.9 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ=10.961 mg/L).

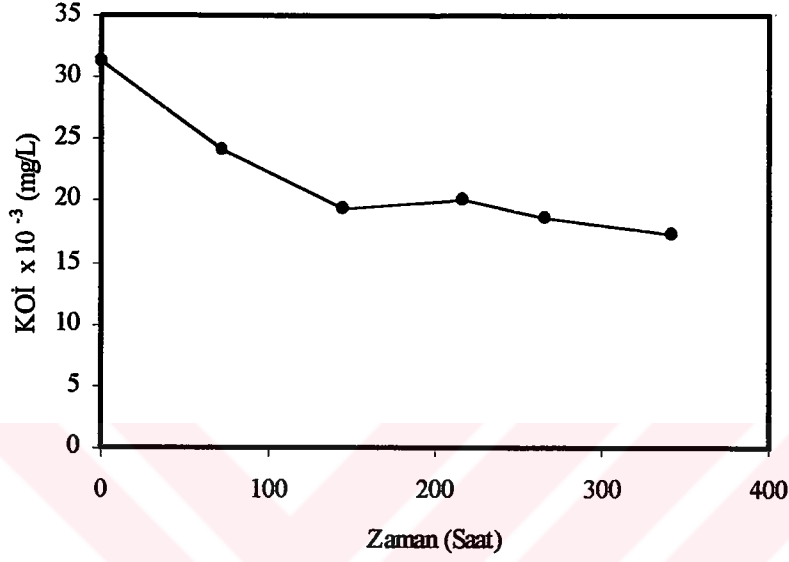
Sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneydeki katı madde miktarlarının değişimi Şekil 6.10’da görülmektedir.



Şekil 6.10 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ=10.961 mg/L).

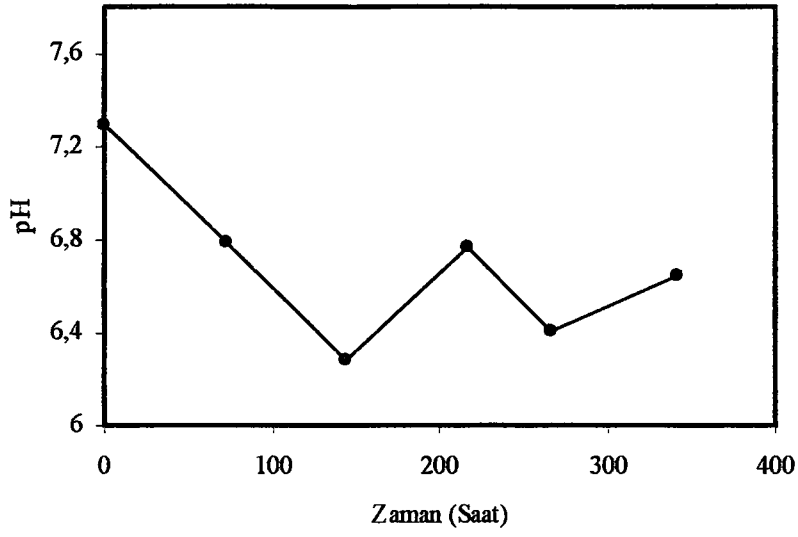
- İkinci Grup Deneyler

Sentetik çözeltiler ile yapılan ikinci grup deneylerde, başlangıç KOİ değeri 31.284 mg/L olan çözelti uygun koşullarda arıtıma tabi tutulmuş ve Şekil 6.11’de işlemin yürüyüşü sırasındaki KOİ değişimi sunulmuştur.

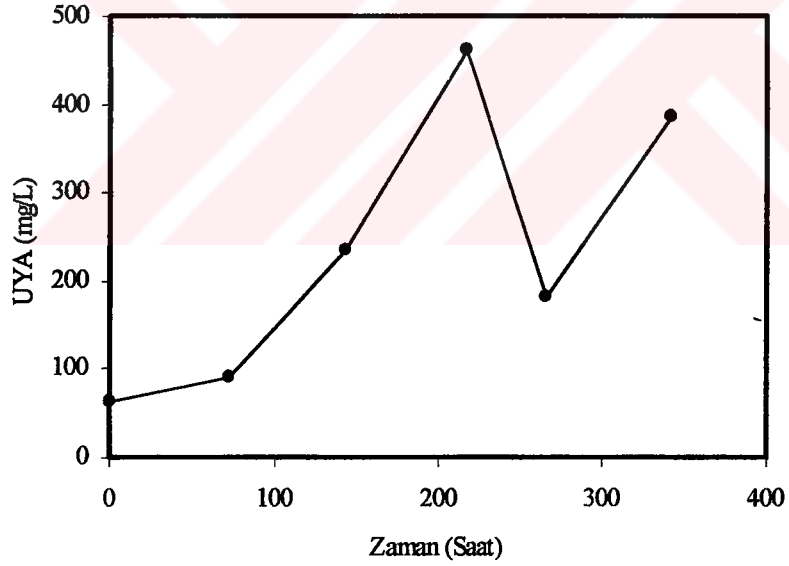


Şekil 6.11 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ=31.284 mg/L).

Şekil 6.11’deki verilerden 342 saatte mevcut KOİ’nin %45’nin giderildiği gözlenmiştir. pH ve UYA değerleri değişimleri de Şekil 6.12 ve 6.13’ de görülmektedir.

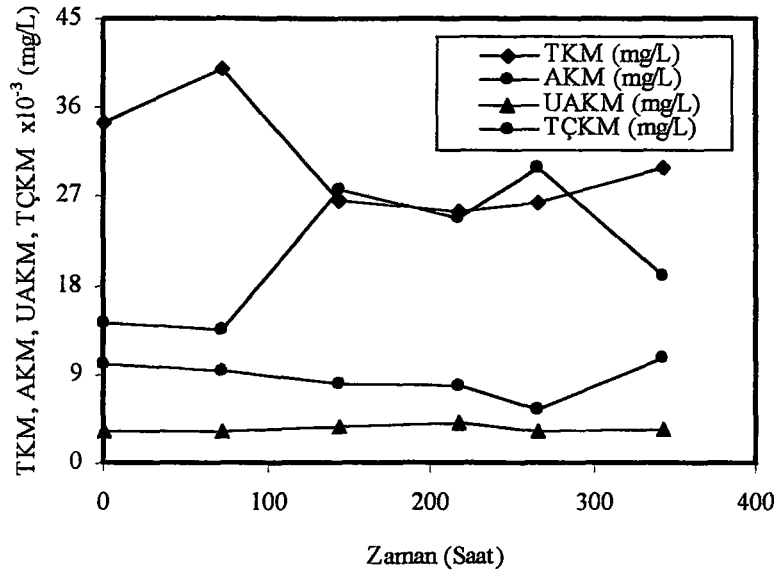


Şekil 6.12 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ=31.284 mg/L).



Şekil 6.13 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ=31.284 mg/L).

Gelişme evresinde başlangıçta biyokütle içindeki organik maddelerin sıvıda çözümleri neticesinde TÇKM ve TKM miktarlarındaki azalma Şekil 6.14'den görülmektedir.

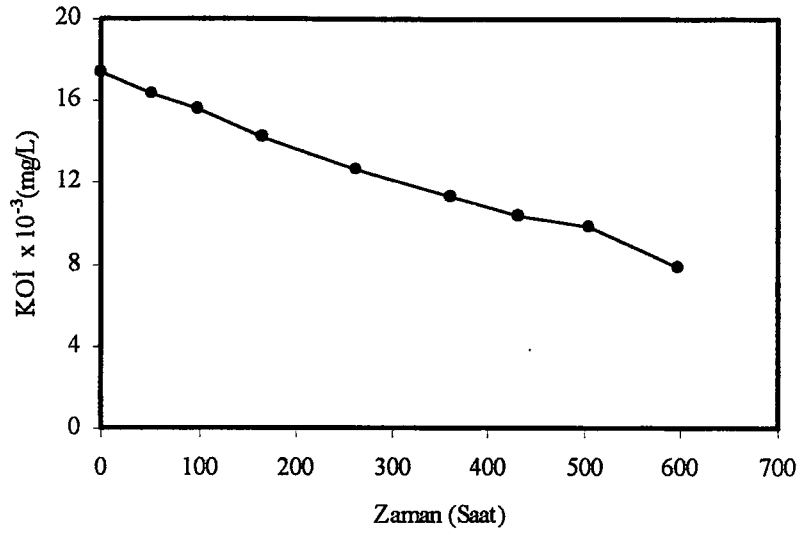


Şekil 6.14 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ=31.284 mg/L).

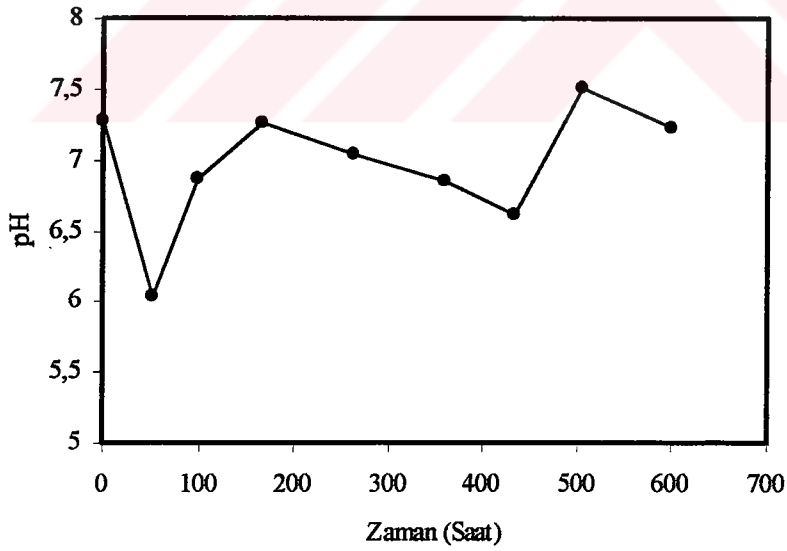
- Üçüncü Grup Deneyler

17.359 mg/L başlangıç KOİ değerine sahip olan sentetik çözeltinin artımı süresince KOİ değerindeki değişim Şekil 6.15'den görülmektedir. Bu şekle göre başlangıç KOİ'si 598 saatte %55 giderilmiş ancak salınım noktası tam belirlenemediği için bu deneyler dördüncü grup çalışmada tekrar edilmiştir.

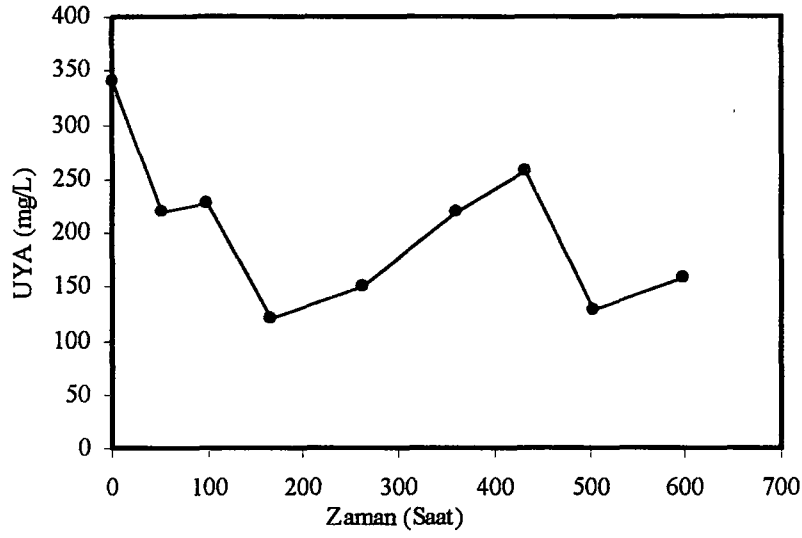
Uçucu yağ asitleri grafiğinden, alıştırma evresinin başlangıcında UYA'nın bakteriler tarafından kullanılarak azaldığı ve sonra asit bakterilerinin faaliyete geçmesi nedeniyle arttığı görülmektedir. Hızlandırılma evresinde ise metan oluşumu nedeniyle artış hızı düşmektedir. pH değişimi ise UYA'a bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu değişimler Şekil 6.16 ve 6.17'de görülmektedir.



Şekil 6.15 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ=17.359 mg/L).

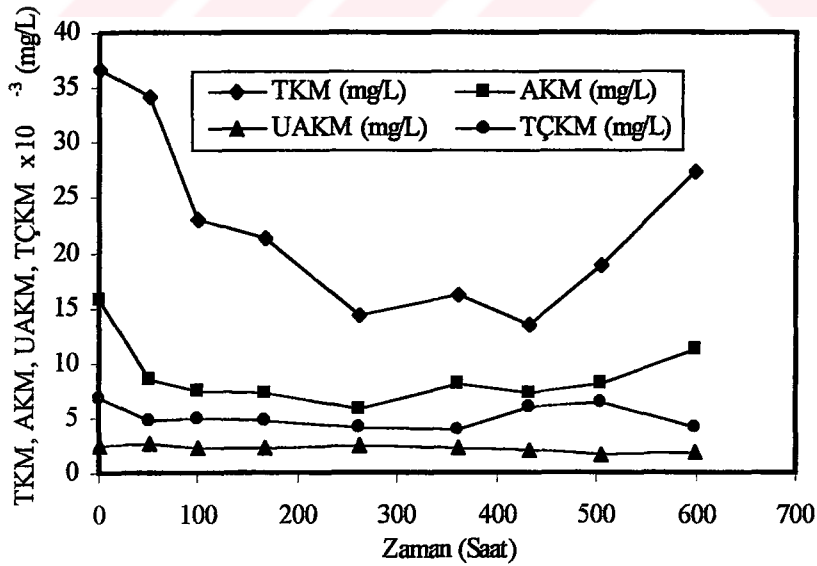


Şekil 6.16 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ=17.359 mg/L).



Şekil 6.17 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ=17.359 mg/L).

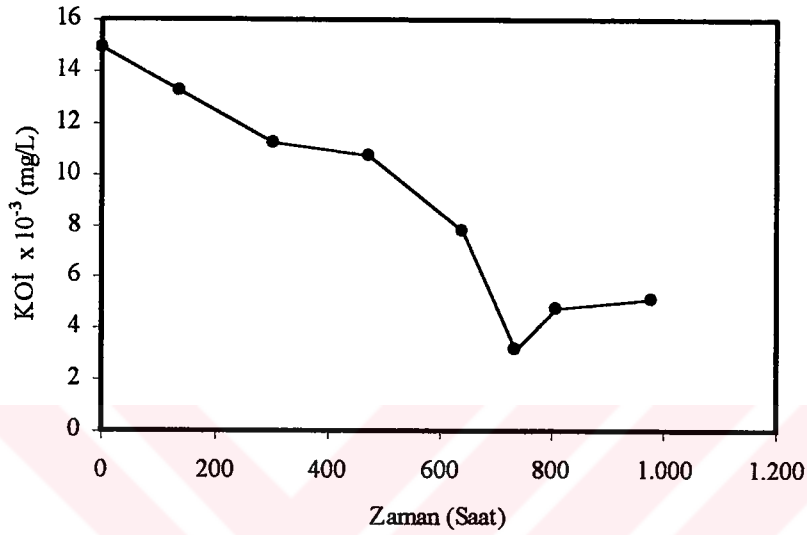
Şekil 6.18’de başlangıç KOİ değeri 17.359 mg/L olan çözelti ile yapılan anaerobik arıtmada katı madde miktarlarındaki değişimler sunulmuştur.



Şekil 6.18 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ=17.359 mg/L).

- Dördüncü Grup Deneyler

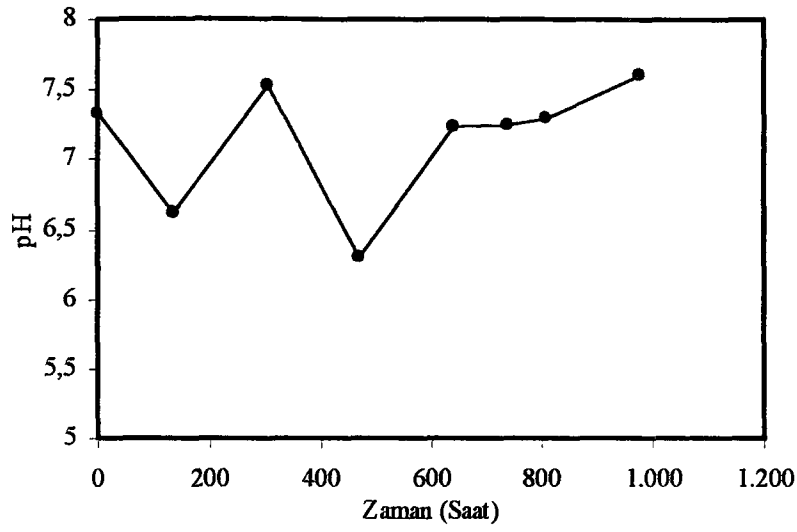
Dördüncü grup deneyde 14.933 mg/L KOİ'ye sahip sentetik çözelti ile anaerobik arıtım gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.19'da bu arıtımın zamana karşı KOİ değişimi görülmektedir.



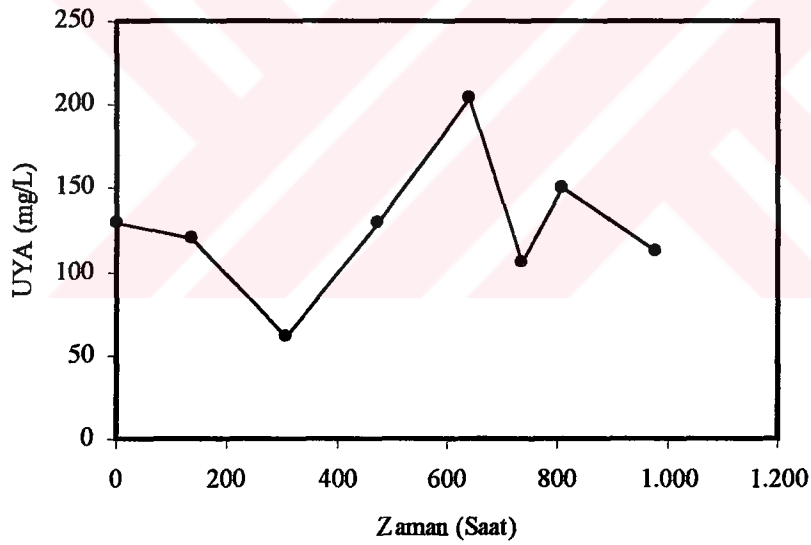
Şekil 6.19 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ=14.933 mg/L).

Şekil 6.19'dan da görüldüğü gibi 735 saat sonra mevcut KOİ'nin %79'u giderilmiştir. Bu zamandan sonra KOİ değeri tekrar parçalanan hücreler nedeni ile artış göstermiştir. Sonuçlar, salınım süresi hariç birinci grup deneylerinkine benzemektedir.

Şekil 6.20 ve 6.21'de pH ve UYA miktarlarındaki değişimler sunulmuştur.

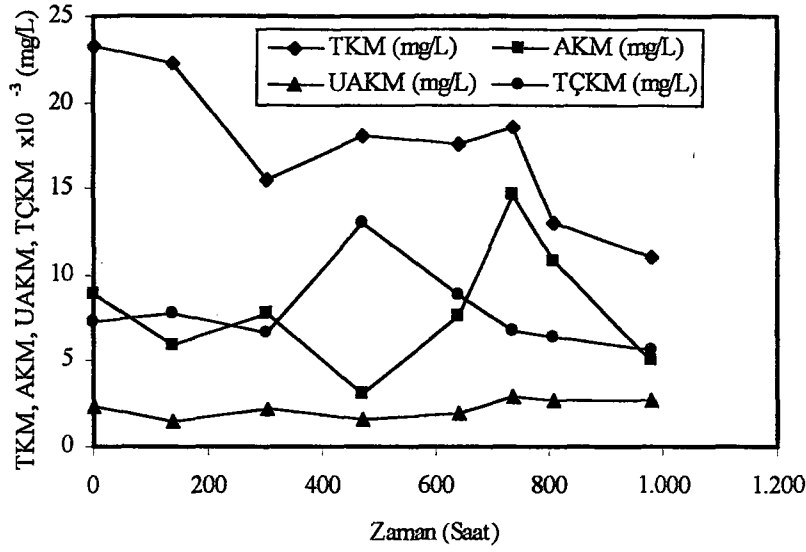


Şekil 6.20 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ=14.933 mg/L).



Şekil 6.21 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ=14.933 mg/L).

Şekil 6.22'den deneyin yürüyüşü sırasındaki katı madde miktarlarındaki değişiklikler görülmektedir.



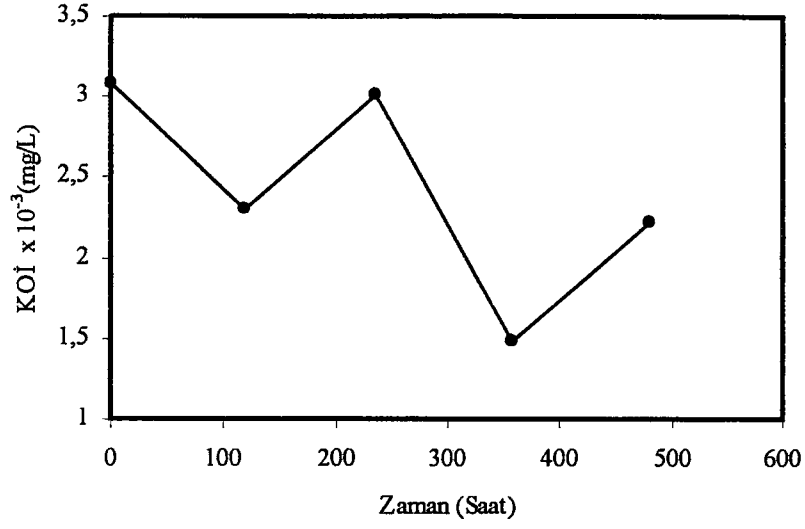
Şekil 6.22 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ=14.933 mg/L).

Gerçekleştirilen 1 - 4. grup deneyler sonucunda, ortamda giderilemeyen yaklaşık 2.000 mg/L KOİ değerine sahip bir organik kirliliğin varlığı tespit edilmiştir. Bu nedenle mevcut inert KOİ değerini tespit edebilmek ve düşük KOİ'ye sahip atıksuyun arıtımının seyrini incelemek için iki deney daha yapılmıştır. Başlangıçta yaklaşık 5.000 mg/L KOİ'ye sahip sentetik çözeltiler hazırlanarak çalkalamalı su banyosunda 37 ± 1 °C de arıtma işlemine tabi tutulmuştur. Bu çalışmalarda UAKM değeri yaklaşık 1.200 mg/L'dir.

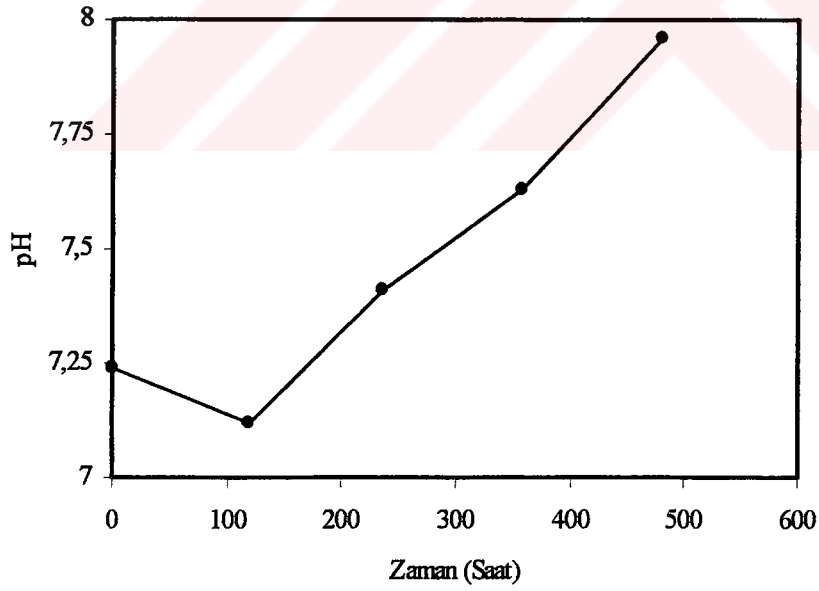
- Beşinci Grup Deneyler

Başlangıç KOİ değeri 3.077 mg/L olan çalışmanın KOİ değişim grafiği Şekil 6.23'de görülmektedir.

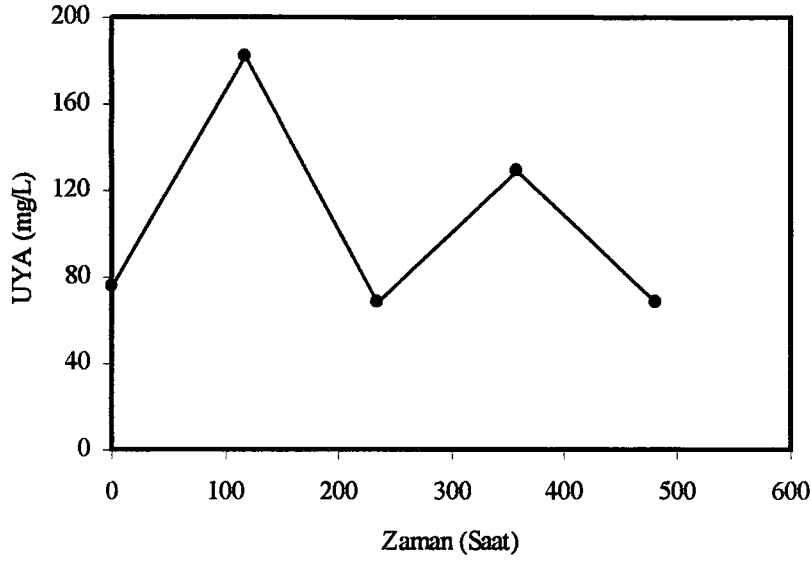
Yürütülen bu çalışmada pH değeri 7 civarında salınım yapmıştır (Şekil 6.24). pH değerindeki bu uyumlu değişikliği Şekil 6.25'de sunulmuş olan UYA grafiğindeki değerlerden (50 mg/L civarı) görmek mümkündür. UYA için bu değerler inhibisyona neden olmayan alt limit değeri olup sistemin uyumlu çalıştığının da göstergesidir.



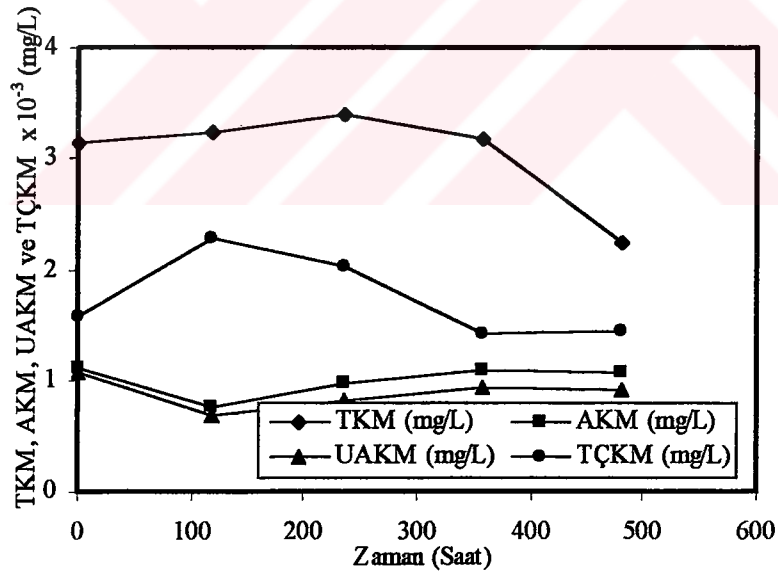
Şekil 6.23 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ=3.077 mg/L).



Şekil 6.24 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ=3.077 mg/L).



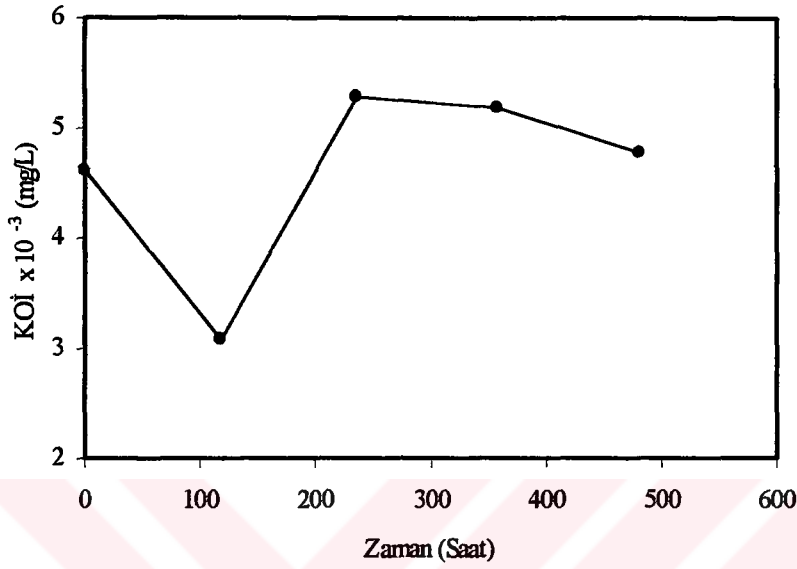
Şekil 6.25 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ=3.077 mg/L).



Şekil 6.26 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ=3.077 mg/L).

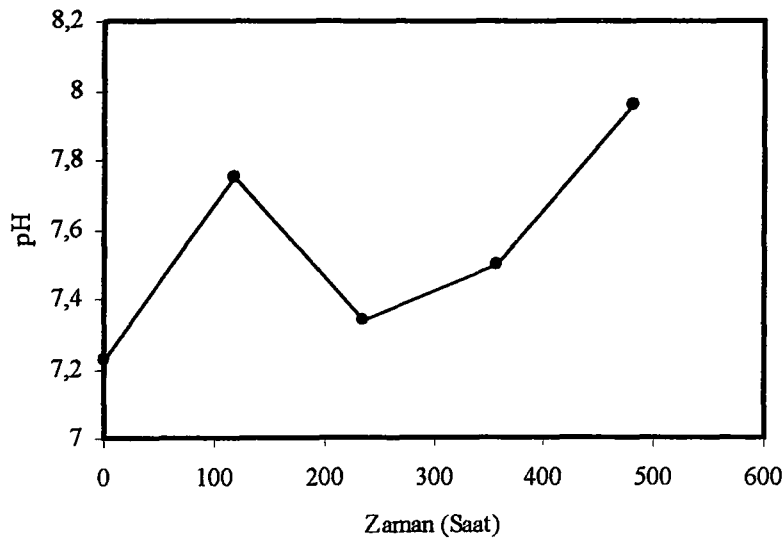
- Altıncı Grup Deneyler

Başlangıç KOİ değeri 4.615 mg/L olan çalışmanın KOİ'si yaklaşık 5 günde azalma göstermiş ve daha sonra artmıştır. Şekil 6.27'den bunu görmek mümkündür.

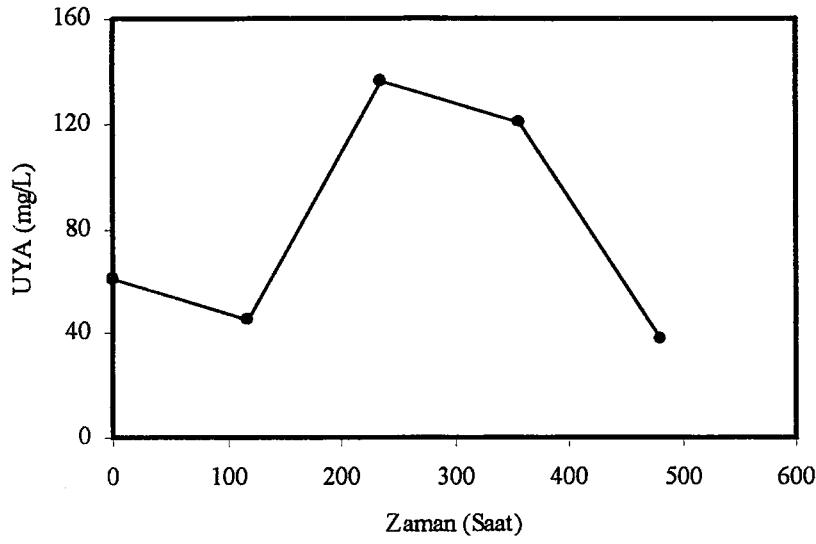


Şekil 6.27 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ=4.615 mg/L).

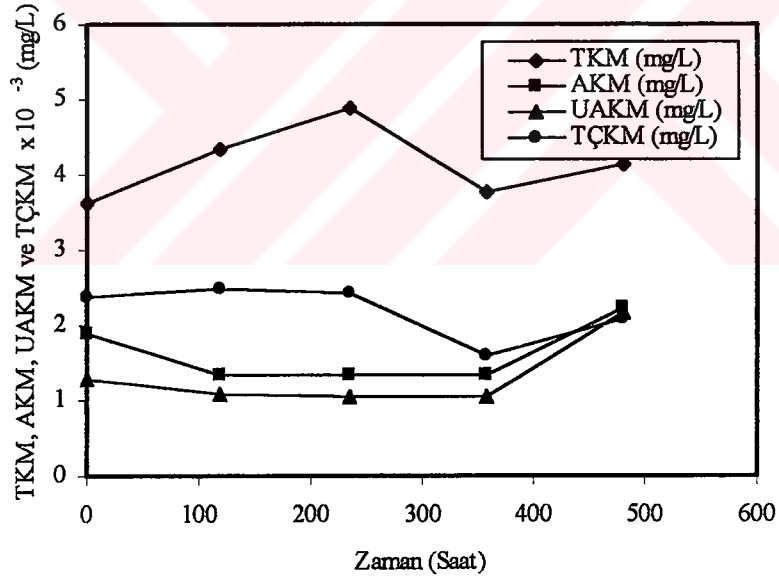
Şekil 6.28 - 30'daki değerlerde önemli bir değişiklik görülmemiştir. Bu değerlerin uyum içinde olduğunu şekillerden de görmek mümkündür.



Şekil 6.28 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ=4.615 mg/L).



Şekil 6.29 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ=4.615 mg/L).



Şekil 6.30 Sentetik olarak hazırlanan çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ=4.615 mg/L).

Yapılan beşinci ve altıncı grup deneylerin sonuçları ilk dört grup deney sonuçlarını destekler niteliktedir.

Bundan sonraki deneyler, laboratuvarımızda mevcut olan ancak arıza nedeni ile kullanamadığımız sıcaklık ve pH kontrolünün otomatik olarak gerçekleştirildiği fermentörde yapılmıştır.

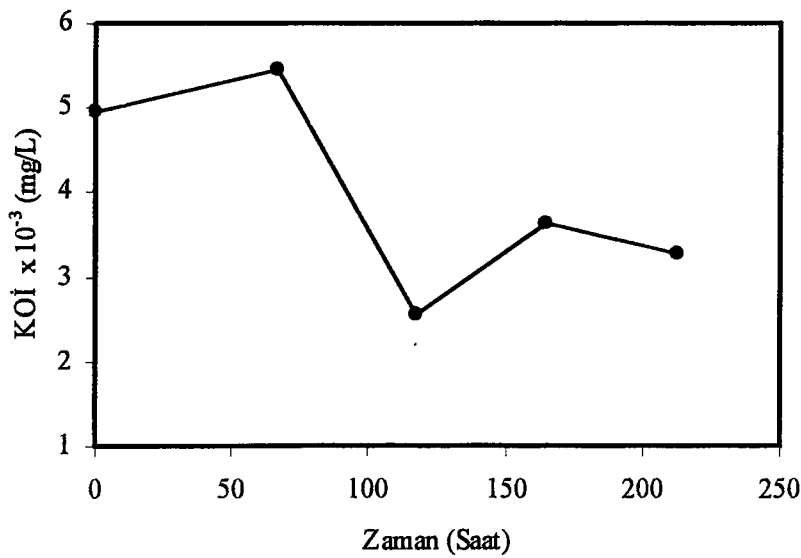
6.2.3 Besin Maddesi Konsantrasyonunun Ve Aktif Çamurun Arıtım Deneylerine Etkisi

Tüm arıtım işleminde saf su ile yapılan şahit deneme hariç ortamda giderilemeyen inert bir KOİ değeri tespit edilmiş ve arıtım veriminin artırılması (inert KOİ değerinin düşürülmesi) için besin maddesi konsantrasyonunun ve aktif çamurun arıtım deneylerine etkisi araştırılmıştır. Gerçekleştirilen bu deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- **Besin Maddesi Konsantrasyonunun Etkisi**

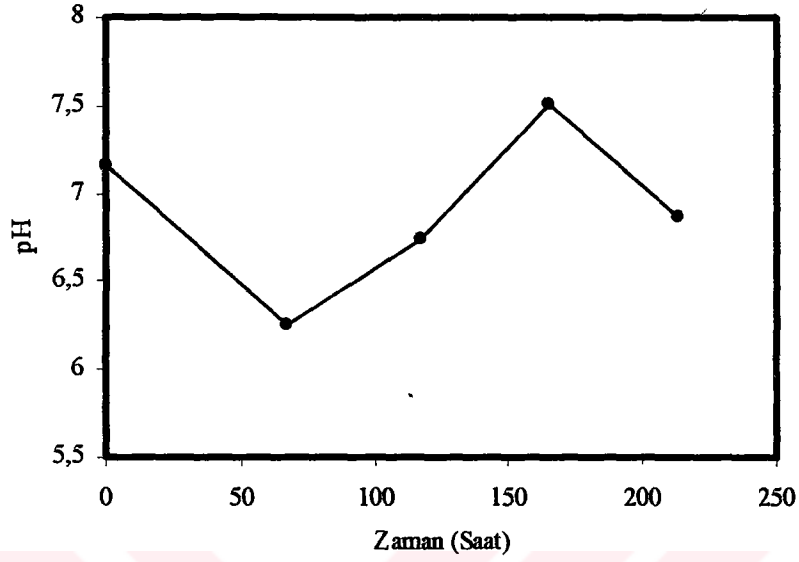
- **Besin Maddesi İlavesiz Arıtım Deneyleri**

Başlangıç KOİ değeri 4.954 mg/L olarak hazırlanan sentetik çözelti besin maddesi ilave edilmeden havasız ortamda $37 \pm 1^\circ\text{C}$ ve pH 6,5 - 7,5 aralığında arıtıma tabii tutularak, belirli zamanlarda alınan numunelerin süzöntüsünde tayin edilen KOİ değerleri zamana karşı grafiğe geçirilmiştir. Bu grafik Şekil 6.31’de görülmektedir.

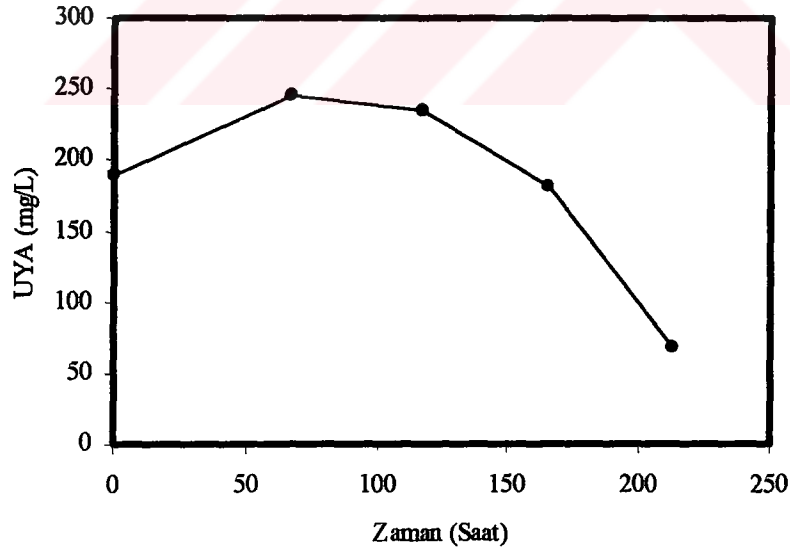


Şekil 6.31 Besin maddesi içermeyen, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 4.954 mg/L).

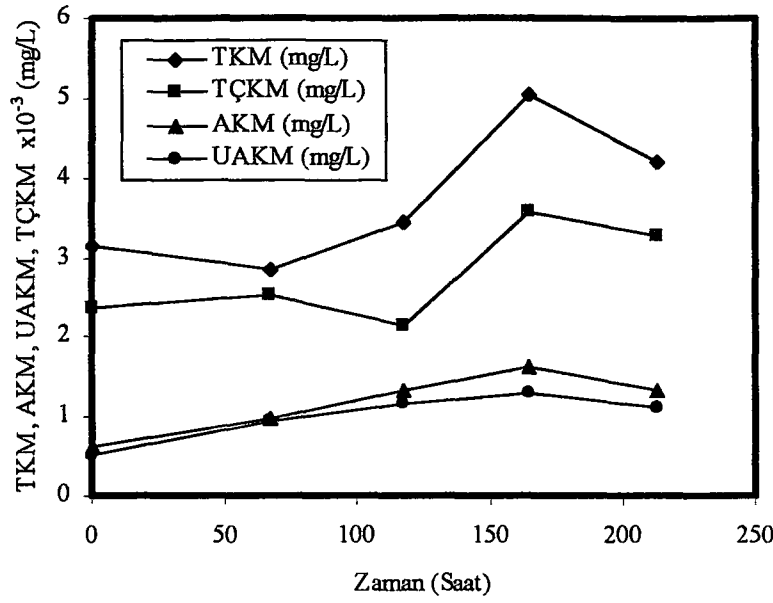
Şekil 6.32 ve 6.33'den artım esnasındaki pH ve UYA miktarındaki değişmelerinin uygun sınırlar içinde salınım yaptığı görülmektedir.



Şekil 6.32 Besin maddesi içermeyen, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ= 4.954 mg/L).



Şekil 6.33 Besin maddesi içermeyen, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 4.954 mg/L).



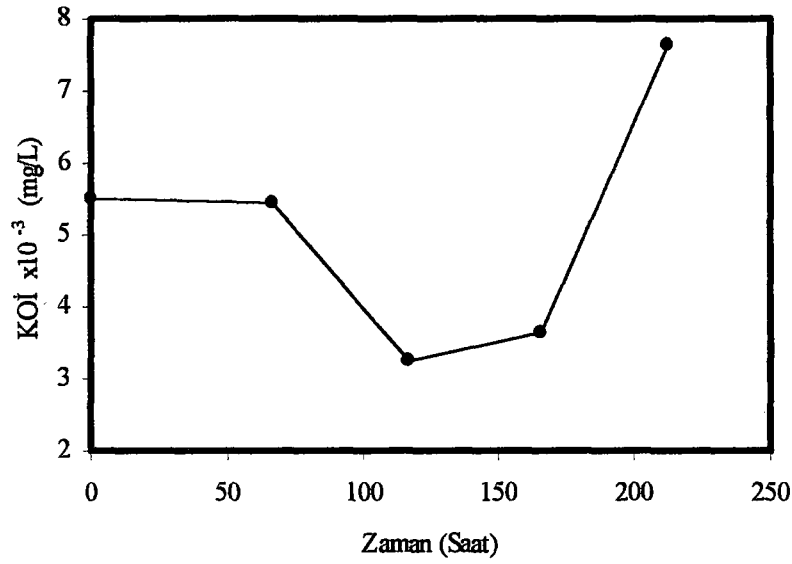
Şekil 6.34 Besin maddesi içermeyen, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ= 4.954 mg/L).

Sentetik olarak hazırlanmış ve besin maddesi içermeyen çözeltinin arıtım işleminde katı madde miktarlarının değişimi Şekil 6.34’de görülmektedir. Şekilden de anlaşılabacağı gibi bu parametreler arasındaki değişimler kendi aralarında uyumludur.

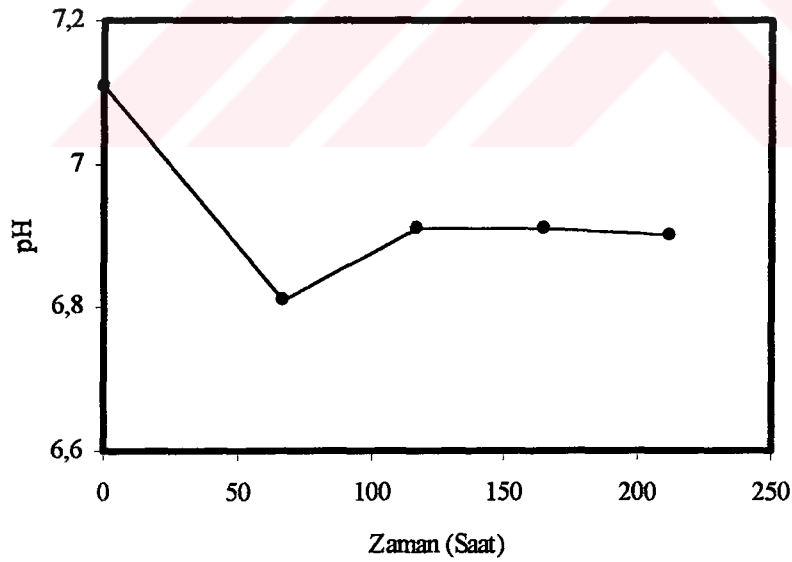
- Besin Maddesi Konsantrasyonunun İki Katı Olması Durumunda Gerçekleştirilen Arıtım Deneyleri

Başlangıç KOİ değeri 5.505 mg/L olan ve normaldeki miktarının iki katı besin maddesi içeren (49,1 mg/L vitamin) çözelti $37 \pm 1^\circ\text{C}$ ve pH 6,5 - 7,5 aralığında anaerobik arıtıma tabi tutulmuştur. KOİ’nin zamanla değişimi Şekil 6.35’de görülmektedir.

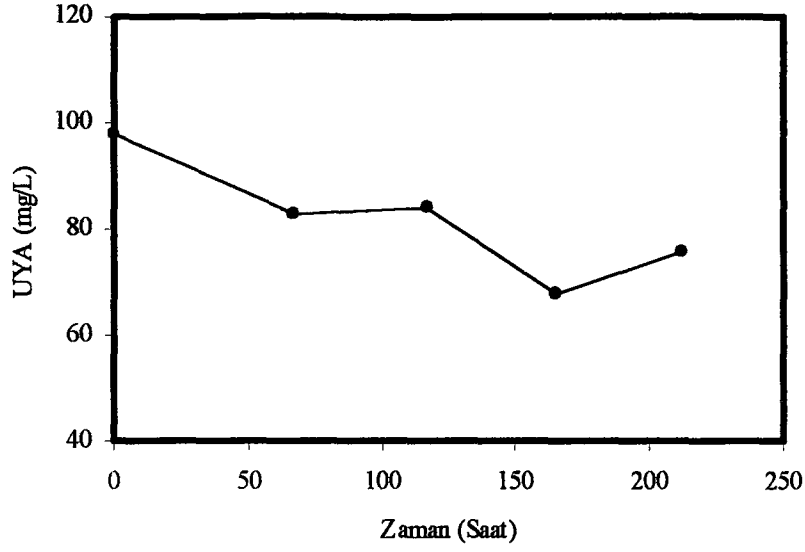
Şekil 6.36 ve 6.37’de arıtımın yürüyüşü esnasındaki pH ve UYA miktarındaki değişimler görülmektedir.



Şekil 6.35 49,1 mg/L vitamin içeren, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 5.505 mg/L).

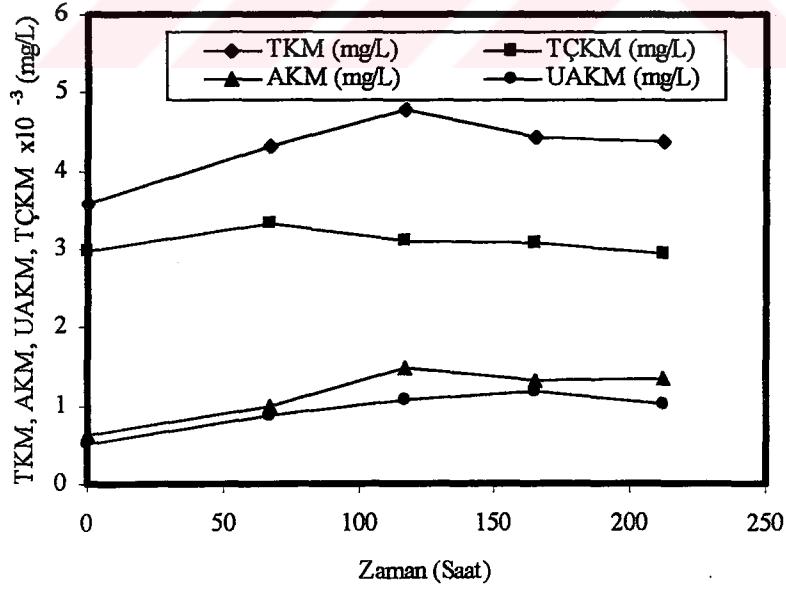


Şekil 6.36 49,1 mg/L vitamin içeren, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ= 5.505 mg/L).



Şekil 6.37 49,1 mg/L vitamin içeren, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 5 505 mg/L).

Arıtım işlemi esnasında katı madde miktarlarındaki değişimleri Şekil 6.38'den incelemek mümkündür.



Şekil 6.38 49,1 mg/L vitamin içeren, sentetik olarak hazırlanmış çözelti ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ= 5.505 mg/L).

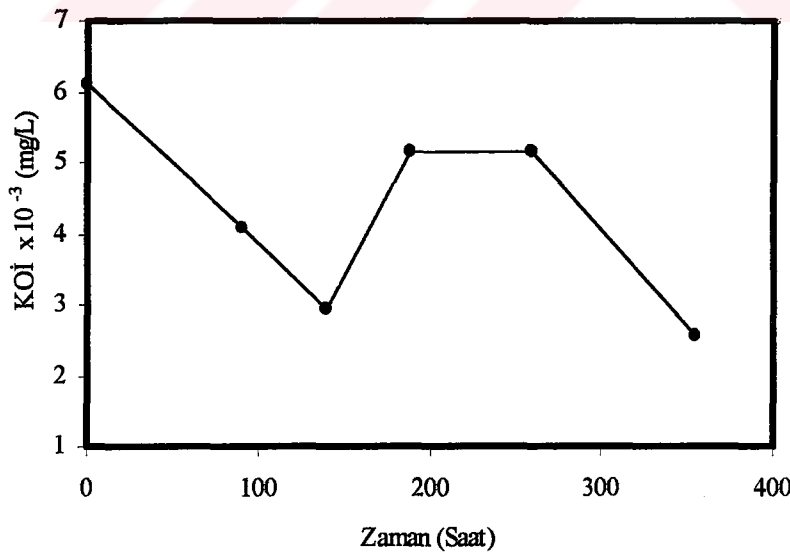
İnert KOİ değerinin düşürülmesi (arıtım veriminin artırılması) amacı ile besin maddesinin etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonucunda, ortama ilave edilen besin maddesi konsantrasyonunun mevcut inert KOİ'yi gidermede etkili olmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle bundan sonraki deneyler başlangıç besin konsantrasyonlarında yani 24,5 mg/L vitamin içerecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kullanılan aktif çamurun etkisini de görmek amacı ile Fako İlaçları A.Ş.'den temin edilen aktif çamur ile deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- **Aktif Çamurun Etkisi**

- **Fako Aktif Çamuru İle Yapılan Arıtım Deneyleri**

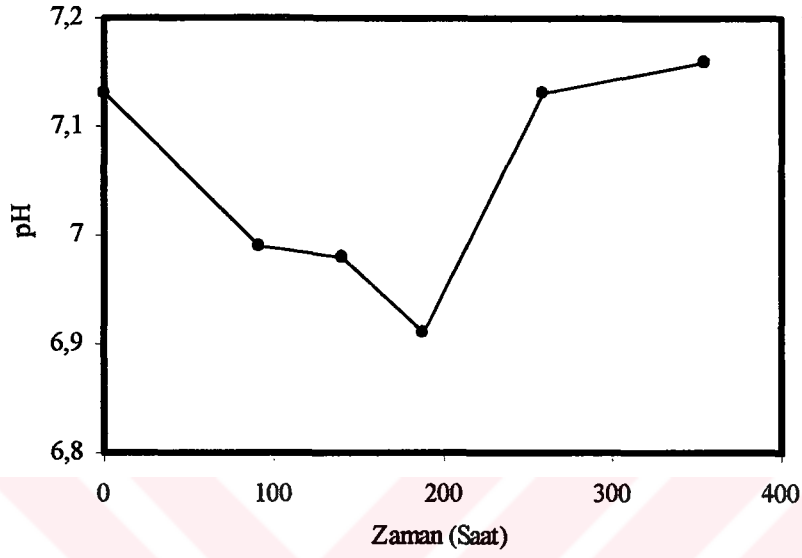
Fako aktif çamuru ve Pakmaya aktif çamuru kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Fako İlaçları A. Ş.'den temin edilen daha önce Tablo 6.1'de özellikleri sunulmuş olan atıksuya, Fako aktif çamuru ilavesi ile yapılan arıtmada KOİ değişimi Şekil 6.39'da görülmektedir.

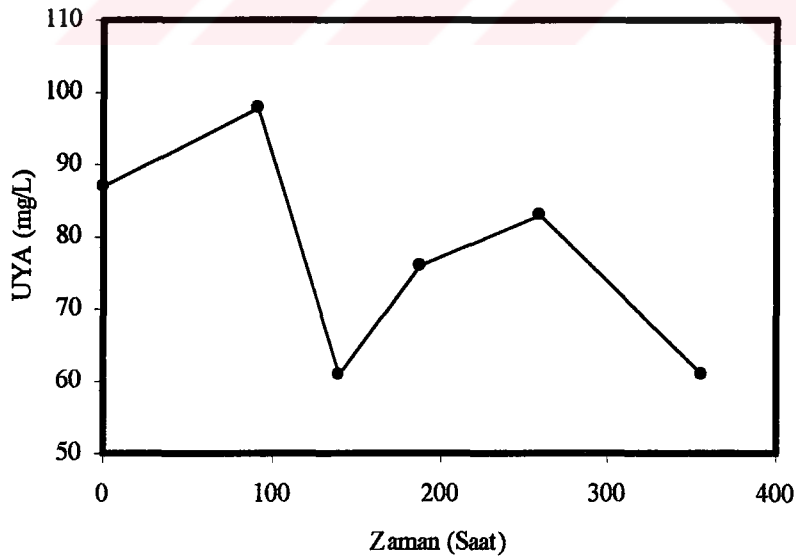


Şekil 6.39 Fako Atıksuyu ve Aktif Çamur ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 6.102 mg/L).

Şekil 6.40'dan de görüleceği gibi pH değeri nötr ortam civarında salınım yapmıştır. Buna bağlı olarak da Şekil 6.41'de de görüldüğü gibi UYA değeri fazla yükselmemiştir.

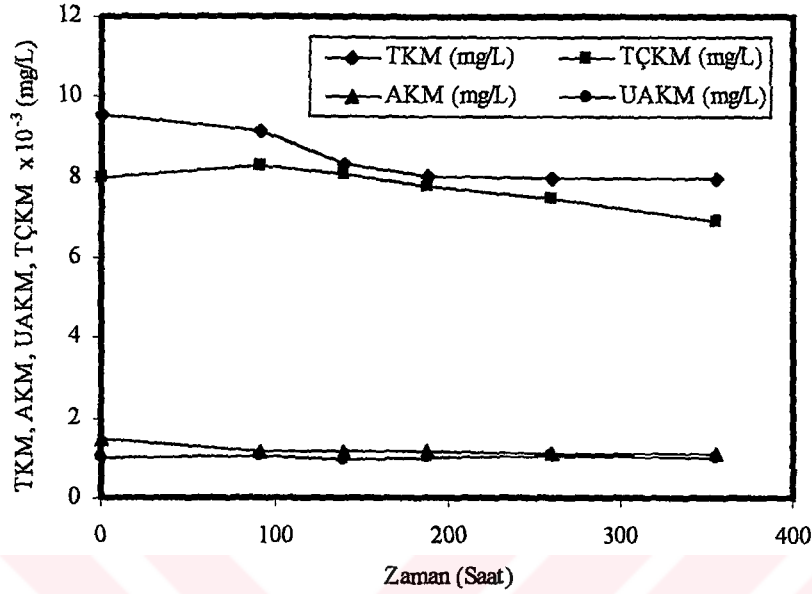


Şekil 6.40 Fakö Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde pH değışimi (Başlangıç KOİ= 6.102 mg/L).



Şekil 6.41 Fakö Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde UYA değışimi (Başlangıç KOİ= 6.102 mg/L).

Şekil 6.42’de deneyin yürüyüşü sırasında katı madde miktarlarındaki değişiklikler görülmektedir.

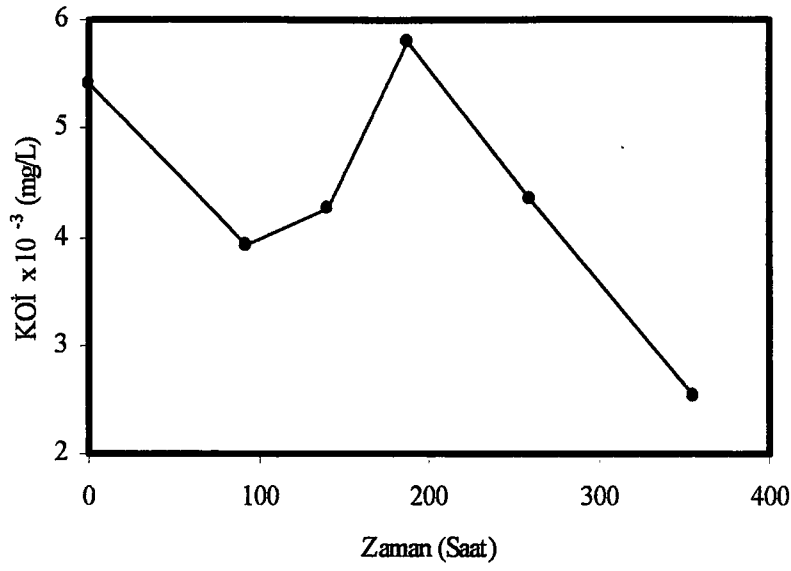


Şekil 6.42 Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ= 6.102 mg/L).

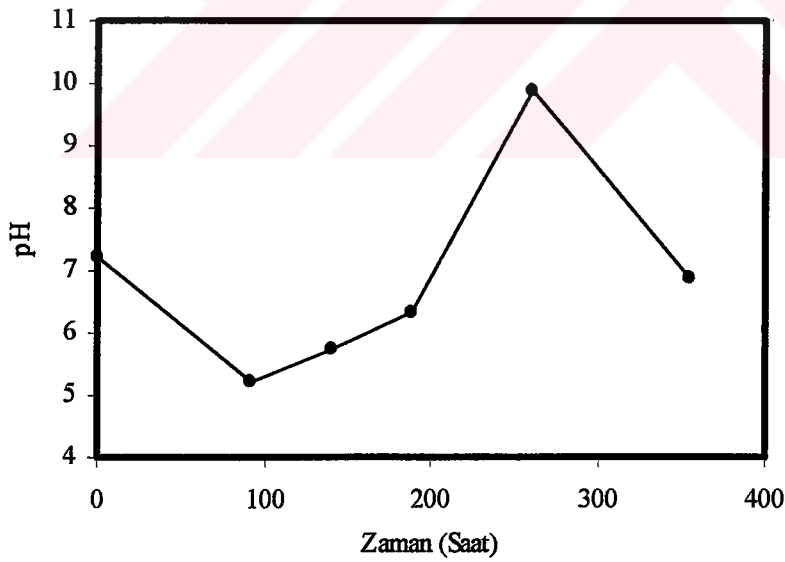
- Pakmaya Aktif Çamuru İle Yapılan Arıtım Deneyleri

Bir önceki deney grubu ile tamamen aynı koşullara ve özelliklere sahip ancak arıtımı yürüten çamuru farklı olan deney serisinde elde edilen KOİ değerlerindeki değişim Şekil 6.43’de verilmiştir.

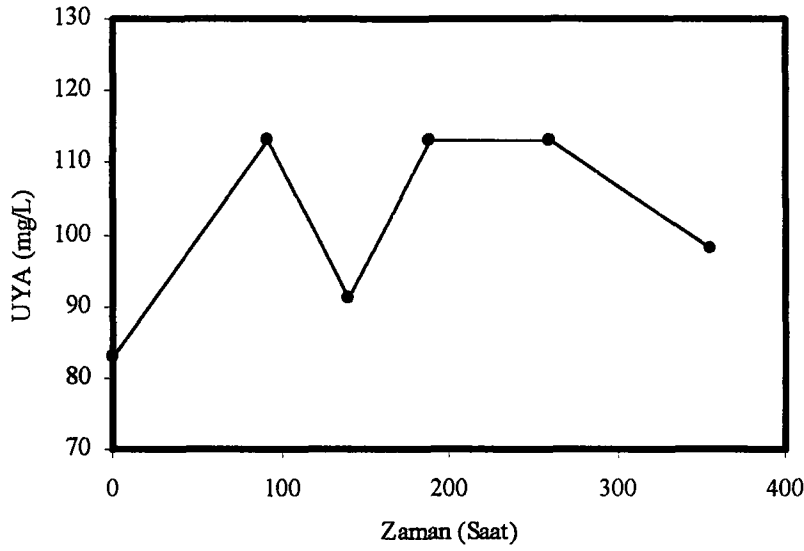
Deneyin yürüyüşü esnasındaki pH ve UYA miktarındaki değişme Şekil 6.44 ve 6.45’de sunulmuştur. Anaerobik arıtım işlemindeki katı madde miktarları arasındaki uyum da Şekil 6.46’da görülmektedir.



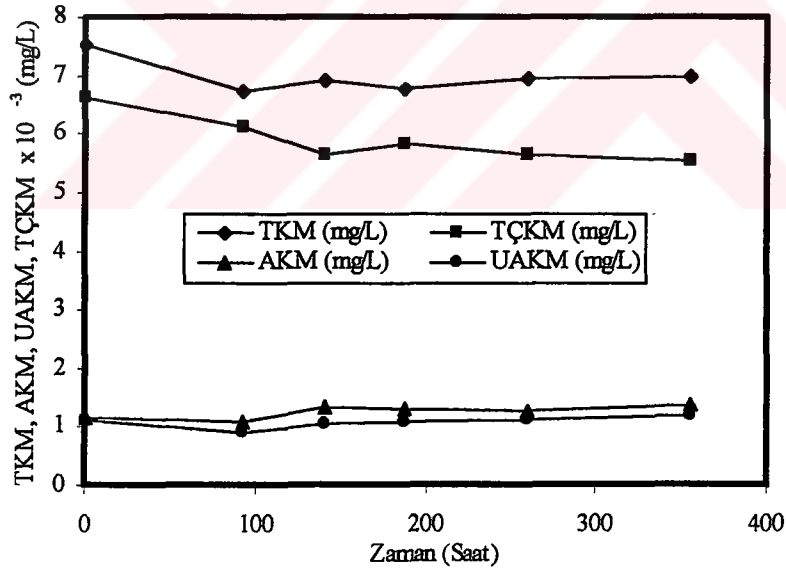
Şekil 6.43 Fako Atıksuyu ve Pakmaya Aktif Çamuru ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 5.424 mg/L).



Şekil 6.44 Fako Atıksuyu ve Pakmaya Aktif Çamuru ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ= 5.424 mg/L).



Şekil 6.45 Fako Atıksuyu ve Pakmaya Aktif Çamuru ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 5.424 mg/L).



Şekil 6.46 Fako Atıksuyu ve Pakmaya Aktif Çamuru ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ=5.424 mg/L).

Arıtımda kullanılan aktif çamurun etkisini görmek amacı ile yapılan çalışmaların sonucundan, Fako İlaçları A. Ş.'den temin edilmiş olan aktif çamurun arıtımın verimini arttırdığı gözlenmiştir. Bu da Fako aktif çamurunun, aynı tesisin

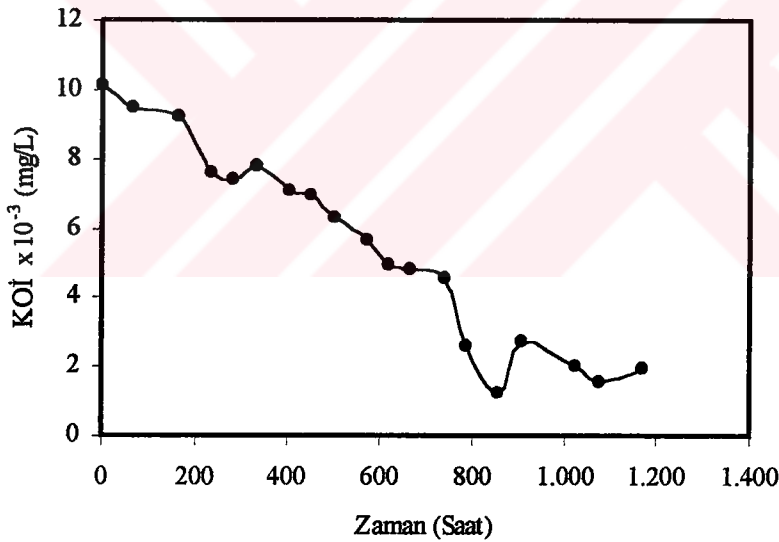
atıksularının anaerobik arıtımında kullanılmış olması ve aktif çamur içinde bulunan mikroorganizmalarında Fako orjinal atıksuyunda bulunan kimyasallara alışmış olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bundan sonraki arıtım çalışmalarımızda Fako aktif çamuru kullanılmıştır.

6. 2. 4. Fermentörde Yapılan Deneyler

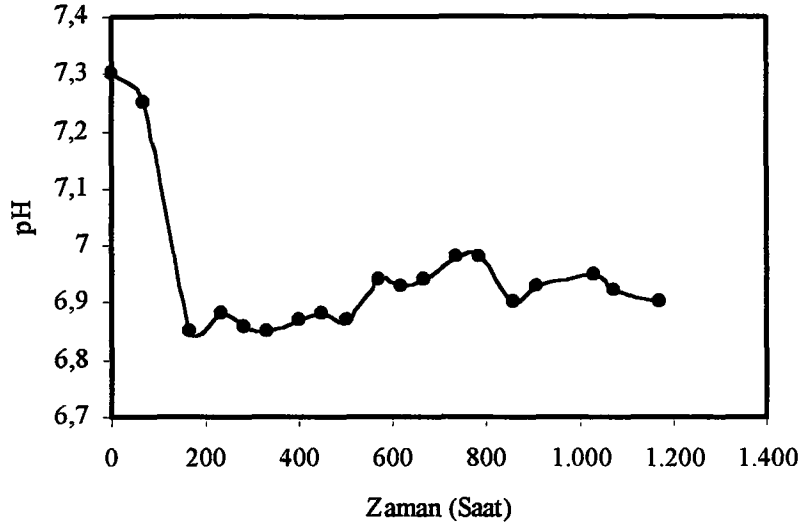
- Birinci Grup Deneyler

Başlangıç KOİ değeri 10.094 mg/L olan orijinal atıksu ile hazırlanmış çözeltinin belirlenmiş olan anaerobik şartlarda yapılan arıtımındaki KOİ'nin zamanla değişimi Şekil 6.47'de görülmektedir.

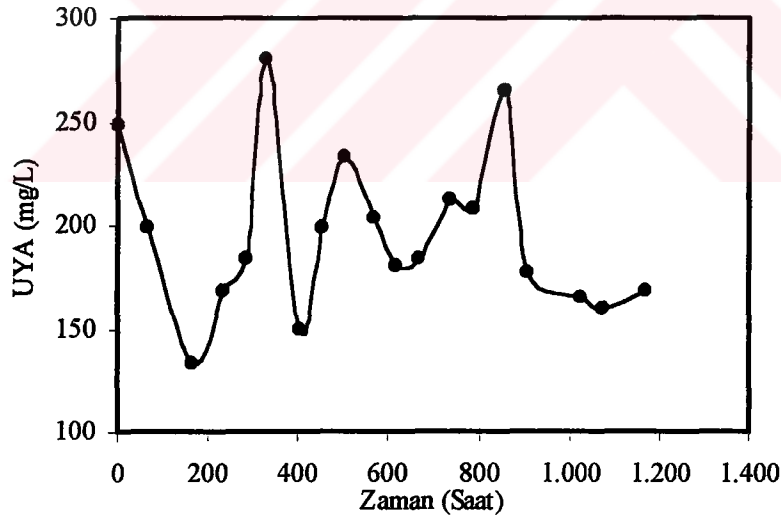
Arıtım sürecinde pH ve UYA miktarındaki değişimi Şekil 6.48 ve 6.49'da görmek mümkündür.



Şekil 6.47 Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 10.094 mg/L).

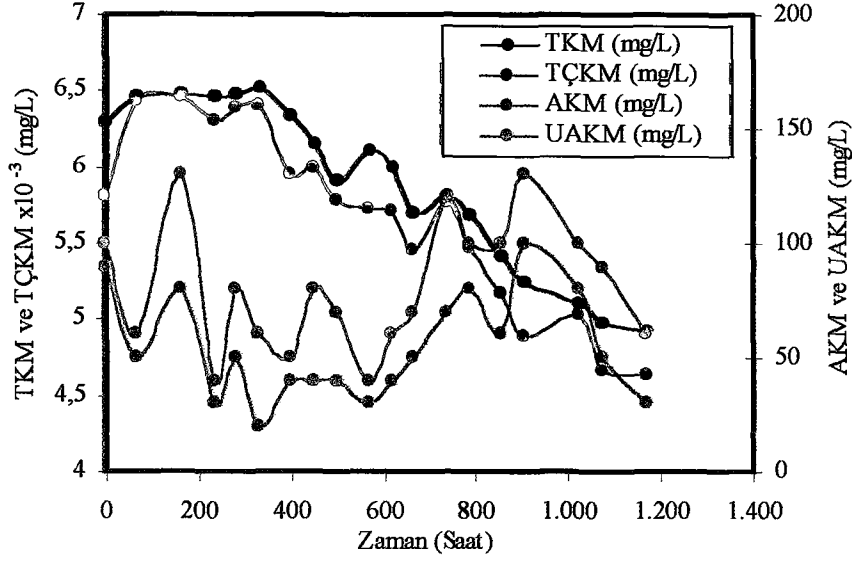


Şekil 6.48 Fak0 Atıksuyu ve Aktif amuru ile yapılan deneyde pH değışimi (Başlangıç KOİ= 10.094 mg/L).



Şekil 6.49 Fak0 Atıksuyu ve Aktif amuru ile yapılan deneyde UYA değışimi (Başlangıç KOİ= 10.094 mg/L).

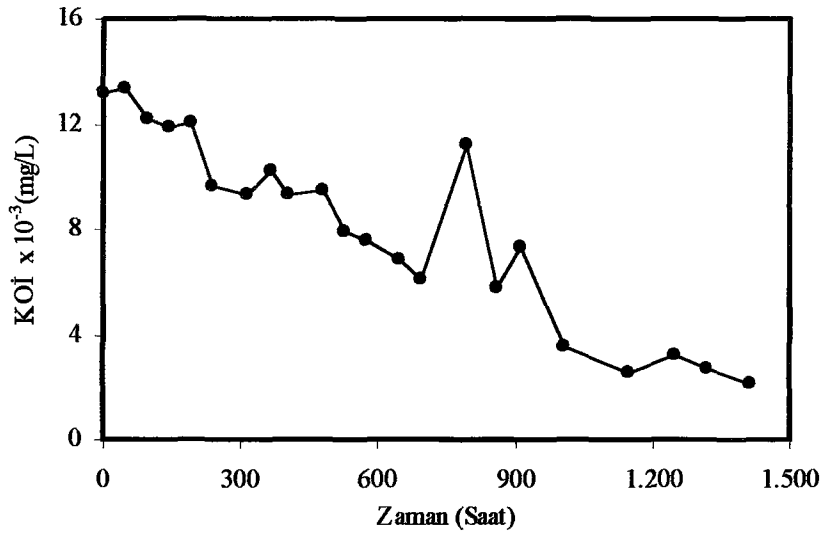
Bu çalışmadaki katı madde miktarlarının değışimi de Şekil 6.50'de görölmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi bu parametreler arasındaki değışmeler kendi aralarında uyumludur.



Şekil 6.50 Fakto Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ= 10.094 mg/L).

- İkinci Grup Deneyler

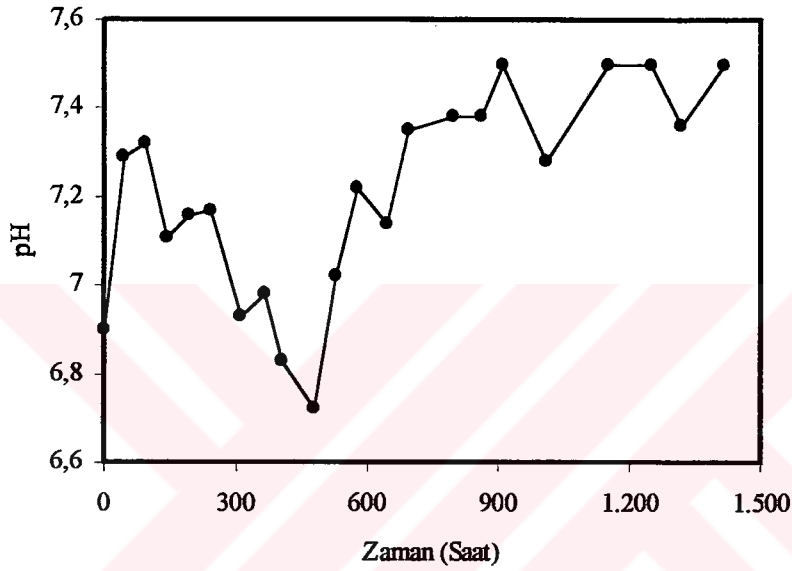
Hazırlanan çözelti anaerobik ortamda $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 'da arıtıma tabii tutularak, belirli zamanlarda alınan numunelerin süzöntüsünde tayin edilen KOİ değerleri zamana karşı grafiğe geçirilmiştir. Bu grafik Şekil 6.51'de görülmektedir.



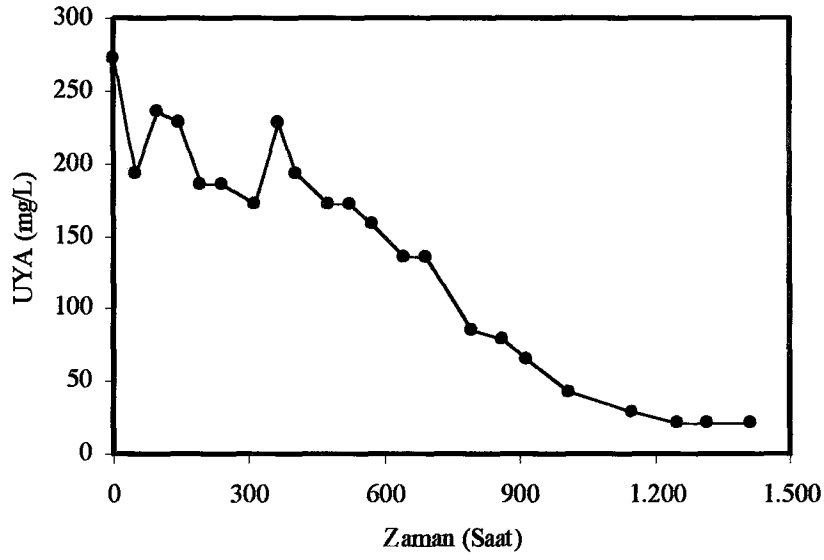
Şekil 6.51 Fakto Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 13.214 mg/L).

Şekil 6.52 ve 6.53’den artım esnasındaki pH ve UYA miktarındaki değişmelerinin uygun sınırlar içinde salınım yaptığı görülmektedir.

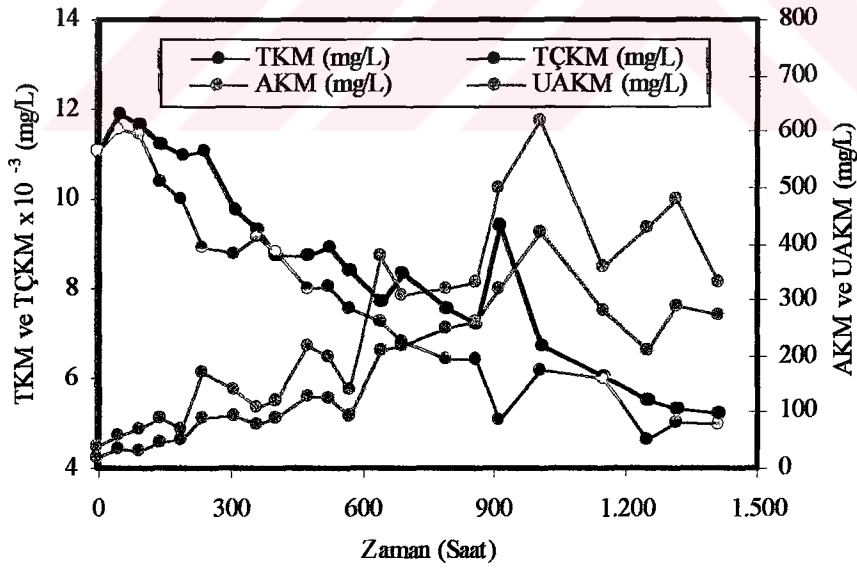
Başlangıç KOİ değeri 13.214 mg/L olan çözeltinin arıtımında katı madde miktarlarının değişimi Şekil 6.54’de görülmektedir. Şekilden de anlaşılabacağı gibi bu parametreler arasındaki değişimler kendi aralarında uyumludur.



Şekil 6.52 Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ= 13.214 mg/L).



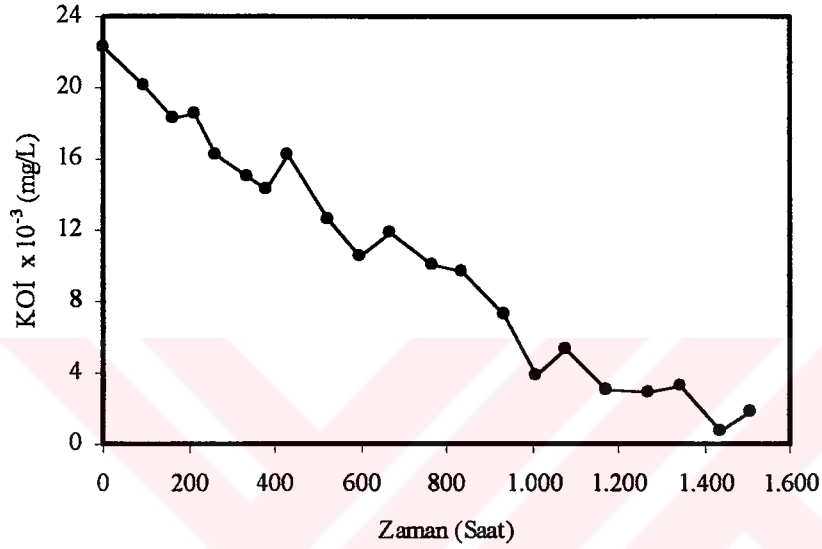
Şekil 6.53 Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 13.214 mg/L).



Şekil 6.54 Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ= 13.214 mg/L).

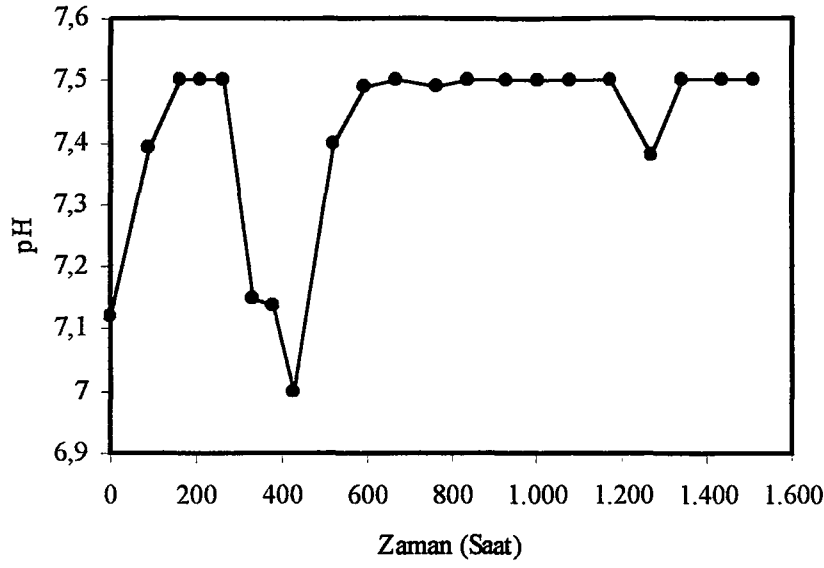
- Üçüncü Grup Deneyler

Başlangıç KOİ değeri 22.326 mg/L olan orijinal atıksu ile hazırlanmış çözeltinin belirlenmiş olan anaerobik şartlarda yapılan arıtımındaki KOİ'nin zamanla değişimi Şekil 6.55'den görülmektedir.

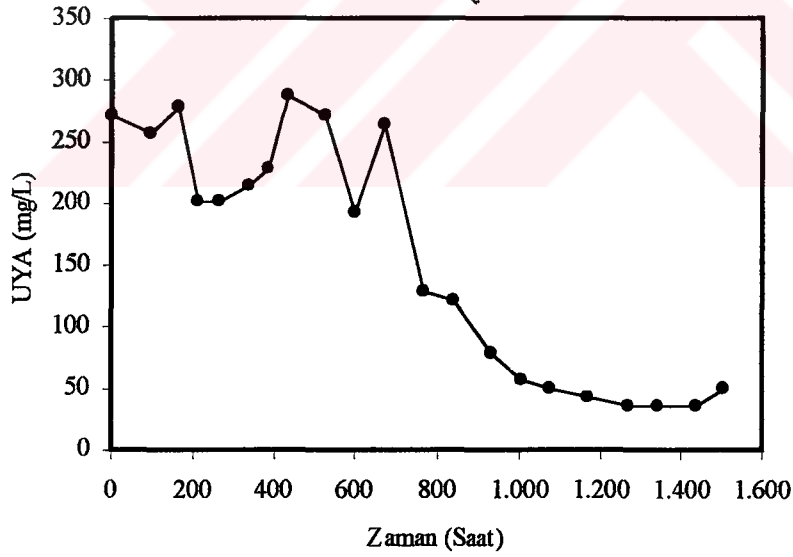


Şekil 6.55 Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 22.326 mg/L).

Bu arıtımındaki pH ve UYA miktarındaki değişimler Şekil 6.56 ve 6.57'de sunulmuştur.

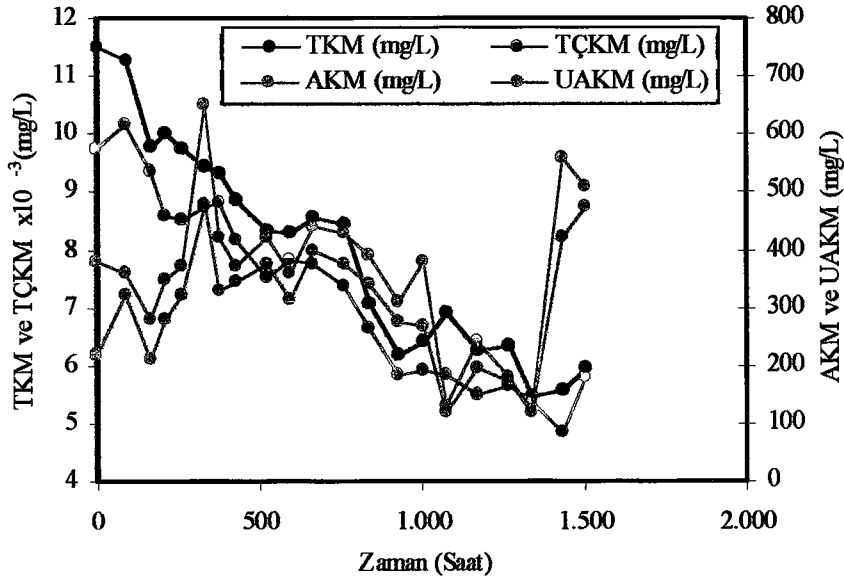


Şekil 6.56 Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ= 22.326 mg/L).



Şekil 6.57 Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 22.326 mg/L).

Arıtım işlemi esnasında katı madde miktarlarındaki değişimleri Şekil 6.58'den incelemek mümkündür.



Şekil 6.58 Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ= 22.326 mg/L).

Gerçekleştirilen bu anaerobik arıtım işleminde 1437 saatte % 97'lik arıtım verimi elde edilmiştir. Tespit edilen diğer parametreler ise kendi içinde uyum göstermektedir.

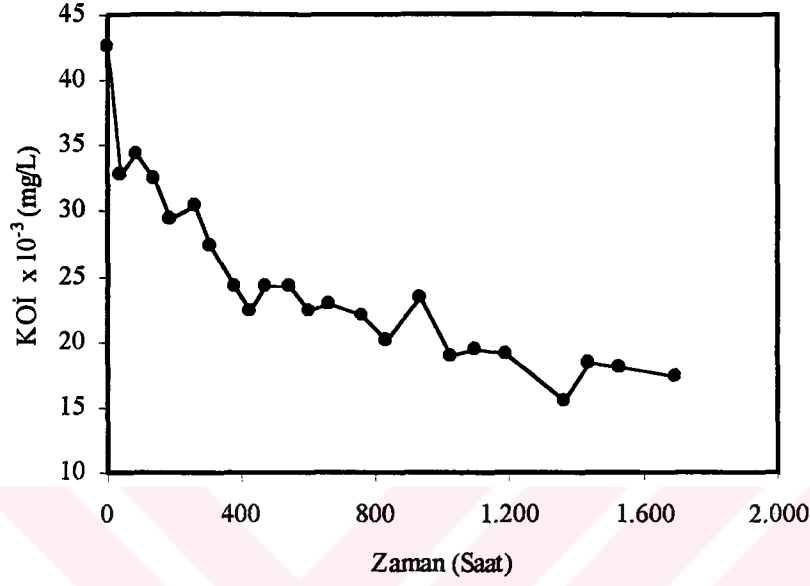
- Dördüncü Grup Deneyler

Anaerobik arıtım işleminin kinetiğini oluşturabilmek için yapılan bu çalışmada, başlangıç KOİ değeri oldukça yüksek (42.623 mg/L) olan orijinal atıksu ile hazırlanmış çözeltilerin belirlenmiş olan anaerobik şartlarda yapılan arıtımındaki KOİ'nin zamanla değişimi Şekil 6.59'dan görülmektedir.

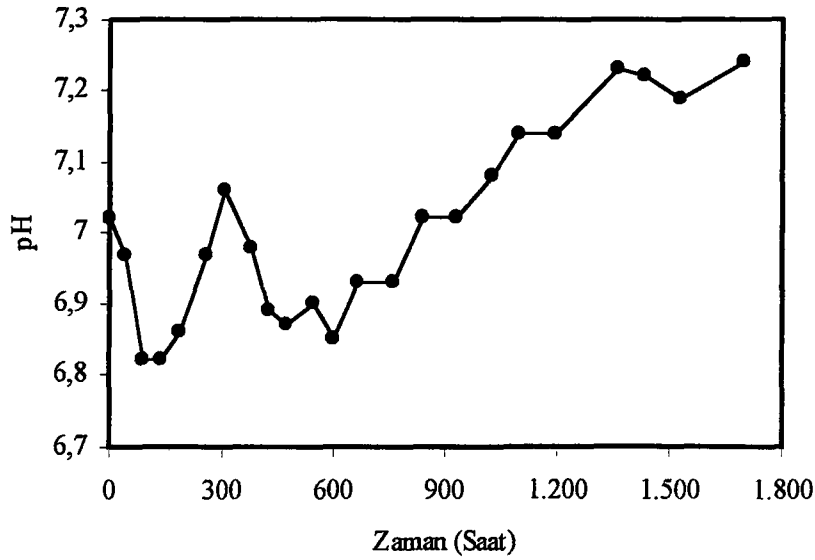
Deneyin yürüyüşü esnasındaki pH ve UYA miktarındaki değişme Şekil 6.60 ve 6.61'de sunulmuştur.

Bu arıtım işleminde 1.360 saat sonunda % 64'lük bir arıtım verimi sağlanmıştır. Bu değer diğer çalışmalarda elde edilen değerlerden daha düşük olmasının sebebi başlangıç KOİ değerinin (ortamdaki organik kirlilik yükünün) çok yüksek olmasıdır. Ortamda bulunan yüksek organik kirlilik mikroorganizmalar ve buna bağlı olarak

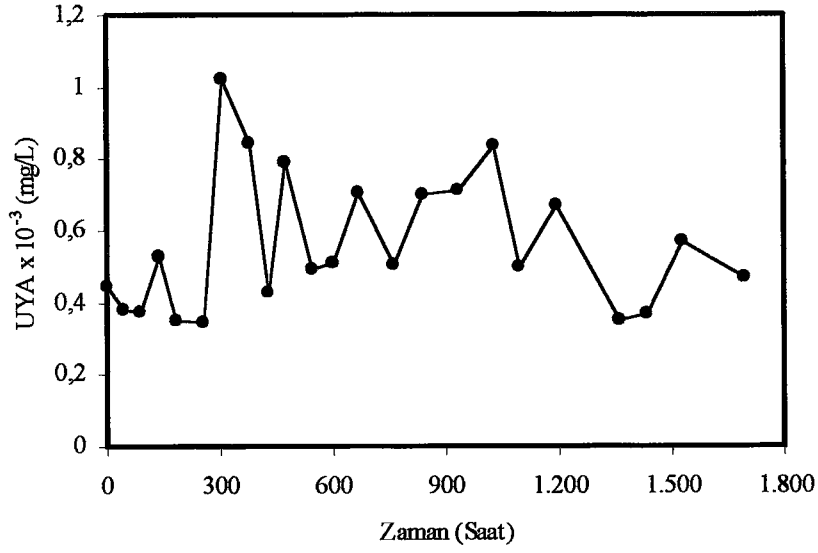
artım işleminin yürüyüşünü etkilemiştir. Bunu da pH ve UYA grafiklerindeki değerlerden ve bu değerlerdeki sürekli değişimlerden görmek mümkündür.



Şekil 6.59 Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde KOİ değişimi (Başlangıç KOİ= 42.623 mg/L).

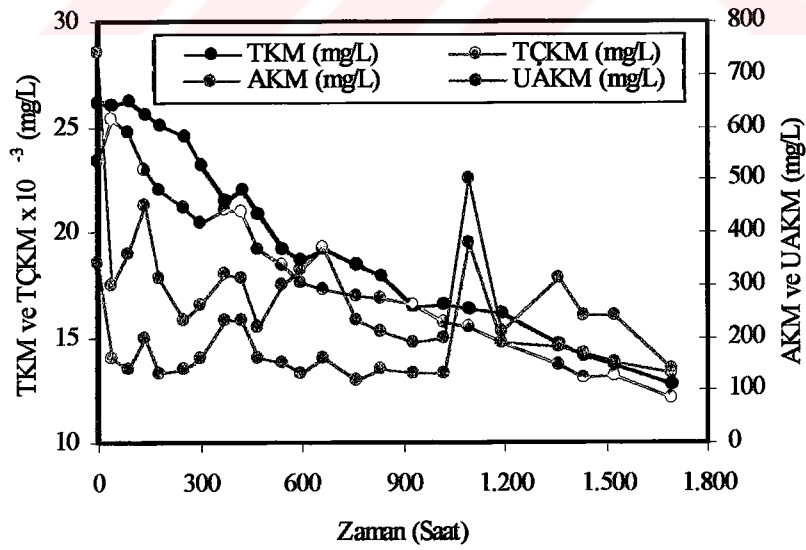


Şekil 6.60 Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde pH değişimi (Başlangıç KOİ= 42.623 mg/L).



Şekil 6.61 Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde UYA değişimi (Başlangıç KOİ= 42.623 mg/L).

Arıtım işlemi esnasında katı madde miktarlarındaki değişimleri Şekil 6.62'den incelemek mümkündür.



Şekil 6.62 Fako Atıksuyu ve Aktif Çamuru ile yapılan deneyde TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değişimi (Başlangıç KOİ= 42.623 mg/L).

6. 3. Kinetik Modelleme

Antibiyotik üretimi atıksularının anaerobik arıtımının yürüyüşünde; büyük moleküllü organik maddelerin parçalanma, hidroliz ürünlerinin UYA'ya dönüşüme ve biyogaz oluşumu reaksiyonlarının hız sabitlerinin belirlenmesi için gerekli olan veriler Anaerobik Fermentör ve Çalkalamalı Su Banyosunda gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarından elde edilmiştir.

Genel hız ifadesi daha önce üçüncü bölümde 3.11 no'lu eşitlikte verilmişti. Aşağıda tekrar yazılan bu ifade kullanılarak anaerobik arıtmada ardışık olarak gerçekleşen reaksiyonların hız sabitleri belirlenebilir.

$$r = -\frac{dS}{dt} = kS^n \quad (3.11)$$

Bu eşitlikte $n=0, 0.5, 1, 2, \dots$ kabul edilmesi durumlarında hız sabitlerinin hesaplanması aşağıda sunulmuştur.

- Sıfıncı Mertebe

Sıfıncı mertebe yaklaşımında hızın, substrat konsantrasyonundan bağımsız olduğu ön görülmektedir. Buna göre hız ifadesi:

$$r = -\frac{dS}{dt} = k_0 S^0 = k_0 \quad (6.10)$$

şeklinde ifade edilir. Bu eşitliğin her iki tarafının $\ln$ 'nin alınması ile eşitlik

$$\ln r = \ln k_0 \quad (6.11)$$

haline gelir.

Sıfırıncı mertebe yaklaşımı için $\ln S$ değerine karşı $\ln r$ çizildiğinde kayım değerinden k_0 bulunur.

- 1/2'inci Mertebe

Bu yaklaşımda hızın, substrat konsantrasyonunun karekökü ile orantılı olduğu öngörülür. Buna göre de;

$$r = -\frac{dS}{dt} = k_{1/2} \times S^{1/2} \quad (6.12)$$

6.12 no'lu eşitliğin iki tarafının $\ln$ 'nin alınması ile ifade;

$$\ln r = \ln k_{1/2} + \frac{1}{2} \ln S \quad (6.13)$$

haline gelir ve buradan da görüldüğü gibi $\ln S$ değerine karşılık $\ln r$ değerleri grafiğe geçirilecek olursa eğimi 0.5, kayımı ise $\ln k_{1/2}$ olan bir doğru elde edilecektir.

- Birinci Mertebe

Bu yaklaşımda hız, substrat konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak değişir.

$$r = -\frac{dS}{dt} = k_1 S^1 \quad (6.14)$$

$$\ln r = \ln k_1 + \ln S \quad (6.15)$$

dır. Birinci mertebeden reaksiyon yaklaşımında $\ln S$ değerlerine karşılık $\ln r$ 'ler çizildiğinde eğimi 1, kayımı ise $\ln k_1$ olan doğru elde edilir.

- İkinci Mertebe

İkinci mertebe yaklaşımında reaksiyon hızı, substrat konsantrasyonunun karesi ile orantılıdır.

$$r = -\frac{dS}{dt} = k_2 S^2 \quad \text{veya} \quad (6.16a)$$

$$r = -\frac{dS}{dt} = k_2 \times X \times \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \quad (6.16b)$$

6.16a no'lu eşitliğin her iki tarafının da ln'in alınması ile,

$$\ln r = \ln k_2 + 2 \ln S \quad (6.17)$$

veya 6.16b no'lu eşitliğin integre edilmesi ile,

$$S = \frac{S_0^2}{S_0 + k_2 \cdot X \cdot t} \quad (6.18)$$

6.18 no'lu eşitliğin lineerize edilmesi ile de,

$$\frac{S_0 \cdot t}{S_0 - S} = t + \frac{S_0}{k_2 X} \quad (6.19)$$

ifadeleri elde edilir. $\frac{S_0}{k_2 X}$ sabit olduğu için eşitlik;

$$\frac{S_0 t}{S_0 - S} = a + bt \quad (6.20)$$

haline gelir (Ubay, 1993).

6.3.1 Büyüme Verimi (Y) Ve Bakteriyal Ölüm Hız (k_d) Sabitlerinin Hesaplanması

Arıtım esnasında mikroorganizmanın davranışını izlemek, Y ve k_d değerlerini tayin etmek için biyokütle dengesine ihtiyaç vardır. Bu denge ise şöyle ifade edilebilir:

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = \left(\frac{dX}{dt}\right)_t - \left(\frac{dX}{dt}\right)_c \quad (6.21)$$

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = \text{Net büyüme}$$

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_t = \text{Toplam büyüme} = Y \times \left(\frac{dS}{dt}\right)$$

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_c = \text{Kayıp biyokütle} = -k_d X$$

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = Y \left(\frac{dS}{dt}\right) - k_d X \quad (6.22)$$

dir.

6.22 no'lu eşitliğin her iki tarafı X'e bölünürse;

$$\left(\frac{1}{\theta_c}\right) = \mu = Yq - k_d \quad (6.23)$$

veya

$$q = \left(\frac{1}{Y}\right) \times \left(\frac{1}{\theta_c}\right) + \left(\frac{k_d}{Y}\right) \quad (6.24)$$

haline gelir.

Y ve k_d 'nin değerlerinin hesaplanması için spesifik büyüme hızı (μ)'na karşı, spesifik substrat tüketim hızı (q) değerleri grafiğe geçirilir. Elde edilen eğrinin eğimi $1/Y$ 'yi, kayımı ise k_d/Y değerini verir.

6.3.2 Anaerobik Aritim İşlemi Kademelerinin Kinetik Modellenmesi

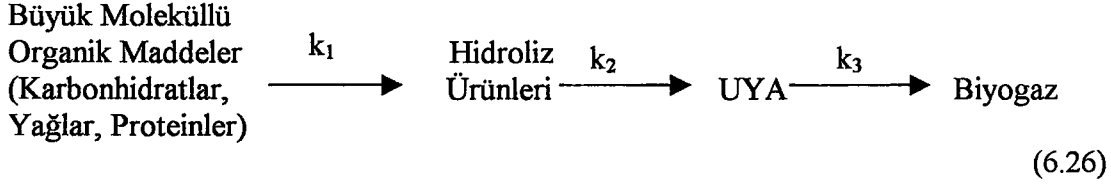
Literatürde çeşitli endüstriyel atıksuların biyolojik arıtımı ve kinetik modellenmesi ile ilgili mevcut çalışmalardan biride ekmek mayası üretimi atıksuyunun anaerobik arıtımının matematik modellenmesinin amaçladığı çalışmadır. Bu çalışmada laboratuvarında elde edilen veriler ile endüstriyel verilerden yararlanarak, organik kirliliğin zamanla değişiminin birinci mertebeden reaksiyon kinetiğine uygunluk gösterdiği saptanmıştır. Birinci mertebe kabulüne göre elde edilen arıtım kinetiğinin model denklemi ise aşağıdaki 6.25 eşitliğinde sunulmuştur (Çiftçi, 1997).

$$S_T = S_{A0} \cdot e^{-k_1 t} + k_1 S_{A0} \left(\frac{e^{-k_2 t} - e^{-k_1 t}}{k_1 - k_2} \right) + k_1 k_2 S_{A0} \left(\frac{(k_2 - k_3) \cdot e^{-k_1 t} - (k_1 - k_3) \cdot e^{-k_2 t} + (k_1 - k_2) \cdot e^{-k_3 t}}{(k_1 - k_2)(k_2 - k_3)(k_1 - k_3)} \right) \quad (6.25)$$

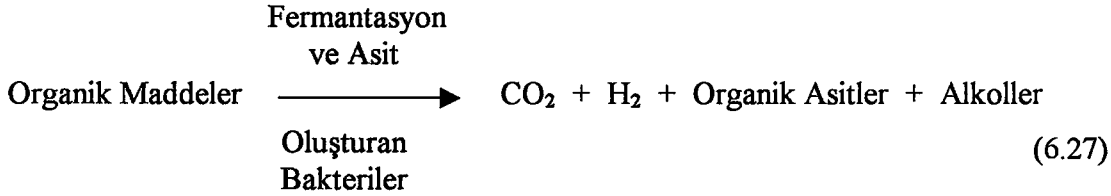
6.25 no'lu eşitlik bu çalışmada da birinci mertebe kabulü ile yapılan hesaplamalarda yararlanılan ifadedir.

Antibiyotik üretimi atıksuyunun anaerobik arıtılması sırasında organik maddelerin konsantrasyonunun zamanla değişimini ifade eden kinetik denkliği türetebilmek için bazı kabuller yapılmıştır:

1. Anaerobik arıtımda aynı anda çok sayıda seri ve paralel reaksiyonlar gerçekleşmektedir. Ancak kinetik ifade türetilirken, birbirini takip eden üç ana reaksiyonun var olduğu kabul edilmektedir (Çiftçi, 1997; Elnekave, 1998). Bunlar sırasıyla; organik maddelerin hidrolizi, hidroliz ürünlerinden uçucu yağ asitlerinin oluşması ve uçucu yağ asitlerinden biyogaz oluşumu reaksiyonlarıdır. Bu reaksiyon kademeleri aşağıda verilmiştir.



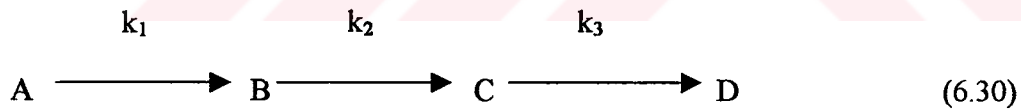
Hidroliz ve asit oluşumu kademeleri aşağıdaki reaksiyonlarla ifade edilebilir.



Metan oluşumunun iki temel reaksiyonu ise aşağıdaki gibidir:



6.26 no'lu ifadede k_1 , k_2 , k_3 reaksiyon hız sabitlerini göstermektedir. Bu dönüşüm reaksiyonlarını harflerle sembolize edersek;



şeklinde gösterilebilir.

2. Bu reaksiyonlar ikinci mertebededir.
3. Biyokütle miktarının değişimi deney sırasında ihmal edilebilir.
4. Atıksu içindeki maddelerin cinsleri ve derişimleri çok çeşitli olduğu için bunları tayin etmek zordur. Reaksiyon sırasında da A; başlangıç anındaki toplam KOİ, B (hidroliz ürünleri); adımlar arasında uyumun var olduğu kabulü ile 0 ve C miktarı az ama tespit edilebilen bir değer olabildiği için UYA cinsinden ifade edilmektedir (Çiftçi, 1997; Timur, 1997).

5. Başlangıçta organik madde konsantrasyonu S_A , S_{A0} 'a eşittir.

Bu kabuller ışığında her reaksiyon için hız ifadeleri yazılırsa:

$$\frac{dS_A}{dt} = -k_1 S_A^2 \quad (6.31)$$

$$\frac{dS_B}{dt} = k_1 S_A^2 - k_2 S_B^2 \quad (6.32)$$

$$\frac{dS_C}{dt} = k_2 S_B^2 - k_3 S_C^2 \quad (6.33)$$

$$\frac{dS_D}{dt} = k_3 S_C^2 \quad (6.34)$$

denklemleri ele geçer. Bunların çözümleri ise aşağıda sunulmuştur:

6.31 no'lu denklemin çözülmüş ve düzenlenmiş hali ;

$$S_A = \frac{S_{A0}}{1 + k_1 S_{A0} t} \quad (6.35)$$

6.32 no'lu denklemin çözülmüş ve düzenlenmiş hali ;

$$S_B = \frac{1}{2k_2(1+tk_1S_{A0})} \times \left[-\sqrt{k_1}\sqrt{k_1+4k_2}S_{A0} + \frac{2\sqrt{k_1}\sqrt{k_1+4k_2}S_{A0}}{1 + \frac{\left((1+tk_1S_{A0})^{-\sqrt{k_1+4k_2}/\sqrt{k_1}} (k_1S_{A0} + \sqrt{k_1}\sqrt{k_1+4k_2}S_{A0} - 2k_2S_{B0}) \right)}{-k_1S_{A0} + \sqrt{k_1}\sqrt{k_1+4k_2}S_{A0} + 2k_2S_{B0}}} \right] + \frac{k_1S_{A0}}{2k + 2tk_1k_2S_{A0}} \quad (6.36)$$

dir.

6.33 no'lu denklemin çözümü ise 6.37 no'lu eşitlikte verilmiştir (Bu denklemin çözümü 6.36 no'lu denkleme bağlı olduğundan, çözümü kolaylaştırmak için bazı kabuller yapılmıştır ve bunlar Ek B'de sunulmuştur.).

$$S_C = \frac{k_1S_{A0}}{2k_3 + 2tk_1k_3S_{A0}} + \frac{\sqrt{k_1(k_1^2 + 4k_1k_2 + 4k_2k_3)}S_{A0}^2}{2\sqrt{k_1 + 4k_2}k_3(1 + tk_1S_{A0})} \quad (6.37)$$

6.34 no'lu denklemin çözümü ise şöyledir:

$$S_D = \left(\frac{\left((k_1^2 + 4k_1k_2 + 2k_2k_3)S_{A0} + \sqrt{k_1+4k_2}\sqrt{k_1(k_1^2 + 4k_1k_2 + 4k_2k_3)}S_{A0}^2 \right) \left(-1 + (k_1+4k_2)^2k_3^2(1+tk_1S_{A0}) \right)}{2(k_1+4k_2)k_3(1+tk_1S_{A0})} \right) \quad (6.38)$$

Herhangi bir zamanda ölçülen KOİ değeri, atıksuda hidrolize uğramamış haldeki organik maddeler, hidroliz ürünleri ve uçucu yağ asitlerinin KOİ cinsinden değerlerinin toplamı olduğu kabul edilip 6.39 no'lu matematiksel ifade yazılabilir. Bu eşitlikte S_T ile herbir kademeden gelen KOİ değerlerinin toplamı ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned}
S_T = & \left(\frac{S_{A0}}{1 + k_1 S_{A0} t} \right) + \left(\frac{k_1 S_{A0}}{2k_2 + 2tk_1 k_2 S_{A0}} + \frac{1}{2k_2 (1 + tk_1 S_{A0})} \{ -\sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4k_2} S_{A0} + \right. \\
& \left. \frac{2\sqrt{k_1 + 4k_2} S_{A0}}{1 + \left(\frac{(1 + tk_1 S_{A0})^{-\sqrt{k_1 + 4k_2}/\sqrt{k_1}} (k_1 S_{A0} + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4k_2} S_{A0})}{-k_1 S_{A0} + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4k_2} S_{A0}} \right)} \right) + \\
& \left(\frac{k_1 S_{A0}}{2k_3 + 2tk_1 k_3 S_{A0}} + \frac{\sqrt{k_1 (k_1^2 + 4k_1 k_2 + 4k_2 k_3) S_{A0}^2}}{2\sqrt{k_1 + 4k_2} k_3 (1 + tk_1 S_{A0})} \right) + \\
& \left(\frac{\left((k_1^2 + 4k_1 k_2 + 2k_2 k_3) S_{A0} + \sqrt{k_1 + 4k_2} \sqrt{k_1 (k_1^2 + 4k_1 k_2 + 4k_2 k_3) S_{A0}^2} \right) (-1 + (k_1 + 4k_2)^2 k_3^2 (1 + tk_1 S_{A0}))}{2(k_1 + 4k_2) k_3 (1 + tk_1 S_{A0})} \right)
\end{aligned}
\tag{6.39}$$

Türetilen bu model denklemin katsayılarının bulunmasında, Marquardt-Levenberg Algoritması'ndan yararlanarak gözlenen ve hesaplanan bağımlı değişken arasındaki farkların karelerinin toplamını minimize ederek iteratif bir şekilde çalışan, Jandel Scientific Firmasının Sigma Plot Scientific Graph System Programından yararlanılmış ve hesaplanan değerler Tablo 6.4 ve 6.5'de sunulmuştur.

Tablo 6.4 Hesaplanan k_1 , k_2 ve k_3 değerleri (Birinci merteye yaklaşımı).

Başlangıç KOİ (mg/L)	k_1 (saat ⁻¹)	k_2 (saat ⁻¹)	k_3 (saat ⁻¹)
3.077	6,865 e ⁻³	1,735 e ⁻³	1,558 e ⁰
4.615	1,998 e ⁻³	2,998 e ⁻⁴	7,344 e ⁺¹
4.954	3,711 e ⁻²	2,723 e ⁻³	5,058 e ⁰
5.424	7,759 e ⁻³	2,337 e ⁻³	3,313 e ⁻²
5.505	6,044 e ⁻³	9,624 e ⁻⁴	9,873 e ⁻¹
6.102	3,046 e ⁻²	2,944 e ⁻³	1,227 e ⁻¹
10.094	4,291 e ⁻³	2,107 e ⁻³	2,519 e ⁰
10.961	9,962 e ⁻²	2,948 e ⁻³	1,126 e ⁰
13.214	4,271 e ⁻³	1,452 e ⁻³	2,784 e ⁰
14.257	1,390 e ⁻²	3,119 e ⁻³	2,857 e ⁻¹
14.933	4,681 e ⁻³	1,908 e ⁻³	3,873 e ⁰
17.359	1,992 e ⁻²	1,373 e ⁻³	6,550 e ⁻¹
22.326	5,603 e ⁻³	1,756 e ⁻³	1,856 e ⁰
31.284	2,900 e ⁻²	3,000 e ⁻³	4,235 e ⁰
42.623	8,454 e ⁻³	1,494 e ⁻³	8,951 e ⁻¹

Tablo 6.5 Hesaplanan k_1 , k_2 ve k_3 değerleri (İkinci merteye yaklaşımı).

Başlangıç KOİ (mg/L)	k_1 (L . mg ⁻¹ . saat ⁻¹)	k_2 (L .mg ⁻¹ . saat ⁻¹)	k_3 (L .mg ⁻¹ . saat ⁻¹)
3.077	4,432 e ⁻⁷	6,630 e ⁻⁵	3,739 e ⁺³
4.615	2,886 e ⁻¹²	8,358 e ⁻⁵	1,990 e ⁺³
4.954	9,336 e ⁻⁷	9,853 e ⁻⁴	2,748 e ⁺²
5.424	2,983 e ⁻⁷	6,168 e ⁻⁵	4,062 e ⁺³
5.505	2,152 e ⁻¹¹	9,318 e ⁻⁵	1,605 e ⁺³
6.102	3,872 e ⁻⁷	3,071 e ⁻⁵	7,516 e ⁺³
10.094	2,046 e ⁻⁷	9,652 e ⁻⁵	2,175 e ⁺³
10.961	3,598 e ⁻⁷	8,246 e ⁻⁶	2,877 e ⁺⁴
13.214	1,479 e ⁻⁷	8,648 e ⁻⁵	2,790 e ⁺³
14.257	2,943 e ⁻⁷	9,757 e ⁻⁵	1,504 e ³
14.933	1,669 e ⁻⁷	1,024 e ⁻⁴	2,301 e ⁺³
17.359	1,494 e ⁻⁷	6,474 e ⁻⁵	4,053 e ⁺³
22.326	8,952 e ⁻⁸	2,651 e ⁻⁴	6,602 e ⁺²
31.284	9,207 e ⁻⁸	3,422 e ⁻⁶	7,198 e ⁺⁴
42.623	4,459 e ⁻⁸	3,971 e ⁻⁶	6,058 e ⁺⁴

6.39 no'lu model denklemden yararlanılarak hesaplanan kinetik sabitlere ait V_m , K_s , Y ve k_d değerleri de Tablo 6.6'da sunulmuştur. Bu değerlerin hesaplanmasında yararlanılan μ ve q değerleri de Ek C'de sunulmuştur.

Tablo 6.6 Hesaplanan kinetik sabitler.

KOİ (mg.L ⁻¹)	V_m (mg.L ⁻¹ .saat ⁻¹)	$K_s.10^{-3}$ (mg.L ⁻¹)	$Y.10^2$ (mg.mg ⁻¹)	$k_d.10^2$
10.094 -22.326	36 - 100	16 - 50	8,2 - 11,8	4,09-5,88
31.203-41.932	125 - 132	75 - 296	7,25-4,23	21,8-21,1

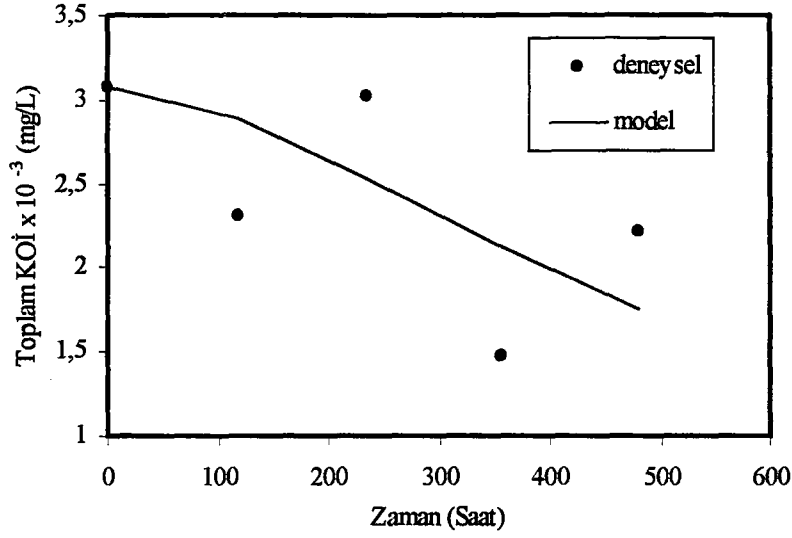
Bu çalışma için hesaplanmış olan kinetik sabitler, literatürdeki veriler ile kıyaslandığında değerler literatürde verilen sınırlarda kalmaktadır (Çiler, 1985; Timur, 1997).

6.3.3 Deney Ve Model Verilerinin Karşılaştırılması

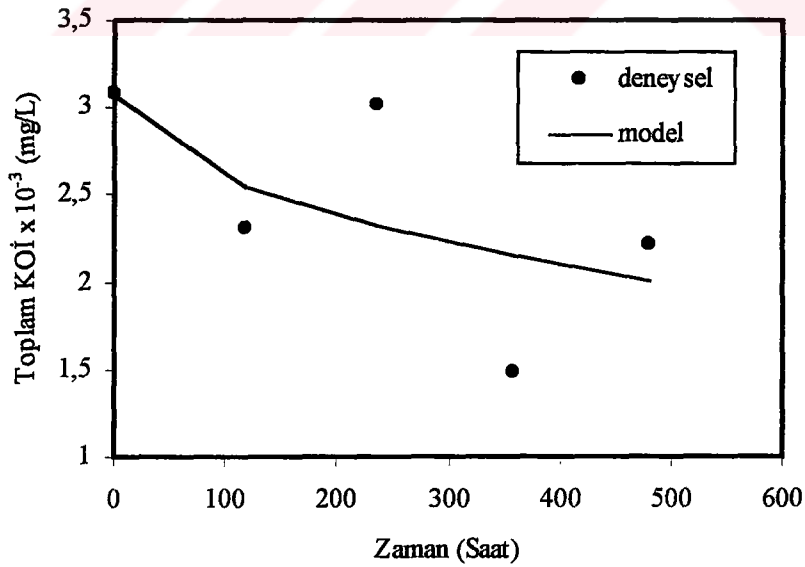
Organik yükü yüksek olan antibiyotik üretimi atıksuyunun anaerobik arıtımı için yapılan bu çalışmada, öncelikle düşük ve orta kirlilikteki atıksuyun arıtımı gerçekleştirilmiş ve bu çalışmalardan elde edilen veriler yardımı ile hız sabitleri (k_1 , k_2 ve k_3) tespit edilmiştir. Anaerobik arıtım işlemi sırasında gerçekleşen ardışık reaksiyonların hız sabitlerinin birinci ve ikinci mertebe yaklaşımına göre bulunan (Tablo 6.4 ve 6.5'de sunulan) değerleri kullanılarak model denklemden hesaplanan toplam KOİ değerleri ile deneysel olarak tespit edilen toplam KOİ değerleri karşılaştırılmıştır (Karşılaştırmada kullanılan toplam KOİ- deneysel tespit edilen ve model denklemden hesaplanan - değerleri Ek D'de sunulmuştur.).

Şekil 6.63 ve 6.64'de başlangıç KOİ değeri 3.077 mg/L ile Şekil 6.65 ve 6.66'da başlangıç KOİ değeri 4.615 mg/L olan ve sentetik olarak hazırlanmış çözeltinin Pakmaya A. Ş.'den temin edilen Aktif Çamur kullanılarak gerçekleştirilen anaerobik arıtımında tespit edilen deneysel değerlerin birinci ve ikinci mertebe kabulü ile

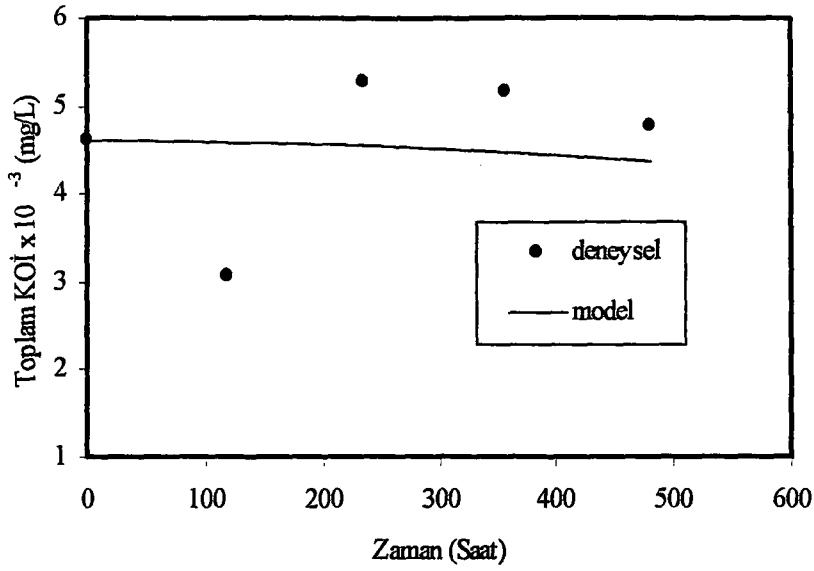
gerçekleştirilen kinetik model denklemden hesaplanan değerler ile kıyaslamasını görmek mümkündür.



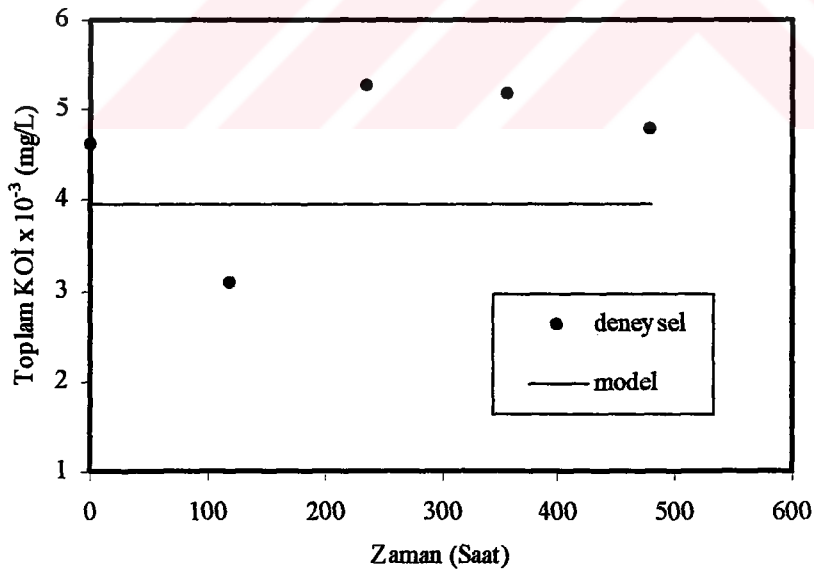
Şekil 6.63 Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci merteye kabulü; Başlangıç KOİ= 3.077 mg/L).



Şekil 6.64 Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci merteye kabulü; Başlangıç KOİ= 3.077 mg/L).

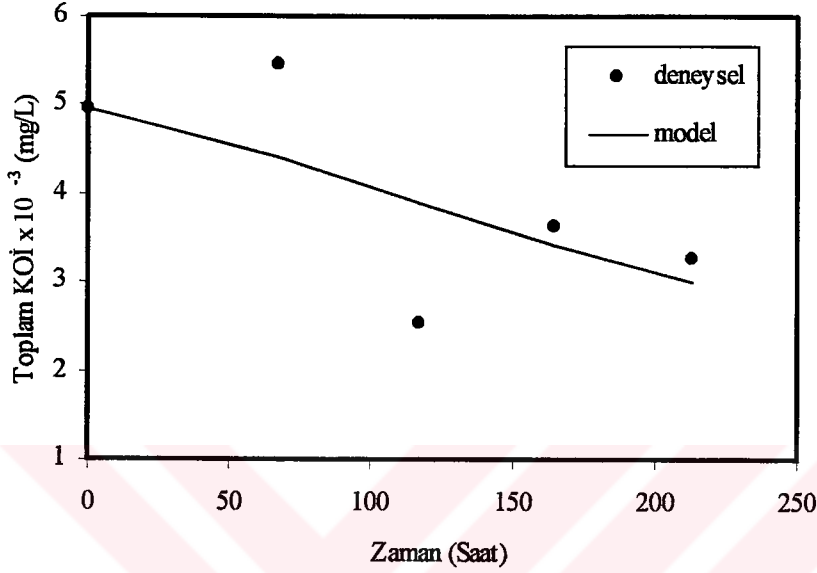


Şekil 6.65 Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 4.615 mg/L).

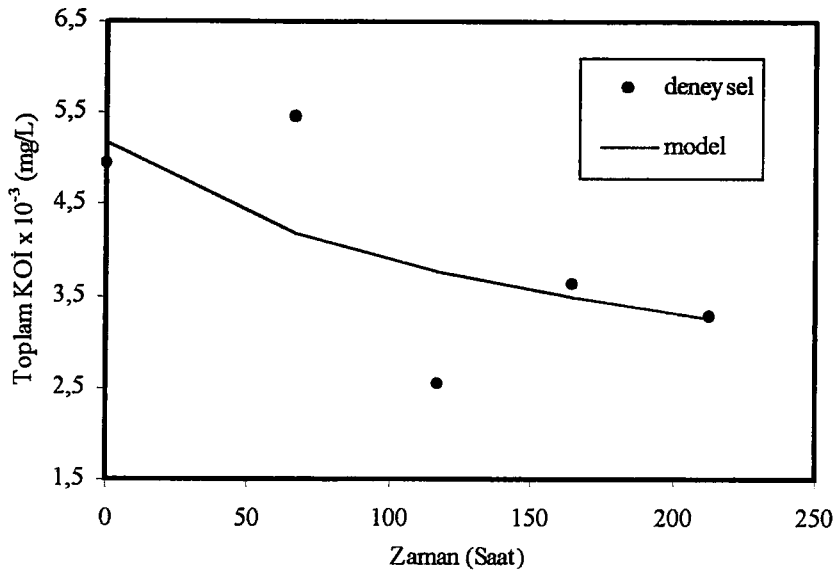


Şekil 6.66 Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 4.615 mg/L).

Aynı şekilde besin maddesi içermeyen ve başlangıç KOİ değeri 4.954 mg/L olarak hazırlanmış sentetik çözeltinin Pakmaya Aktif Çamuru kullanılarak yapılan arıtım işleminin deneysel değerleri ile model eğrisi kıyaslaması Şekil 6.67 ve 6.68’de sunulmuştur.

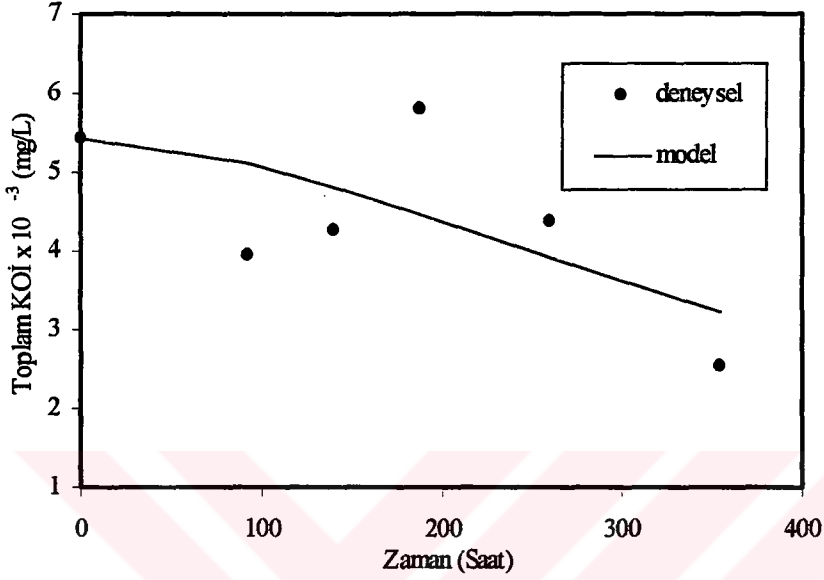


Şekil 6.67 Fermentörde besin maddesi içermeyen sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci merteye kabulü; Başlangıç KOİ= 4.954 mg/L).

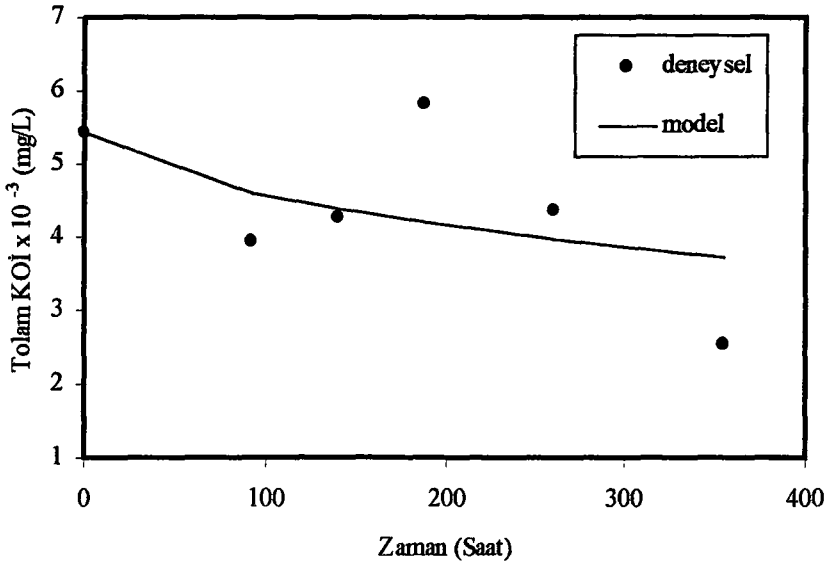


Şekil 6.68 Fermentörde besin maddesi içermeyen sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci merteye kabulü; Başlangıç KOİ= 4.954 mg/L).

Başlangıç KOİ değeri 5.424 mg/L olan Fako Atıksuyu ve Pakmaya Aktif Çamuru ile yapılan arıtım işleminde elde edilen verileri ile model eğrisi kıyaslanması aşağıdaki Şekil 6. 69 ile 6.70’de sunulmuştur.

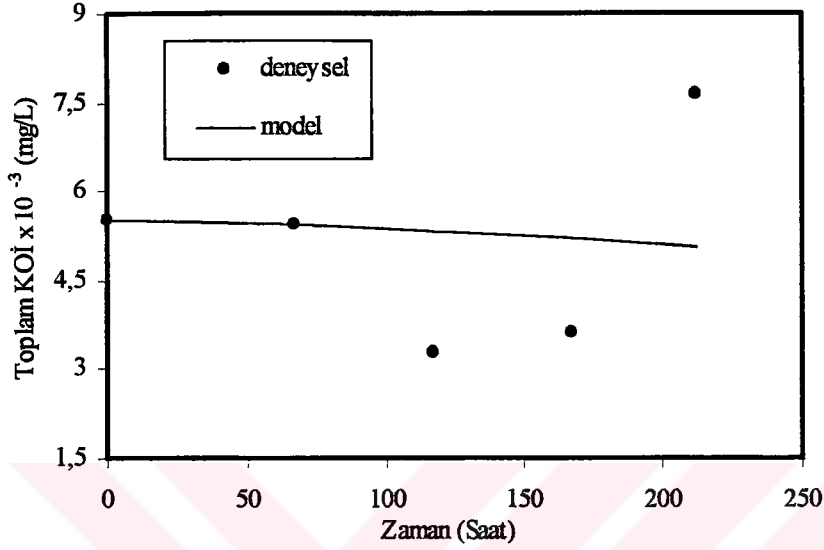


Şekil 6.69 Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci merteye kabulü; Başlangıç KOİ= 5.424 mg/L).

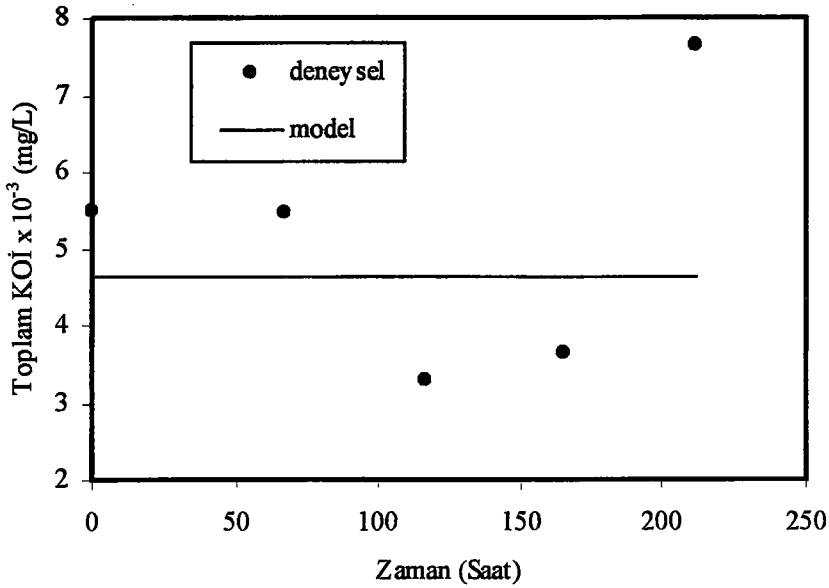


Şekil 6.70 Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci merteye kabulü; Başlangıç KOİ= 5.424 mg/L).

Başlangıç KOİ değeri 5.505 mg/L olan ve iki misli besin maddesi içeren (49,1 mg/L vitamin) çözeltinin Pakmaya Aktif Çamuru kullanılarak yürütülen anaerobik arıtımının deneysel verileri ile model eğrisi kıyaslanması Şekil 6.71 ile 6.72’de yapılmıştır.

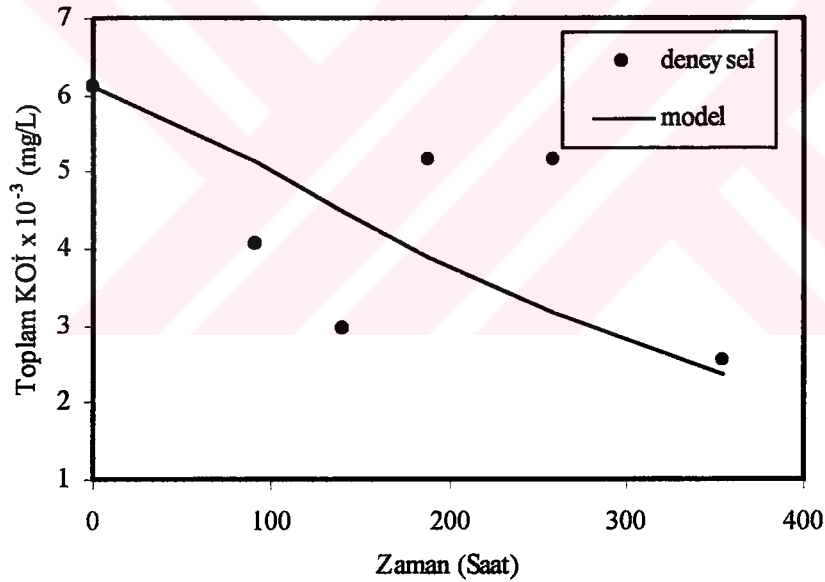


Şekil 6.71 Fermentörde sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci merteye kabulü; Başlangıç KOİ= 5.505 mg/L).

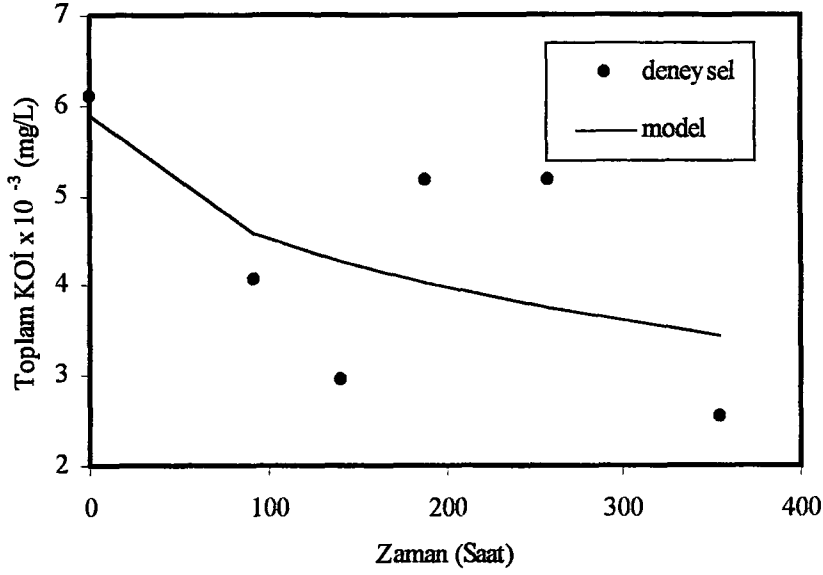


Şekil 6.72 Fermentörde sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci merteye kabulü; Başlangıç KOİ= 5.505 mg/L).

Deneysel verilerin geliştirilen model denklemden hesaplanan verilerle karşılaştırılmalarında düşük KOİ değerlerine (3.077 - 5.505 mg/L) sahip atıksuların arıtım kinetiğinde tam bir mertebe uyumundan bahsetmek mümkün değildir. Grafiklerden de görüldüğü gibi birinci ve ikinci mertebe kabulüne göre deneysel veriler ile model eğrisi kıyaslaması aynı sapmayı göstermektedir. Bu nedenle düşük kirlilikteki atıksuların arıtım kinetiğini incelemek için yapılmış olan bu çalışmalara ilave olarak Fako Atıksuyu ile başlangıç KOİ değeri 6.102 mg/L olan bir çalışma daha gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya ait deney değerleri ile model eğrisinin kıyaslanması da Şekil 6.73 ve 6.74’de sunulmuştur. Bu grafiklerde de benzer durum görülmektedir. Bu nedenle düşük kirlilikteki atıksuların arıtım kinetiği için daha ayrıntılı çalışmalar gerçekleştirilmeli ve 1/2’inci, 3/2’inci vb. mertebe yaklaşımları da incelenmelidir.

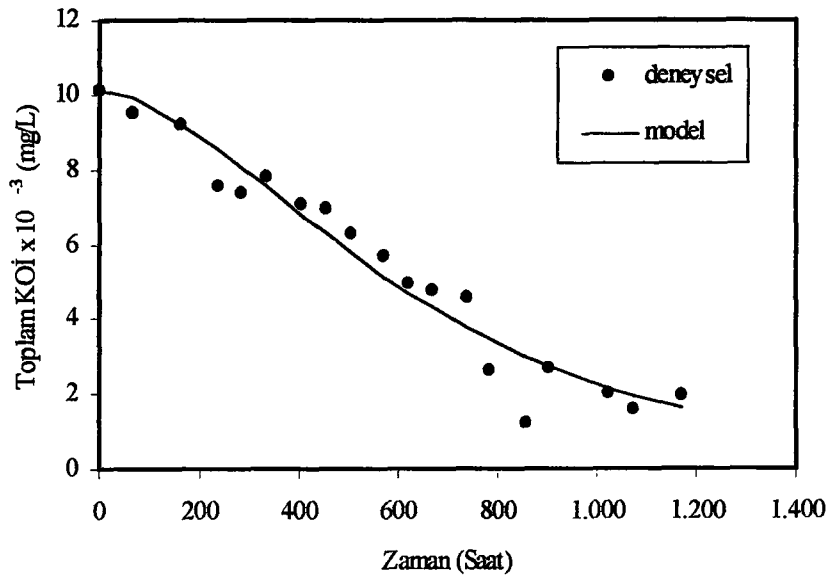


Şekil 6.73 Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 6.102 mg/L).

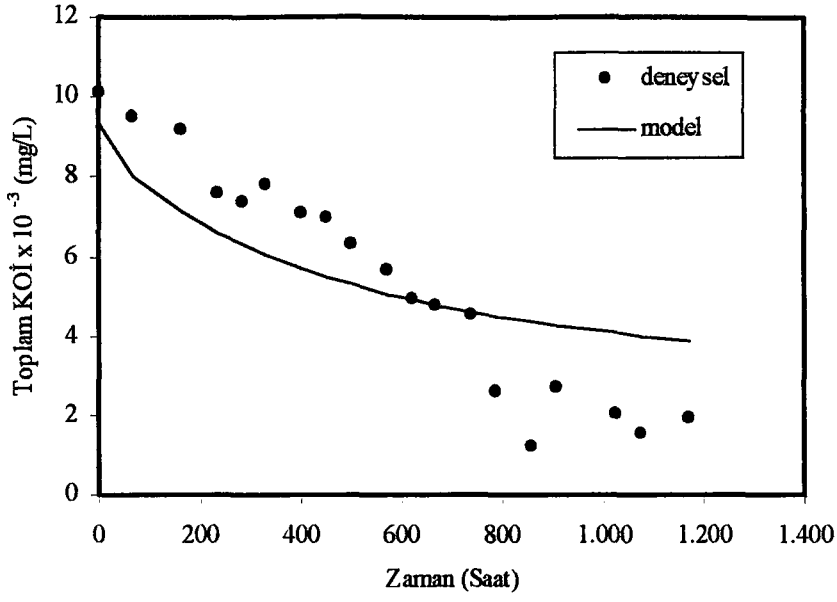


Şekil 6.74 Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 6.102 mg/L).

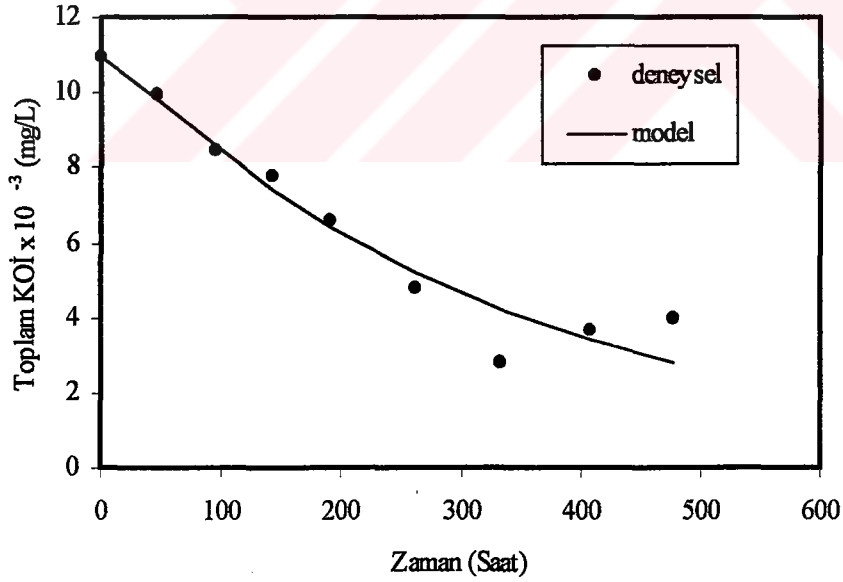
Orta derecedeki kirliliğe sahip antibiyotik üretimi atıksuyunun Fako Aktif Çamuru kullanılarak anaerobik arıtmının yürüyüşünün incelendiği çalışmaların (KOİ=10.094 - 13.214 mg/L aralığındaki) deneySEL verileri ile model eğrilerinin kıyaslanması aşağıdaki Şekil 6.75 - 80'de sunulmuştur.



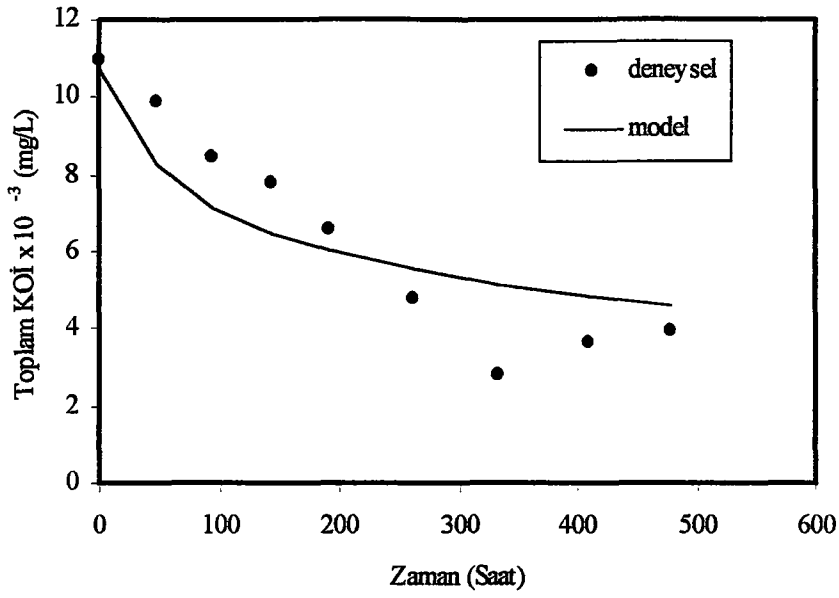
Şekil 6.75 Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 10.094 mg/L).



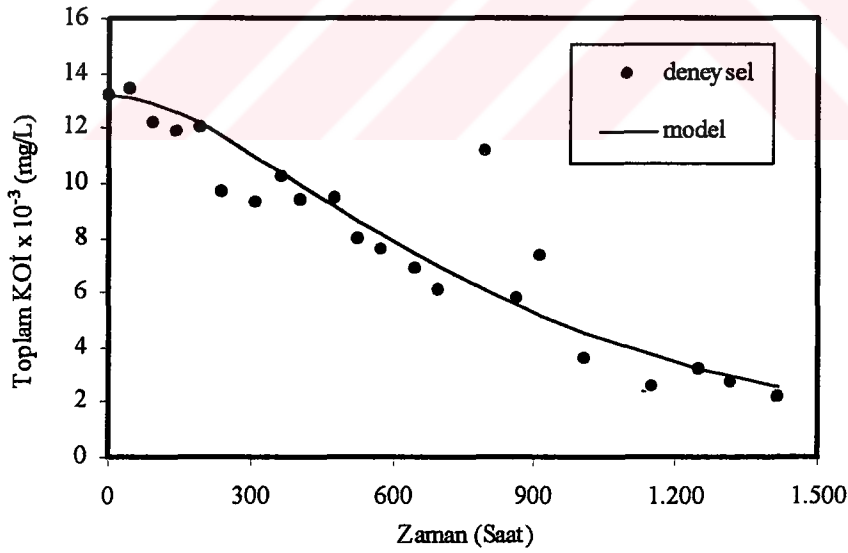
Şekil 6.76 Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci merteye kabulü; Başlangıç KOİ= 10.094 mg/L).



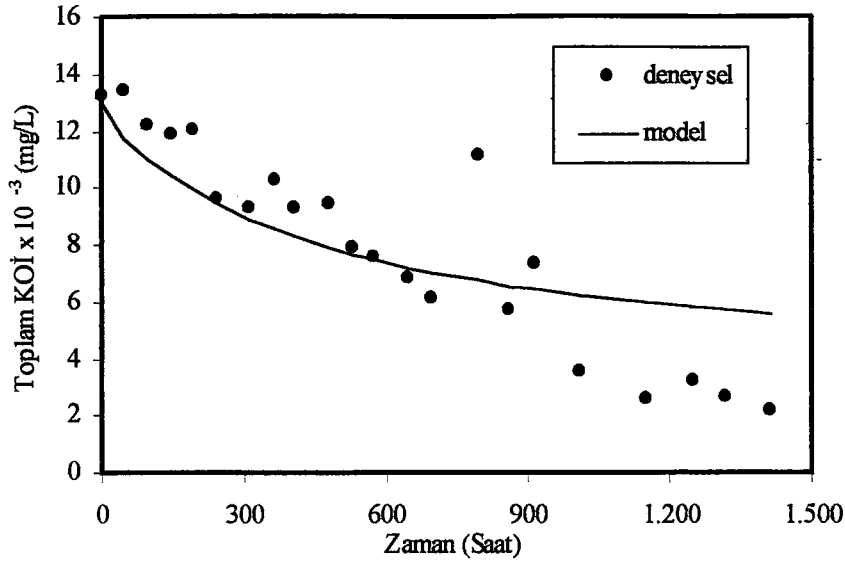
Şekil 6.77 Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci merteye kabulü; Başlangıç KOİ= 10.961 mg/L).



Şekil 6.78 Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 10.961 mg/L).

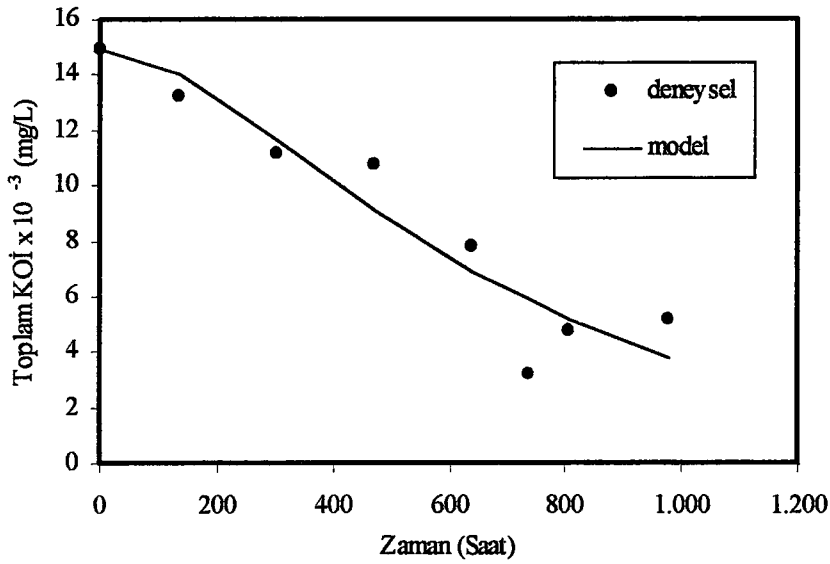


Şekil 6.79 Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 13.214 mg/L).

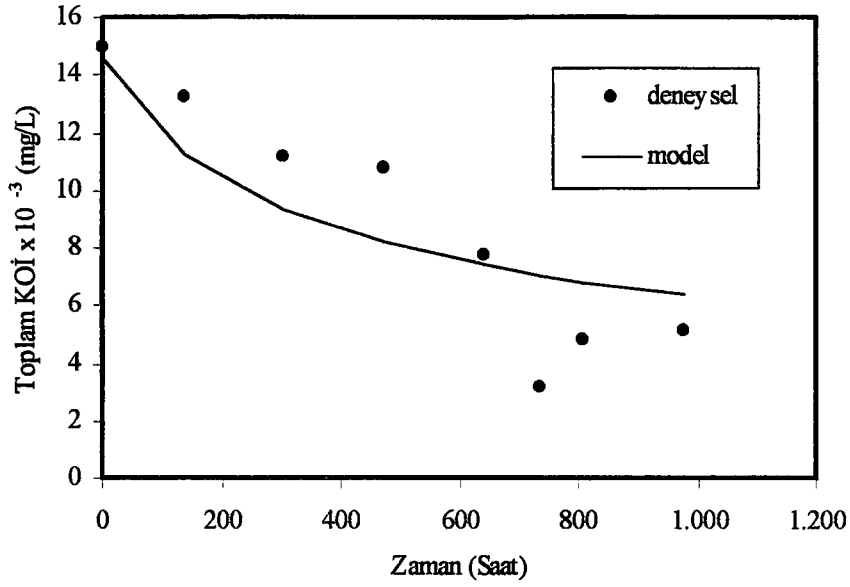


Şekil 6.80 Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 13.214 mg/L).

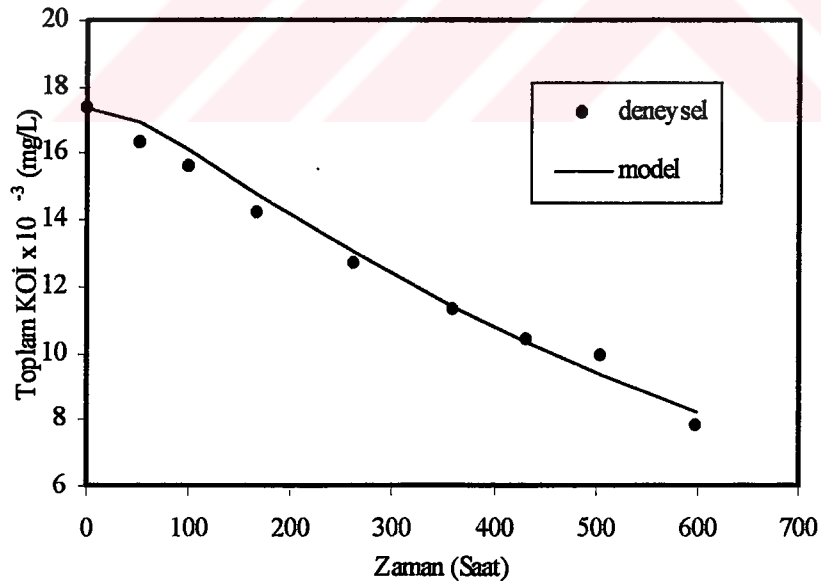
Buna ilave olarak başlangıç KOİ değeri 14.933 mg/L ve 17.359 mg/L olan sentetik çözeltilerin Pakmaya Aktif Çamuru ile anaerobik arıtımından elde edilen deneyisel verilerin model denklemden hesaplanan değerlerle kıyaslanması da Şekil 6.81 - 84'de sunulmuştur.



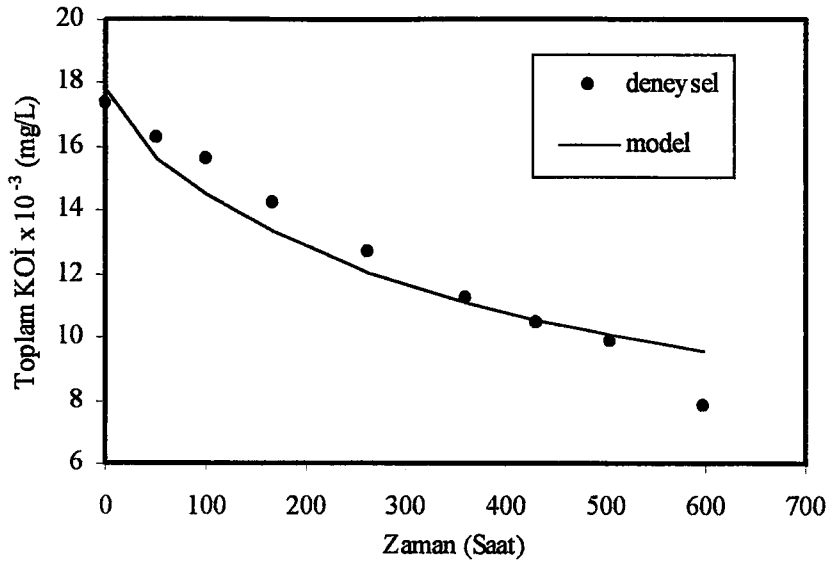
Şekil 6.81 Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 14.933 mg/L).



Şekil 6.82 Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 14.933 mg/L).

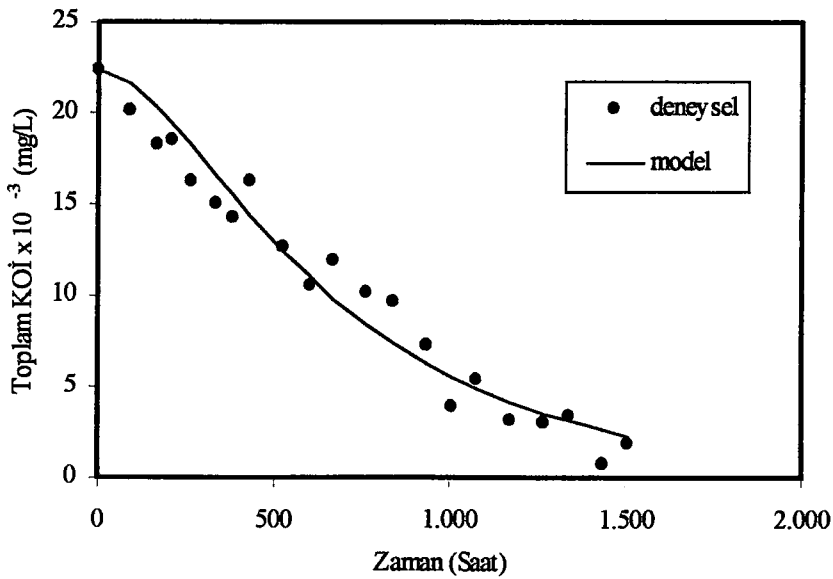


Şekil 6.83 Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 17.359 mg/L).

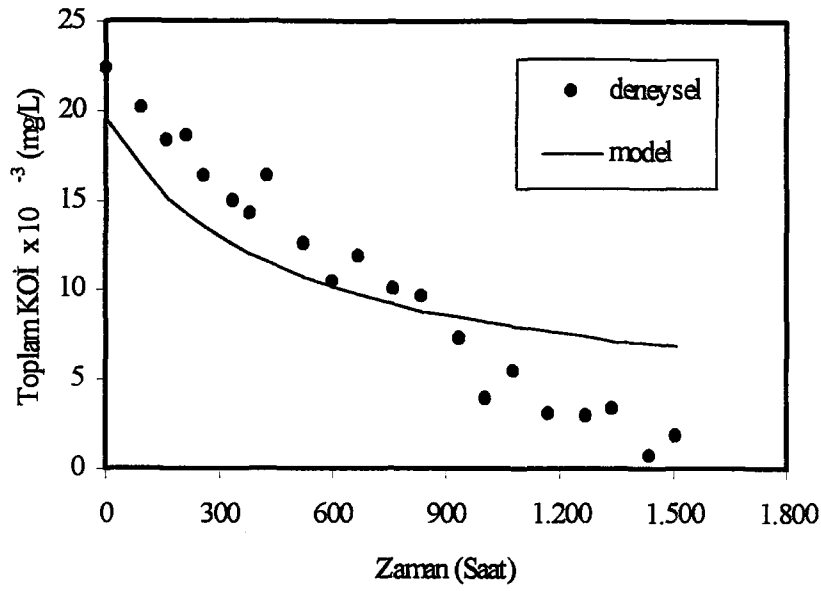


Şekil 6.84 Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci merteye kabulü; Başlangıç KOİ= 17.359 mg/L).

Başlangıç KOİ değeri 22.326 mg/L olan orijinal atıksuyun Fako Aktif Çamuru ile anaerobik arıtımında elde edilen deneySEL verilerin model denklemden hesaplanan değerlerle kıyaslanması da Şekil 6.85 ve 6.86'de sunulmuştur.

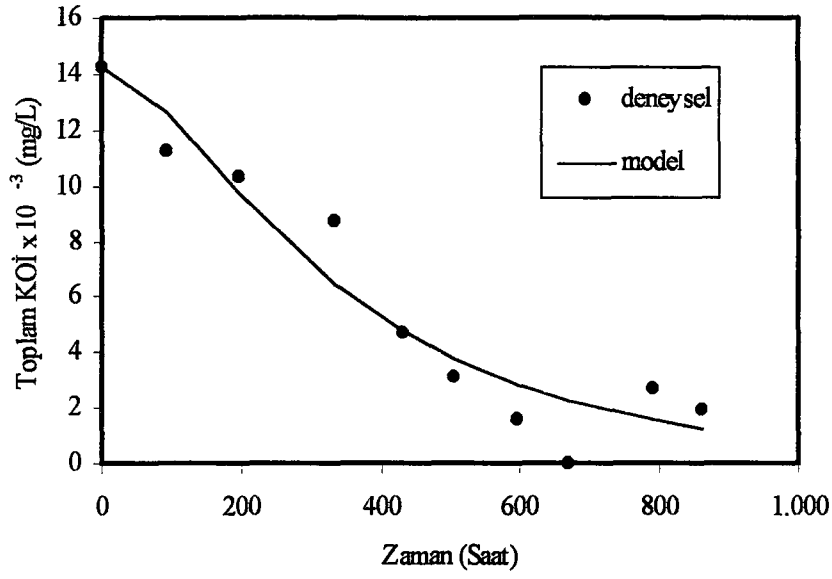


Şekil 6.85 Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci merteye kabulü; Başlangıç KOİ= 22.326 mg/L).

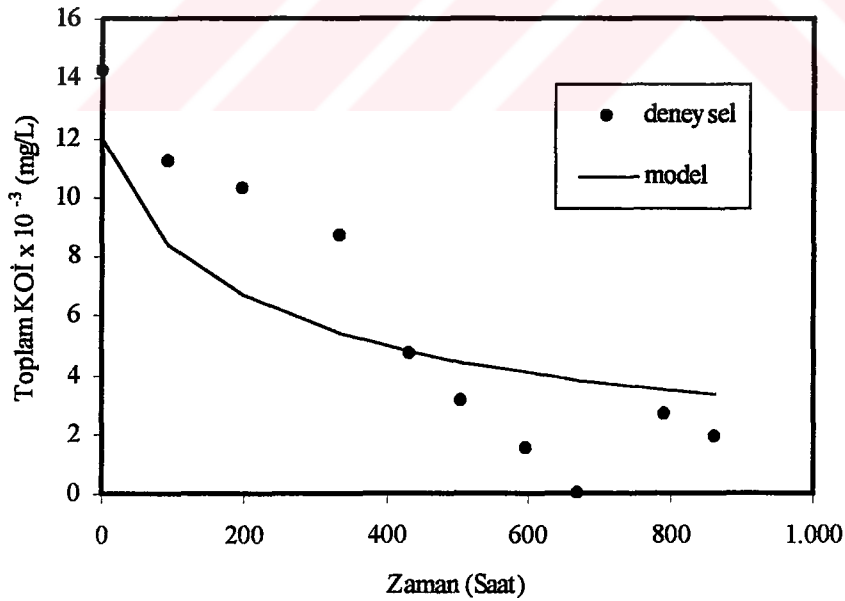


Şekil 6.86 Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç $KOI=22.326$ mg/L).

6.75 - 6.86 no'lu şekillerdeki deneysel veriler ile model eğrisinin kıyaslanmasından, orta kirlilikteki atıksuların ($KOI=10.094 - 22.326$ mg/L) arıtım kinetiğinin birinci mertebe kinetiğine uyum gösterdiği görülmektedir. Benzer uyum gerçekleştirilen şahit deney verileri ile oluşturulan Şekil 6.87 ve 6.88'de de görülmektedir.

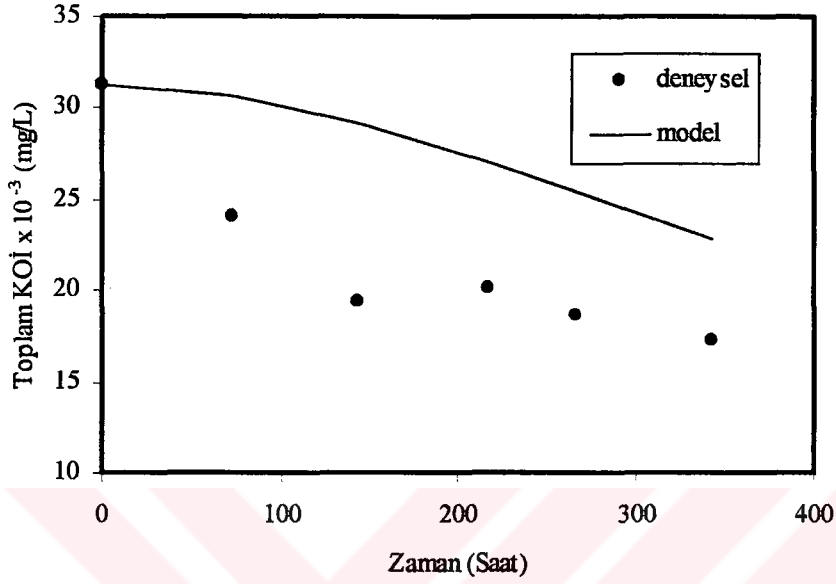


Şekil 6.87 Fermentörde su ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 14.257 mg/L).

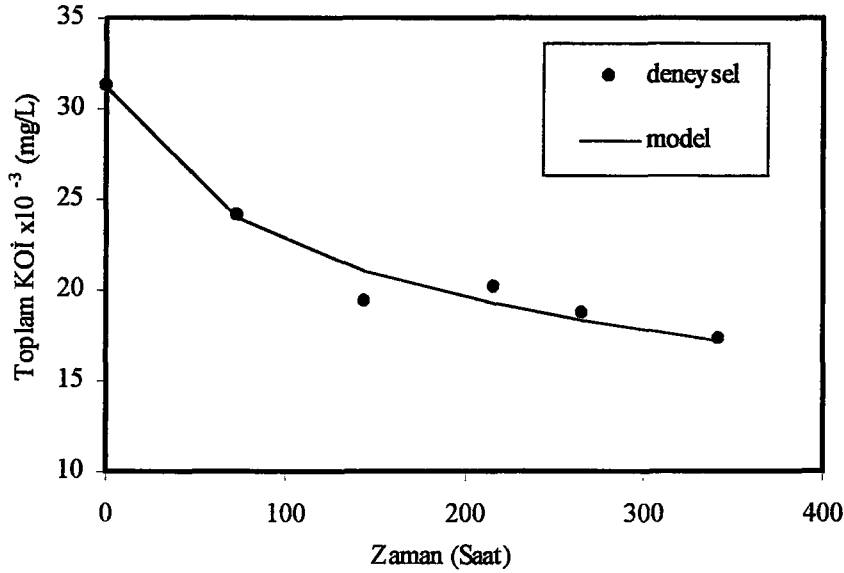


Şekil 6.88 Fermentörde su ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 14.257 mg/L).

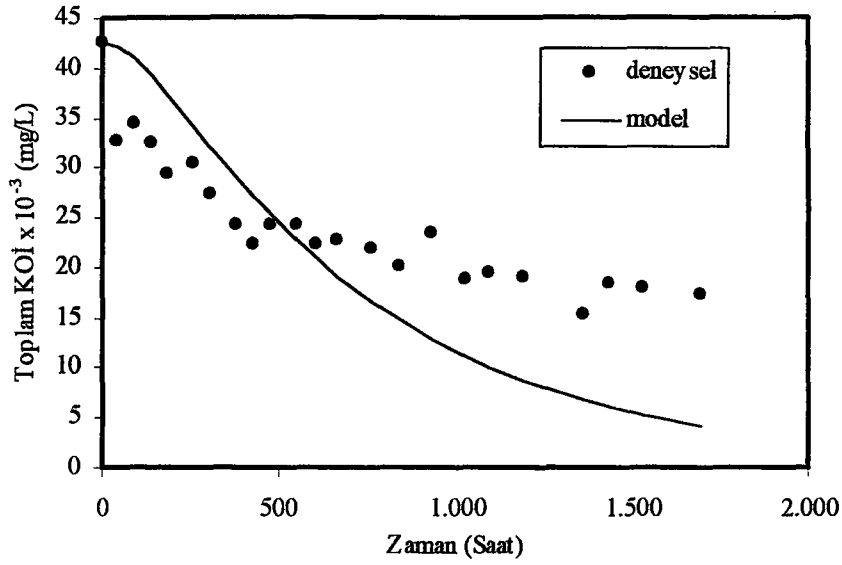
Düşük ve orta kirlilikteki atıksuların arıtım kinetiğinin incelenmesinden sonra yüksek kirlilikteki atıksuların arıtım kinetiğini belirlemek için yapılan çalışmaların deneysel verileri ile model eğrisi kıyaslanması Şekil 6.89 - 92 'de sunulmuştur.



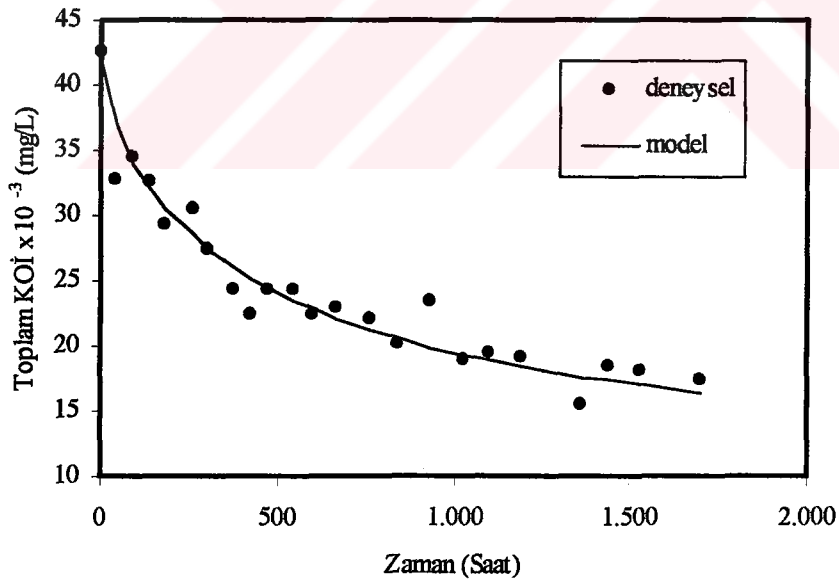
Şekil 6.89 Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 31.284 mg/L).



Şekil 6.90 Çalkalamalı su banyolu düzenekte sentetik çözelti ile gerçekleştirilen anaerobik arıtımda S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 31.284 mg/L).



Şekil 6.91 Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (Birinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 42.623 mg/L).



Şekil 6.92 Fermentörde Fako Atıksuyu ile gerçekleştirilen anaerobik arıtmada S_T 'nin değişimi ve model eğrisi ile uyumu (İkinci mertebe kabulü; Başlangıç KOİ= 42.623 mg/L).

Şekil 6.89 - 92'deki deney değerleri ile model eğrisinin kıyaslanmasından, yüksek kirlilikteki antibiyotik üretimi atıksuyunun anaerobik arıtımının ikinci mertebe kinetiğine uyduğu saptanmıştır. Dolayısıyla bu tezin anaerobik olarak atıksu arıtımı çalışmalarına temel katkısı, arıtımda varsayılan üç adımın literatürde modellendiği gibi homojen birinci değil, Çifçi (1997) ikinci mertebe kinetiği izlediği kabulünü yaparak özellikle yüksek kirlilikteki antibiyotik üretimi atıksuyunun arıtımını daha başarılı modellemektedir.

6.4 İstatistik Değerlendirme

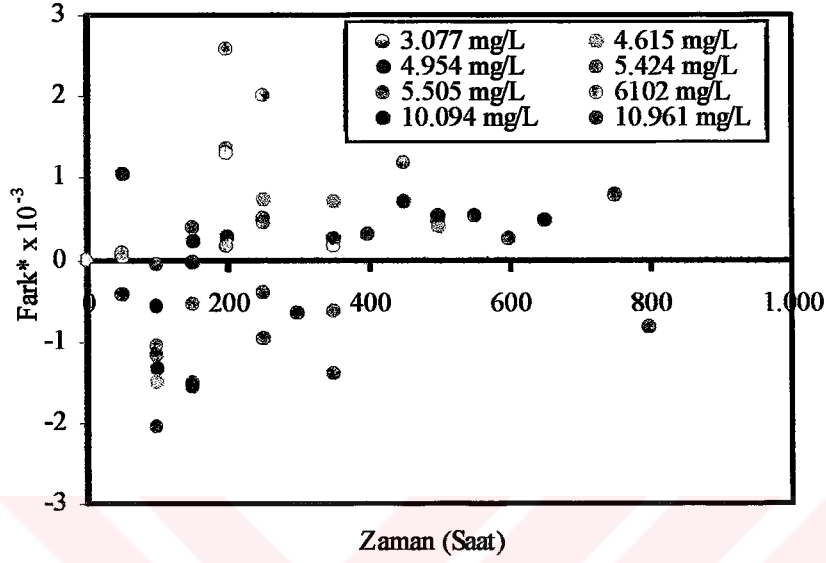
İstatistikte herşeyden önce; kesin bir fikir sahibi bulunduğumuz bir varlık üzerindeki bilgi ile, belli olamayan bir varlığın ortaya konulması ve sınırların tayininin yapılması istenmektedir.

Türetilen kinetik modelin kullanılabilirliğini ortaya koyabilmek için, geliştirilen kinetik modelden hesaplanan değerler ile deneysel değerlerin istatistiksel değerlendirmesinde aşağıdaki yöntem kullanılmıştır.

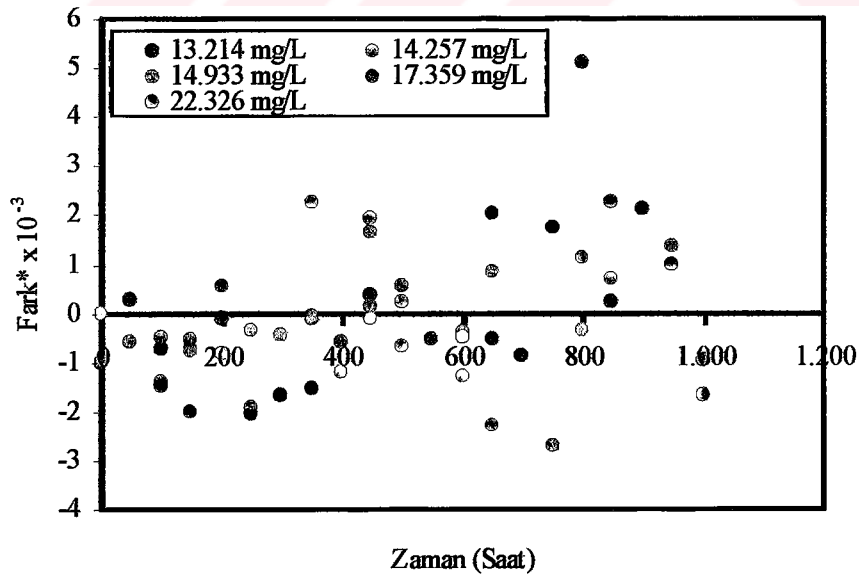
Bu yöneme göre, deneysel verilerle model denklemden hesaplanan değerlerin arasındaki farklar hesaplanarak zamanla değişimlerini gösteren grafikleri oluşturulur. Bu değerlerin x eksenini boyunca dağılımları incelenir. Eğer oluşturulan bu grafiklerde bir korelasyon mevcutsa, model denklemden eksik bir terim olduğu sonucuna varılır (Wonnacott ve Wonnacott, 1985). Bu yöneme göre oluşturulan grafikler Şekil 6.93 - 95'de görülmektedir. Bu şekillerden de anlaşılabileceği gibi x eksenini boyunca değerler arasında sistematik bir korelasyon mevcut değildir. Bu türetilmiş olan kinetik model denklemden eksik terim olmadığını göstermektedir. Ancak model denklemin kullanılabilirliğini göstermek için regresyon analizleri yapılmıştır (Montgomery, 1991). Yapılan regresyon analizleri sonuçları Tablo 6.7'de sunulmuştur.

Tablo değerleri incelendiğinde de başlangıç KOİ değeri 10.094 - 22.326 mg/L aralığındaki atıksuların arıtım kinetiğinin birinci mertebe, başlangıç KOİ değeri 31.284 - 42.623 mg/L olan atıksuların arıtım kinetiğinin ise ikinci mertebeye uyum sağladığı görülmektedir. Ancak başlangıç KOİ değeri 3.077 - 6.102 mg/L aralığındaki atıksular için ise herhangi bir mertebe uyumundan bahsetmek mümkün

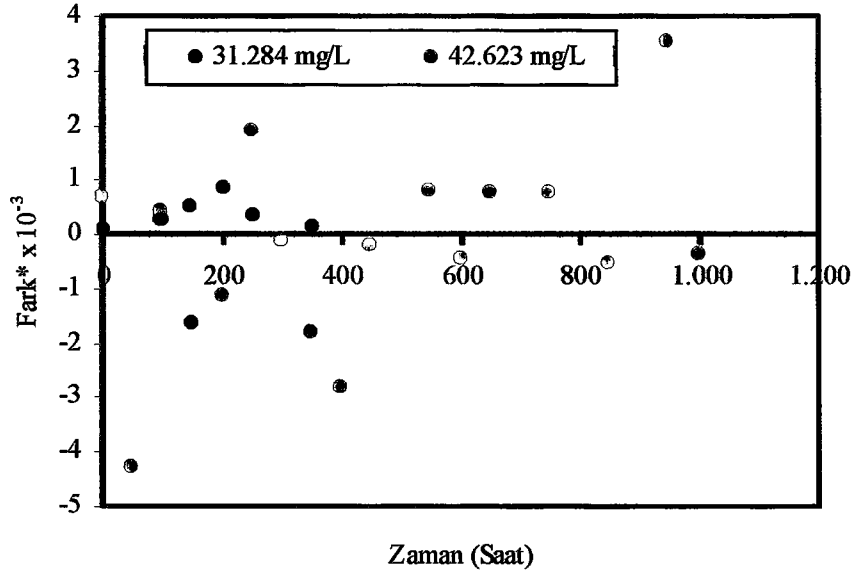
değildir. Sonuç olarak pekçok reaksiyonun gerçekleştiği anaerobik arıtımda bu çalışmada türetilmiş olan model denklem (belirlenen KOİ aralığında) kullanılabilir.



Şekil 6.93 İstatistik değerlendirme (Birinci merteye kabulü;
KOİ= 3.077 - 10.961 mg/L aralığında).
*Fark = (S_T)_{deneyisel} - (S_T)_{model}



Şekil 6.94 İstatistik değerlendirme (Birinci merteye kabulü;
KOİ=13.214 - 22.326 mg/L aralığında).
*Fark = (S_T)_{deneyisel} - (S_T)_{model}



Şekil 6.95 İstatistik değerlendirme (İkinci mertebe kabulü)

$$*Fark = (S_T)_{deneysel} - (S_T)_{model}$$

Tablo 6.7 Belirli KOİ aralığı için hesaplanan regresyon katsayıları.

KOİ Aralığı (mg/L)	Regresyon Katsayıları	
	Birinci Mertebe Kabulü	İkinci Mertebe Kabulü
3.077-6.102	0,13-0,97	0,31-0,77
10.094-22.326	0,96-1,00	0,52-0,86
31.284-42.623	-----	0,99-1,00

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Organik yükü yüksek olan antibiyotik üretimi atıksuyunun anaerobik olarak arıtılması ve arıtım kinetiğinin incelenmesi amacı ile yapılan bu çalışmada, laboratuvar ölçeğinde orijinal atıksu ve sentetik olarak hazırlanan çözeltiler belirli işlem şartlarında anaerobik arıtıma tabi tutulmuştur. Başlangıçtaki organik kirlilik miktarının değiştirilmesi ile yapılan çalışmalarda kirliliğin arıtım işleminin yürüyüşünü nasıl etkilediği takip edilerek arıtım için uygun bir kinetik model geliştirilmiştir.

Yürütülen bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Yürütülen tüm çalışmalar, en uygun koşullar olan $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve pH'ın 6,5 - 7,5 aralığında tutulduğu, homojenliğin sağlanması için karıştırma hızının 150 dev/dk olduğu anaerobik bir fermentör ve çalkalamalı su banyosunda yürütülmüştür. Arıtım işleminde anaerobik mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmeleri için gerekli olan besin maddelerini içeren bir kompleks vitamin kullanılmıştır. Belirlenen bu işlem şartlarında farklı başlangıç KOİ değerine (3.077 - 42.623 mg/L aralığında) sahip çözeltiler ile yapılan anaerobik arıtım işlemlerinin içinde, başlangıç KOİ değeri 22.326 mg/L olan çalışmada 1437. saatte en yüksek verim değeri olan % 97'ye ulaşılmıştır. Literatürdeki anaerobik arıtım çalışmalarının sonuçları ile bir kıyaslama yapıldığında, bu değer iyi bir verim olduğu söylenebilir (Elnekave, 1999; Chen ve diğ, 1994; Nunez ve Martinez, 1999; Yu ve diğ, 1998).
- Arıtımın yürüyüşü açısından tüm deneylerde UYA miktarındaki ve pH'daki değişme ve katı madde miktarlarındaki (TKM, TÇKM, AKM ve UAKM)

değişimler kendi içlerinde uyum sergilemektedir. $\frac{UAKM}{AKM}$ oranları

incelendiğinde, arıtım işleminin yürüyüşünde mikroorganizma canlılığının %96'lara çıktığı görülebilir ki bu da verimin yükselmesinde önemli bir faktördür.

- Yürütülen anaerobik arıtım işlemlerinin bazılarında verimin düşük olmasının nedeni, başlangıç KOİ değerinin oldukça yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda genellikle düşük ve orta kirlilikteki (5.000 - 20.000 mg/L KOİ) atıksuların arıtımı incelendiği için verim daha yüksek değerlere sahiptir.
- Anaerobik arıtım işleminin yürüyüşü esnasında tüm deneysel çalışmalarda (saf su ile yapılan çalışma hariç) ortamda giderilemeyen inert bir KOİ'nin varlığı tespit edilmiştir. Bu inert KOİ değeri çalışmalarda 725 - 3.250 mg/L değerleri arasında değişim göstermektedir. Özellikle düşük kirlilikteki atıksuların, yani başlangıç KOİ değeri 3.077 - 10.961 mg/L arasında olan atıksuların anaerobik arıtımlarında veriminin düşük olmasının nedenlerinden biri de bu giderilemeyen KOİ'dir.
- Çalışmalarda mevcut inert KOİ değerini azaltıcı yönde işlemler gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle vitamin etkisini görmek için fazladan besin maddesi ilavesi yapılarak ve besin maddesi ilavesi olmadan hazırlanan çözeltiler arıtıma tabi tutulmuştur. Ayrıca değişik aktif çamur kullanılarak arıtımın yürüyüşü takip edilmiştir. Pakmaya/İzmit Fabrikasından ve Fako İlaçları A.Ş.'den temin edilen aktif çamur kullanılarak gerçekleştirilen arıtım işlemleri sonucunda, yapılacak arıtım işlemleri için besin maddesi ilavesinin yapılmasına ve aktif çamur olarak da arıtımda Fako İlaçları A.Ş.'den temin edilen çamurun kullanılmasına karar verilmiştir. Bunun nedeni, Fako'dan temin edilmiş olan aktif çamurun arıtımın verimini arttırmasıdır. Bu da Fako aktif çamurunun, aynı tesisin atıksularının anaerobik arıtımında kullanılmış olması ve aktif çamur içinde bulunan mikroorganizmaların da Fako orjinal atıksuyunda bulunan kimyasallara alışmış olmasından kaynaklanmaktadır.

- Çeşitli endüstrilerin atıksularının anaerobik olarak arıtılması ile ilgili mevcut literatür çalışmaları incelendiğinde düşük kirlilikteki atıksuların KOİ değerinin 10.000 mg/L KOİ'den az, orta derecedeki kirliliğe sahip atıksuyun KOİ değerinin ise 10.000 - 20.000 mg/L KOİ aralığında olduğu tespit edilmiştir. Arıtım kinetiğinin ise genellikle bu değerlerdeki KOİ için birinci mertebe kinetiğine uyum sağladığı çalışmalar literatürde fazlaca mevcuttur (Çiftçi, 1997; Sheng ve Cheng, 2000). Ancak yüksek kirlilikteki atıksular için yani KOİ değeri 25.000 mg/L'den daha fazla olan atıksuların arıtımı ve kinetiğinin incelenmesi ile ilgili çalışma mevcut değildir. Yapılan bu çalışmanın da esas amacı bu konuyu aydınlatmaktır. Gerçekleştirilen bu çalışmada ulaşılan sonuç ise KOİ değeri 25.000 mg/L'den daha yüksek olan atıksuların arıtım kinetiğinin ikinci mertebe kinetiğine uyum sağladığıdır.
- Yüksek kirlilikteki antibiyotik üretim atıksuyunun arıtımı için reaksiyonun her üç adımı için homojen olarak ikinci mertebe yaklaşımına göre herhangi bir andaki toplam kirliliğin zamana karşı değişimi için geliştirilmiş olan ifade aşağıdaki gibidir:

$$S_T = \left(\frac{S_{A0}}{1 + k_1 S_{A0} t} \right) + \left(\frac{k_1 S_{A0}}{2k_2 + 2tk_1 k_2 S_{A0}} + \frac{1}{2k_2 (1 + tk_1 S_{A0})} \{ -\sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4k_2 S_{A0}} + \right.$$

$$\left. \frac{2\sqrt{k_1 + 4k_2 S_{A0}}}{1 + \left(\frac{(1 + tk_1 S_{A0})^{-\sqrt{k_1 + 4k_2 S_{A0}} / \sqrt{k_1}} (k_1 S_{A0} + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4k_2 S_{A0}})}{-k_1 S_{A0} + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4k_2 S_{A0}}} \right)} \right\} +$$

$$\left(\frac{k_1 S_{A0}}{2k_3 + 2tk_1 k_3 S_{A0}} + \frac{\sqrt{k_1 (k_1^2 + 4k_1 k_2 + 4k_2 k_3) S_{A0}^2}}{2\sqrt{k_1 + 4k_2 k_3} (1 + tk_1 S_{A0})} \right) +$$

$$\left(\frac{\left((k_1^2 + 4k_1k_2 + 2k_2k_3)S_{A0} + \sqrt{k_1 + 4k_2} \sqrt{k_1(k_1^2 + 4k_1k_2 + 4k_2k_3)S_{A0}^2} \right) \left(-1 + (k_1 + 4k_2)^2 k_3^2 (1 + tk_1S_{A0}) \right)}{2(k_1 + 4k_2)k_3(1 + tk_1S_{A0})} \right)$$

Deneyssel ve model denklemden hesaplanan değerlerin birbirine çok yakın olmasından ötürü (Şekil 6.90 ve Şekil 6.92), yüksek kirlilikteki atıksuların arıtılması ikinci mertebe kinetiğine uymaktadır.

- Geliştirilmiş olan bu ifadeden yararlanılarak; spesifik büyüme hızı olan μ , spesifik substrat tüketim hızı olan q , büyüme verimi olan Y ve bakteriyal ölüm hızı olan k_d kinetik sabitlerinin hesaplanması ve anaerobik arıtım işlemi sırasında herhangi bir andaki toplam kirlilik miktarını tespit etmek mümkündür.
- Geliştirilmiş olan model denklemde eksik bir terim olup olmadığını görebilmek için istatistiksel değerlendirme yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda deneyssel ve model veriler arasında sistematik bir korelasyonun mevcut olmadığı tespit edilmiştir. Bu da geliştirilen model denklemin yeterli olduğunu göstermektedir.
- KOİ değeri 10.000 mg/L'den küçük olan çalışmaların sonuçları irdelendiğinde, arıtım kinetiği hem birinci hem de ikinci mertebeye uygunluk göstermektedir. Bu nedenle düşük KOİ için kesin bir mertebe uyumundan söz etmek mümkün olmamakla birlikte, bundan sonraki çalışmalarda bu konunun netleştirilmesi için daha kapsamlı çalışmaların yapılması ve tüm reaksiyon adımlarını içeren reaksiyon mekanizması için değişik mertebe yaklaşımının denenmesi önerilebilir.
- Değişik endüstriyel atıksular için de türetilen model denklemin geçerliliğinin araştırılması da önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Adams, C.D. and McKinney, R.E., 1989.** Anaerobic Trickling Filters: A New Treatment Potential Proceeding of the 44th Annual Purdue Industrial Waste Conference, University of Kansas, Lawrence, Kansas.
- APHA, AWWA, WPCF, 1989.** Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th Edition, American Public Health Association, Washington.
- Benefield, L.D. and Randall, C.W., 1980.** Biological Process Design for Wastewater Treatment, Pentice-Hall, Inc.
- Berg, V.D. and Lentz, P., 1981.** Performance and Stability of the Anaerobic Contact Process as Affected by Waste Composition, Inoculation and Solid Retention Time, Purdue University.
- Brown, S.C., Grady, L.Jr and Tabak, H.H., 1990.** Biodegradation Kinetics of Substituted Phenolics; Demostration of Protocol Based on Electrolytic Respirometry, *Water Research*, **24**, 7, 853-861.
- Buhr, H.O. and Andrews, J.F., 1977.** The Thermophilic Anaerobic Digestion Process, *Water Research*, **11**, 129-143.
- Chen, Y.F., Ng, N.J. and Yap, M.G.S., 1994.** Performance of Upflow Anaerobic Biofilter Process in Pharmaceutical, Wastewater Treatment Conservation and Recycling, **11**, 83-91.
- Chen, Y.R. and Hashimoto, A.G., 1980.** Substrate Utilization Kinetic Model for Biological Treatment Processes, *Biotechnology and Bioengineering*, **22**, 2081-2085.
- Christ, O., Wilderer, P.A., Angerhöfer, R. and Faulstich, M., 2000.** Mathematical Modelling of the Hydrolysis of Anaerobic Processes, *Water Science and Technology*, **41**, 3, 61-65.
- Chudoba, A.J., 1985.** Quantitative Estimation in COD Unites of Refractory Organic Compounds Produced by Activated Sludge Microorganisms, *Water Research*, **19**, 37-43.
- Chudoba, A.J., 1985.** Inhibitory Effect of Refractory Organic Compounds Produced by Activated Sludge Microorganisms on Microbial Activity and Flocculation, *Water Research*, **19**, 197-200.

- Chudoba, A.J., Albokova, J. and Cech, J.S., 1989.** Determination of Kinetic Constant of Activated Sludge Microorganisms Responsible for Degradation of Xenobiotics, *Water Research*, **23**, 11, 1431-1438.
- Cimşit, Y., 1986.** Ardışık Kesikli Reaktörlerle Kuvvetli Atıksuların Arıtım Esasları, Doktora Tezi, İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Contois, D.E., 1959.** Kinetics of Bacterial Growth, Relationship Between Population Density and Specific Growth Rate of Continuous Cultures, *Journal of Genetic Microbiology*, **21**, 40-50.
- Çiftçi, G., 1997.** Ekmek Mayası Üretimi Atıksuyunun Anaerobik Arıtılması ve Modellenmesi, Doktora Tezi, İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çiftçi, T. and Öztürk, İ., 1995.** Nine Years of Full-Scale Anaerobic-Aerobic Treatment Experiences with Fermentation Industry Effluents, *Water Science and Technology*, **32**, 131-139.
- Çiler, M.F., 1985.** Kuvvetli Atıksuların Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yatağında Arıtım ve Tasarım Esasları, İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- D'adamo, P.D., Rozich, A.F. and Gaudy, A.F.Jr., 1984.** Analysis of Growth Data With Inhibitory Carbon Sources, *Biotechnology and Bioengineering*, **26**, 397-402.
- Dagley, S. and Nicholson, D.E., 1970.** An Introduction to Methabolic Pathways, John Wiley & Sons.
- Dennis, R.W. and Irvine, R.L., 1981.** A Stoichiometric Model of Bacterial Growth, *Water Research*, **15**, 1363-1373.
- Elnekave, M., 1999.** Formaldehyde and Iso-Propanol Treatment in an Anaerobic Fluidized Bed Reactor and Kinetic Evaluations, PhD Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul.
- Ergenç, N., Salman, A. ve Salman, S., 1992.** Türkiye'de Üretilen İlaç Etken Maddeleri, 1. Baskı, 16-33, İstanbul Üniversitesi Yayını, İstanbul.
- Froster, C.F. and Wase, D.A.J., 1987.** Environmental Biotechnology, Ellis Horwood Series in Chemical Engineering, London.
- Godrej, A.N. and Scherrard, J.H., 1980.** Kinetic and Stoichiometry of Activated Sludge Treatment of a Toxic Organic Wastewater, *Journal of Water Pollution Control Fed.*, **60**, 2, 221-226.
- Grady, C.P.L.Jr, 1989.** Determination of Biodegradation Kinetics Trough Use of Electrolytic Respirometry, *Water Science and Technology*, **21**, 8/9, 957-968.
- Grady, C.P.L.Jr and Roper, R.E.Jr, 1947.** A Model for the Biooxidation Process Which Incorporates the Viability Concept, *Water Research*, **8**, 471-483.

- Grau, P., Dohanyos, M. and Chudoba, J., 1975.** Kinetic of Multicomponent Substrate Removal by Activated Sludge, *Water Research*, **9**, 637-642.
- Gray, N.F., 1989.** Biology of Wastewater Treatment, Oxford Science Publications, London.
- Gülvardar, S. ve Alp,S., 1993.** Anaerobik Arıtma ve Maya Fabrikası Atıklarına Uygulanması, Bitirme devi, İ. T. ., İstanbul.
- Henze, M. and Harremoes, P., 1983.** Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors-A Literature Review, *Water Science and Technology*, **15**, 1-101.
- Hulshoff, P., 1983.** Granulation in UASB-Reactors, *Water Science and Technology*, **15**, 291-304.
- Iza, J., Colleran, E., Paris, J.M. and Wu,W., 1991.** International Workshop on Anaerobic Treatment Technology for Municipal and Industrial Wastewaters, *Water Science and Technology*, **24**, 8, 1-16.
- Jeyaseelan, S., 1997.** A Simple Mathematical Model for Anaerobic Digestion Process, *Water Science and Technology*, **35**, 8, 185-191.
- Karaalp, O., 1998.** Rasyonel Tedavi Yönünden Tıbbi Farmakoloji, 8. Baskı, 1, 175-200, Hacettepe-Taş Kitapçılık, Ankara.
- Kınacı, C., 1987.** Biyoreaktör Verimine Akım Şartlarının Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kiely, G., Tayfur, G., Dolan, C. and Tanji, K., 1997.** Physical and Mathematical Modelling of Anaerobic Digestion of Organic Wastes, *Water Research*, **31**, 3, 534-540.
- Lema, J.M., Mendez, R., Iza, J., Carcia, P. and Fernandez-Polanco, F., 1991.** Chemical Reactor Engineering Concepts in Design and Operation of Anaerobic Treatment Processes, *Water Science and Technology*, **24**, 8, 79-86.
- Lettinga, G., 1980.** Use of Sludge Blanket Reactor Concept for Biological Wastewater Treatment, *Biotechnology and Bioengineering*, **22**, 455-475.
- Lin, C.Y., 1993.** Effect of Heavy Metals on Acidogenesis in Digestion, *Water Research*, **22**, 1, 147-152.
- Luong, J.H.J., 1987.** Generalization of Monod Kinetics for Analysis of Growth Data With Substrate Inhibition, *Biotechnology and Bioengineering*, **29**, 242-248.
- McCarty, P.L., 1964.** Anaerobic Waste Treatment Fundamentals, Part Two, Public Works, Stanford.

- McCarty, P.L., 1981.** One Hundred Years of Anaerobic Treatment, In Anaerobic Digestion, D.E., Hughes et al. (Eds.), Elsevier Biomedical Press, 3-22, Amsterdam.
- McCarty, P.L., 1981.** History and Overview of Anaerobic Digestion, 2nd Int. Symp. On Anaerobic Digestion.
- Monod, J., 1949.** The Growth of Bacterial Cultures, *Ann. Rev. Microbial*, 3, 371-376.
- Montgomery, D.C., 1991.** Design and Analysis of Experiments, 3rd Edition, 497-498, John Wiley & Sons, New York.
- Mualler, R.F. and Steiner, R.A., 1992.** Inhibiton of Anaerobic Caused by Heavy Metals, *Water Science and Technology*, 24, 835-846.
- Muslu, Y., 1994.** Atıksuların Arıtılması, İ.T.Ü. Yayınları, Yayın No 1535, İstanbul.
- Münch, E., Keller, J., Lant, P. and Newell, R., 1999.** Mathematical Modelling of Prefermenters-I. Model Development and Verification, *Water Research*, 33, 12, 2757-2768.
- Nicolaou, M. and Hodjivassilis, I., 1992.** Treatment of Wastewater from the Textile Industry, *Water Science and Technology*, 25, 1, 31-35.
- Nunez, L.A. and Martinez, B., 1999.** Anaerobic Treatment of Slughterhouse Wastewater in an Expanded Granular Sludge Bed Reactor, *Water Science and Technology*, 40, 8, 99-106.
- Pavlostathis, S.G. and Giraldo G.E., 1991.** Kinetics of Anaerobic Treatment, *Water Science and Technology*, 24, 8, 35-59.
- Rozich, A.F., Gaudy, A.F. and D'adamo, P.C., 1985.** Selection of Growth Rate Model for Activated Sludge Treating Phenol, *Water Research*, 19, 4, 481-490.
- Sheng, H.L. and Cheng, L.L., 2000.** Kinetic Characteristics of Textile Wastewater Ozonation in Fludized and Fixed Activated Carbon Beds, *Water Research*, 34, 3, 763-772.
- Speece, R.E, 1983.** Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater, *Environmental Science Technology*, 17, 416-427.
- Speece, R.E. and McCarty, P.L., 1982.** Nutrient Requirements and Biological Solida, Accumulation in Anaerobic Digestion, Proceedings of the International Conference, London.
- Timur, A., 1986.** Kuvvetli Atıksuların Yukarı Akışlı Havasız Filtrede Arıtım Kinetiği, Doktora Tezi, İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Timur, H., 1997.** Anaerobic Treatment Kinetics of Municipal Landfill Leachate, PhD Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul.

- Ubay,G.,1993.** Evsel Atıksuların Havasız Biyolojik Arıtımı Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Visser, A., Gao, Y. and Lettinga, G., 1993.** Effects of Short-Term Temperature Increases on the Mesophilic Anaerobic Breakdown of Sulfate Containing Synthetic Wastewater, *Water Research*, **27**, 4, 541-550.
- Yalman, A., 1993.** Antibiyotik Kullanımları ve Antibiyotiklerin İstenmeyen Etkileri, 5-25, İstanbul Tıp Fakültesi Antibiyotik Kontrol Komitesi, Logos Yayıncılık, İstanbul.
- Yu, H., Wilson, F. and Tay, J., 1998.** Kinetic Analysis of an Anaerobic Filter Treating Soybean Wastewater, *Water Research*, **32**, 11, 3341-3352.
- Yung, R.D. and Humphrey,A.E., 1975.** Dynamic and Steady State Studies of Phenol Biodegradation in Pure and Mixed Cultures, *Biotechnology and Bioengineering*, **17**, 1211-1235.
- Water Environment Federation, 1996.** Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants, Manual of Practice, 5th Edition, **3**, 1066-1086, Ed. Clesceri, L.S., Alexandria.
- Weddle, C.L. and Jenkins, D., 1985.** The Viability and Activity of Activated Sludge, *Water Research*, **5**, 621-640.
- Weiland, P. and Rozzi, A., 1991.** The Start-up, Operation and Monitoring of High-Rate Anaerobic Treatment Systems: Discusser's Report, *Water Science and Technology*, **24**, 8, 257-277.
- Wonnacott, R.J. and Wonnacott, T.H., 1985.** Introductory Statistics, 4th Edition, 416-419, John Wiley & Sons, Canada.

EK A

Tablo A.1 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ : 3.077 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	7,24	76	3.077	3.140	1.120	1.080	1.580
118	7,12	182	2.308	3.240	760	680	2.280
235	7,41	68	3.019	3.400	980	820	2.020
357	7,63	129	1.482	3.180	1.100	940	1.420
480	7,96	68	2.222	2.240	1.080	920	1.440

Tablo A.2 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ : 4.615 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	7,23	61	4.615	3.640	1.900	1.280	2.380
118	7,75	45	3.077	4.340	1.340	1.080	2.500
235	7,34	136	5.283	4.880	1.340	1.064	2.440
357	7,5	121	5.185	3.760	1.340	1.052	1.600
480	7,96	38	4.778	4.140	2.220	2.180	2.080

Tablo A.3 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ :4.954 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	7,16	189	4.954	3.140	620	514	2.360
67	6,25	245	5.455	2.840	980	940	2.520
117	6,75	234	2.546	3.440	1.320	1.180	2.150
165	7,51	182	3.636	5.060	1.630	1.300	3.580
213	6,87	68	3.273	4.200	1.320	1.100	3.280

Tablo A.4 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ :5.424 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	7,23	83	5.424	7.540	1.150	1.140	6.620
92	5,23	113	3.934	6.740	1.100	900	6.120
140	5,73	91	4.262	6.920	1.330	1.060	5.640
188	6,35	113	5.807	6.780	1.290	1.080	5.820
260	9,88	113	4.364	6.960	1.280	1.140	5.640
355	6,88	98	2.546	7.000	1.390	1.180	5.540

Tablo A.5 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ :5.505 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	7,11	98	5.505	3.580	620	520	2.960
67	6,81	83	5.455	4.320	980	880	3.320
117	6,91	84	3.273	4.780	1.490	1.080	3.100
165	6,91	68	3.636	4.420	1.320	1.180	3.080
212	6,9	76	7.636	4.380	1.340	1.020	2.940

Tablo A.6 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ :6.102 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	7,13	87	6.102	9.560	1.460	1.030	8.000
91	6,99	98	4.068	9.160	1.160	1.080	8.300
140	6,98	61	2.951	8.340	1.180	960	8.100
188	6,91	76	5.161	8.040	1.180	1.000	7.760
259	7,13	83	5.161	8.000	1.120	1.080	7.480
355	7,16	61	2.546	7.980	1.100	1.020	6.900

Tablo A.7 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ :10.094 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	7,3	248	10.094	6.290	100	90	5.810
67	7,25	199	9.488	6.460	60	50	6.430
164	6,85	133	9.185	6.470	130	80	6.460
235	6,88	168	7.570	6.460	40	30	6.310
283	6,86	183	7.368	6.480	80	50	6.390
331	6,85	280	7.772	6.520	60	20	6.410
402	6,87	150	7.065	6.340	50	40	5.950
451	6,88	199	6.965	6.150	80	40	5.990
501	6,87	233	6.288	5.910	70	40	5.790
570	6,94	203	5.652	6.110	40	30	5.720
619	6,93	180	4.946	5.990	60	40	5.710
667	6,94	183	4.774	5.700	70	50	5.460
739	6,98	212	4.542	5.810	120	70	5.770
787	6,98	208	2.604	5.680	100	80	5.470
859	6,9	265	1.201	5.410	100	60	5.180
907	6,93	177	2.705	5.250	130	100	4.890
1.027	6,95	165	2.019	5.100	100	80	5.030
1.075	6,92	159	1.554	4.970	90	50	4.660
1.171	6,9	168	1.929	4.920	60	30	4.640

Tablo A.8 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ :10.961 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	7,16	98	10.961	17.040	5.240	2.680	5.220
47	7,12	72	9.923	11.540	4.340	2.200	4.980
94	6,45	280	8.481	10.200	5.100	3.380	3.840
143	6,36	144	7.785	14.760	4.980	2.380	4.760
191	7,25	129	6.589	11.640	3.200	1.040	5.120
262	7,16	83	4.815	4.100	1.980	1.700	2.820
333	7,06	189	2.814	5.480	2.480	1.600	3.340
408	6,96	234	3.696	5.160	1.980	1.560	2.460
477	7,29	227	3.960	8.000	5.340	1.740	4.320

Tablo A.9 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM Değerlerinin Zamanla Değişimi (Başlangıç KOİ :13 214 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	6,9	272	13.214	11.070	40	20	11.090
46	7,29	193	13.391	11.890	60	36	11.570
95	7,32	236	12.174	11.660	70	30	11.470
144	7,11	229	11.852	11.200	90	46	10.390
192	7,16	186	12.037	10.990	70	50	9.990
239	7,17	186	9.643	11.050	170	90	8.940
311	6,93	172	9.286	9.750	140	95	8.760
365	6,98	229	10.224	9.310	110	80	9.170
405	6,83	193	9.327	8.750	120	88	8.820
478	6,72	172	9.455	8.720	220	130	7.990
525	7,02	172	7.928	8.940	200	125	8.060
574	7,22	158	7.568	8.390	140	95	7.550
646	7,14	136	6.872	7.720	380	210	7.260
694	7,35	136	6.102	8.340	310	220	6.840
795	7,38	86	11.186	7.550	320	250	6.450
861	7,38	79	5.763	7.210	330	260	6.450
912	7,5	65	7.319	9.420	500	320	5.080
1.008	7,28	43	3.575	6.710	620	420	6.190
1.150	7,5	29	2.553	6.030	360	280	6.000
1.250	7,5	22	3.202	5.490	430	210	4.630
1.318	7,36	22	2.700	5.310	480	290	5.010
1.415	7,5	22	2.167	5.230	330	275	5.000

Tablo A.10 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ : 14.257 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	7,2	310	14.257	18.060	5.700	1.980	7.840
93	6,87	216	11.200	12.160	3.060	1.740	8.720
195	6,85	199	10.297	13.040	4.240	1.820	10.280
333	7,22	166	8.713	10.300	3.260	1.600	7.620
430	7,16	136	4.706	10.560	2.140	1.860	6.660
504	7,2	83	3.107	8.380	5.080	1.780	5.280
595	7,21	121	1.553	7.880	3.900	1.540	4.860
670	6,84	76	0	7.080	3.900	3.760	5.360
792	6,84	77	2.692	7.660	3.300	2.220	4.540
861	6,84	287	1.923	7.460	2.940	2.180	4.320

Tablo A.11 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ :14.933 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	7,33	129	14.933	23.260	8.860	2.300	7.280
136	6,62	121	13.241	22.240	5.914	1.500	7.820
304	7,53	61	11.200	15.504	7.800	2.180	6.648
472	6,3	129	10.752	18.150	3.040	1.620	13.040
640	7,24	204	7.765	17.600	7.620	1.920	8.920
736	7,26	106	3.168	18.600	14.680	2.960	6.720
807	7,3	151	4.800	13.080	10.840	2.680	6.360
977	7,61	113	5.133	11.060	5.050	2.760	5.660

Tablo A.12 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ :17.359 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	7,28	340	17.359	36.620	15.800	2.540	6.940
51	6,04	219	16.317	34.300	8.580	2.740	4.820
99	6,87	227	15.623	22.960	7.440	2.340	4.880
166	7,26	121	14.234	21.300	7.180	2.260	4.780
262	7,04	151	12.672	14.220	5.800	2.460	4.120
360	6,85	219	11.283	16.157	8.000	2.380	3.880
432	6,62	257	10.415	13.480	7.320	2.040	5.920
504	7,51	129	9.894	18.960	8.080	1.660	6.480
598	7,23	159	7.811	27.330	11.200	1.820	4.120

Tablo A.13 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ :22.326 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	7,12	272	22.326	11.490	380	220	9.740
92	7,39	258	20.090	11.270	360	320	10.160
164	7,5	279	18.286	9.780	280	210	9.360
211	7,5	201	18.519	10.010	350	280	8.610
262	7,5	201	16.296	9.730	370	320	8.500
334	7,15	215	14.977	9.450	650	480	8.740
381	7,14	229	14.247	9.310	420	330	8.810
429	7	287	16.296	8.880	370	345	8.190
525	7,4	272	12.632	8.310	420	375	7.520
599	7,49	193	10.526	8.270	360	315	7.840
669	7,5	265	11.826	8.540	440	398	7.740
764	7,49	129	10.087	8.440	430	376	7.370
837	7,5	122	9.655	7.050	390	342	6.640
932	7,5	79	7.241	6.190	310	274	5.840
1.005	7,5	57	3.846	6.430	380	268	5.920
1.076	7,5	50	5.385	6.910	130	118	5.840
1.172	7,5	43	3.077	6.240	240	196	5.490
1.269	7,38	36	2.963	6.330	180	174	5.630
1.341	7,5	36	3.333	5.470	120	118	5.370
1.437	7,5	36	727	5.570	560	420	4.830
1.508	7,5	50	1.818	5.940	510	475	5.790

Tablo A.14 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ :31.284 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	7,3	64	31.284	34.500	14.160	3.220	10.020
72	6,79	91	24.156	39.940	13.480	3.260	9.460
144	6,29	235	19.411	26.740	27.680	3.774	8.020
217	6,77	461	20.098	25.540	24.940	4.060	7.780
266	6,41	182	18.667	26.440	29.940	3.240	5.440
342	6,65	386	17.254	30.000	18.960	3.500	10.680

Tablo A.15 pH, UYA, KOİ, TKM, AKM, UAKM ve TÇKM değerlerinin zamanla değişimi (Başlangıç KOİ :42.623 mg/L).

Zaman (Saat)	pH	UYA (mg/L)	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TÇKM (mg/L)
0	7,02	444	42.623	26.140	740	340	23.320
42	6,97	380	32.787	25.960	300	160	25.380
89	6,82	373	34.426	26.220	360	140	24.740
137	6,82	530	32.520	25.570	450	200	22.990
184	6,86	351	29.365	25.090	310	130	21.990
257	6,97	344	30.469	24.520	230	140	21.190
305	7,06	1.021	27.359	23.110	260	160	20.380
375	6,98	846	24.299	21.430	320	230	21.010
425	6,89	429	22.430	21.960	310	230	20.970
472	6,87	790	24.299	20.800	220	160	19.140
545	6,9	492	24.312	19.180	300	150	18.420
600	6,85	509	22.430	18.600	330	130	17.620
665	6,93	705	22.936	19.130	370	160	17.220
761	6,93	503	22.026	18.370	230	120	16.950
837	7,02	701	20.087	17.870	210	140	16.790
932	7,02	713	23.433	16.450	190	130	16.500
1.025	7,08	837	18.919	16.540	200	130	15.680
1.097	7,14	501	19.469	16.280	500	380	15.440
1.193	7,14	672	19.167	16.070	210	190	14.720
1.361	7,23	348	15.451	14.580	310	180	13.640
1.436	7,22	371	18.455	14.150	240	170	13.100
1.529	7,19	569	18.026	13.680	240	150	13.190
1.697	7,24	472	17.355	12.770	140	130	12.080

EK B

DSolve[x'[t] == -k₁ x[t]², x[t], t]

$$\left\{ \left\{ x[t] \rightarrow \frac{1}{-C[1] + t k_1} \right\} \right\}$$

DSolve[y'[t] == k₁ $\left(\frac{x_0}{1 + x_0 t k_1} \right)^2 - k_2 y[t]^2$, y[t], t]

$$\left\{ \left\{ y[t] \rightarrow \left(1 - \left(k_1 x_0 \tan \left[\frac{1}{2} \left(-\frac{C[1] k_1 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} + \frac{\log[1 + t k_1 x_0] k_1 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_2 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} + \frac{4 \log[1 + t k_1 x_0] k_2 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} \right) \right] \right) / \left(\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2} - \left(4 k_2 x_0 \tan \left[\frac{1}{2} \left(-\frac{C[1] k_1 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} + \frac{\log[1 + t k_1 x_0] k_1 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_2 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} + \frac{4 \log[1 + t k_1 x_0] k_2 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} \right) \right] \right) / \left(\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2} \right) \right) / \left(k_2 \left(2 t + \frac{2 k_1 x_0}{k_1^2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 x_0^2} + \frac{8 k_2 x_0}{k_1^2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 x_0^2} \right) \right) \right\} \right\}$$

$$\text{FullSimplify} \left[\left(1 - \left(k_1 x_0 \tan \left[\frac{1}{2} \left(-\frac{C[1] k_1 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} + \frac{\log[1 + t k_1 x_0] k_1 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_2 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} + \frac{4 \log[1 + t k_1 x_0] k_2 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} \right) \right] \right) / \left(\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2} - \left(4 k_2 x_0 \tan \left[\frac{1}{2} \left(-\frac{C[1] k_1 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} + \frac{\log[1 + t k_1 x_0] k_1 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_2 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} + \frac{4 \log[1 + t k_1 x_0] k_2 x_0}{\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2}} \right) \right] \right) / \left(\sqrt{-k_1^2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 x_0^2} \right) \right) / \left(k_2 \left(2 t + \frac{2 k_1 x_0}{k_1^2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 x_0^2} + \frac{8 k_2 x_0}{k_1^2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 x_0^2} \right) \right) \right]$$

$$\frac{k_1 x_0 - \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 \tanh \left[\frac{(C[1] - \log[1 + t k_1 x_0]) \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{2 \sqrt{k_1}} \right]}{2 (k_2 + t k_1 k_2 x_0)}$$

$$\text{FullSimplify}\left[\text{TrigToExp}\left[\frac{k_1 x_0 - \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 \tanh\left[\frac{(C[1] - \log[1 + t k_1 x_0]) \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{2 \sqrt{k_1}}\right]}{2 (k_2 + t k_1 k_2 x_0)}\right]\right]$$

$$\frac{\left(-1 + \frac{2}{\frac{(C[1] - \log[1 + t k_1 x_0]) \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}}} \right) \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{1 + E} + \frac{k_1 x_0}{2 k_2 + 2 t k_1 k_2 x_0}$$

$$\text{FullSimplify}\left[\frac{1}{2 k_2 \left(1+t k_1 x_0\right)}\left(\left(-1+2 /\left(1+E^{\wedge}\left(\left(\frac{\sqrt{k_1}}{\sqrt{k_1+4 k_2}}\right.\right.\right.\right.\right.\right.$$

$$\frac{1}{2} \sqrt{k_1} x_0 \left\{ \frac{\sqrt{k_1}}{k_2 + t k_1 k_2 x_0} + \frac{1}{k_2 (1 + t k_1 x_0)} (\sqrt{k_1 + 4 k_2} \right.$$

$$\left. - 1 + \frac{2}{1 + \frac{(1+t k_1 x_0) \sqrt{k_1}}{-k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 + 2 k_2 y_0}} \left(k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 - 2 k_2 y_0 \right) \right\}$$

$$\text{DSolve}[z'[t] == k_2 \left(\frac{1}{2} \sqrt{k_1} x_0 \left(\frac{\sqrt{k_1}}{k_2 + t k_1 k_2 x_0} + \frac{1}{k_2 (1 + t k_1 x_0)} (\sqrt{k_1 + 4 k_2} \right) \right.$$

$$\left(-1 + 2 / \left(1 + \left((1 + t k_1 x_0) \frac{-\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 - 2 k_2 y_0) \right) \right) \right) \\ / \left((-k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 + 2 k_2 y_0) \right) \right)^2 - k_3 z[t]^2, z[t], t]$$

$$\text{Expand}\left[\left(\frac{1}{2} \sqrt{k_1} x_0 \left(\frac{\sqrt{k_1}}{k_2 + t k_1 k_2 x_0} + \frac{1}{k_2 (1 + t k_1 x_0)} (\sqrt{k_1 + 4 k_2} (-1 + 2 / (1 + \right.\right.\right.\right.$$

$$\left. \left. \left. \left. (1 + t k_1 x_0) \frac{-\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 - 2 k_2 y_0) \right) \right) \right) \right) /$$

$$\left. \left. \left. \left. (-k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 + 2 k_2 y_0) \right) \right) \right) \right)^2]$$

$$\frac{k_1^2 x_0^2}{4 k_2^2 (1 + t k_1 x_0)^2} + \frac{k_1 x_0^2}{k_2 (1 + t k_1 x_0)^2} + \frac{k_1^2 x_0^2}{4 (k_2 + t k_1 k_2 x_0)^2} - \\ \frac{k_1^{3/2} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0^2}{2 k_2 (1 + t k_1 x_0) (k_2 + t k_1 k_2 x_0)} + (k_1^2 x_0^2) / (k_2^2 (1 + t k_1 x_0)^2 (1 + \\ \left((1 + t k_1 x_0) \frac{-\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 - 2 k_2 y_0) \right) / \\ (-k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 + 2 k_2 y_0))^2 + (4 k_1 x_0^2) / \\ \left(k_2 (1 + t k_1 x_0)^2 \left(1 + \left((1 + t k_1 x_0) \frac{-\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 - 2 k_2 y_0) \right) \right) / \\ (-k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 + 2 k_2 y_0))^2 - (k_1^2 x_0^2) / (k_2^2 (1 + t k_1 x_0)^2 \\ \left(1 + \left((1 + t k_1 x_0) \frac{-\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 - 2 k_2 y_0) \right) \right) /$$

$$\begin{aligned}
& (-k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 + 2 k_2 y_0)) - (4 k_1 x_0^2) / (k_2 (1 + t k_1 x_0)^2 \\
& \left(1 + \left((1 + t k_1 x_0) - \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 - 2 k_2 y_0) \right) \right) / \\
& (-k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 + 2 k_2 y_0)) + (k_1^{3/2} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0^2) / \\
& (k_2 (1 + t k_1 x_0) (k_2 + t k_1 k_2 x_0) \\
& \left(1 + \left((1 + t k_1 x_0) - \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 - 2 k_2 y_0) \right) \right) / \\
& (-k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 + 2 k_2 y_0))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{FullSimplify} \left[\frac{k_1^2 x_0^2}{4 k_2^2 (1 + t k_1 x_0)^2} + \frac{k_1 x_0^2}{k_2 (1 + t k_1 x_0)^2} + \frac{k_1^2 x_0^2}{4 (k_2 + t k_1 k_2 x_0)^2} - \right. \\
& \left. \frac{k_1^{3/2} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0^2}{2 k_2 (1 + t k_1 x_0) (k_2 + t k_1 k_2 x_0)} + (k_1^2 x_0^2) / (k_2^2 (1 + t k_1 x_0)^2 (1 + \right.
\end{aligned}$$

$$\left((1 + t k_1 x_0) - \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 - 2 k_2 y_0) \right) \Bigg] /$$

$$(-k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 + 2 k_2 y_0))^2 + (4 k_1 x_0^2) / (k_2 (1 + t k_1 x_0)^2 (1 +$$

$$\left((1 + t k_1 x_0) - \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 - 2 k_2 y_0) \right) \Bigg] /$$

$$(-k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 + 2 k_2 y_0))^2 - (k_1^2 x_0^2) / (k_2^2 (1 + t k_1 x_0)^2 (1 +$$

$$\left\{ (1 + t k_1 x_0) \frac{-\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1+4k_2} x_0 - 2 k_2 y_0) \right\} /$$

$$(-k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1+4k_2} x_0 + 2 k_2 y_0)) - (4 k_1 x_0^2) / (k_2 (1 + t k_1 x_0)^2 (1 +$$

$$\left\{ (1 + t k_1 x_0) \frac{-\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1+4k_2} x_0 - 2 k_2 y_0) \right\} /$$

$$(-k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1+4k_2} x_0 + 2 k_2 y_0)) + (k_1^{3/2} \sqrt{k_1+4k_2} x_0^2) /$$

$$(k_2 (1 + t k_1 x_0) (k_2 + t k_1 k_2 x_0)$$

$$\left\{ 1 + \left\{ (1 + t k_1 x_0) \frac{-\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1+4k_2} x_0 - 2 k_2 y_0) \right\} / \right.$$

$$(-k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1+4k_2} x_0 + 2 k_2 y_0)) \left. \right\}]$$

$$\left\{ 2 k_1 x_0^2 \left\{ 2 k_2 y_0^2 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1+4k_2} \left\{ -1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} \right\} y_0 (2 x_0 + y_0) + \right.$$

$$k_1 (2 x_0^2 + 2 x_0 y_0 + y_0^2) - 4 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} (-k_2 y_0^2 + k_1 x_0 (x_0 + y_0)) + \right.$$

$$\left. \left. \left. (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} (2 k_2 y_0^2 + k_1 (2 x_0^2 + 2 x_0 y_0 + y_0^2)) \right\} \right\} / ((1 + t k_1 x_0)^2 \right.$$

$$\left\{ k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1+4k_2} x_0 \left\{ 1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} \right\} - 2 k_2 y_0 - \right.$$

$$\left. \left. (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1 x_0 - 2 k_2 y_0) \right\}^2 \right\}$$

$$\text{DSolve}[z'[t] == k_2 \left(2 k_1 x_0^2 \left(2 k_2 y_0^2 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) \right) \right.$$

$$y_0 (2 x_0 + y_0) + k_1 (2 x_0^2 + 2 x_0 y_0 + y_0^2) - 4 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (-k_2 y_0^2 + k_1 x_0 (x_0 + y_0)) +$$

$$\left. (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (2 k_2 y_0^2 + k_1 (2 x_0^2 + 2 x_0 y_0 + y_0^2)) \right) \Bigg] / ((1 + t k_1 x_0)^2$$

$$\left(k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 \left(1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) - 2 k_2 y_0 - (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right.$$

$$\left. (k_1 x_0 - 2 k_2 y_0) \right)^2 - k_3 z[t]^2, z[t], t]$$

$$\text{Expand} \left[\left((1 + t k_1 x_0)^2 \left(k_1 x_0 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 \left(1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) - \right. \right. \right.$$

$$\left. \left. 2 k_2 y_0 - (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1 x_0 - 2 k_2 y_0) \right) \right)^2 \right]$$

$$\begin{aligned} & 2 k_1^2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 x_0^2 + 2 k_1^{3/2} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0^2 + 4 t k_1^3 x_0^3 + 8 t k_1^2 k_2 x_0^3 + \\ & 4 t k_1^{5/2} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0^3 + 2 t^2 k_1^4 x_0^4 + 4 t^2 k_1^3 k_2 x_0^4 + 2 t^2 k_1^{7/2} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0^4 + \\ & 8 k_1 k_2 x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} + 16 t k_1^2 k_2 x_0^3 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} + 8 t^2 k_1^3 k_2 x_0^4 \\ & (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} + 2 k_1^2 x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} + 4 k_1 k_2 x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} - \\ & 2 k_1^{3/2} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} + 4 t k_1^3 x_0^3 (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} + 8 t k_1^2 k_2 x_0^3 \\ & (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} - 4 t k_1^{5/2} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0^3 (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} + 2 t^2 k_1^4 x_0^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (1+t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} + 4t^2 k_1^3 k_2 x_0^4 (1+t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} - 2t^2 k_1^{7/2} \sqrt{k_1+4k_2} x_0^4 \\
& (1+t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} - 4k_1 k_2 x_0 y_0 - 4\sqrt{k_1} k_2 \sqrt{k_1+4k_2} x_0 y_0 - 8t k_1^2 k_2 x_0^2 y_0 - \\
& 8t k_1^{3/2} k_2 \sqrt{k_1+4k_2} x_0^2 y_0 - 4t^2 k_1^3 k_2 x_0^3 y_0 - 4t^2 k_1^{5/2} k_2 \sqrt{k_1+4k_2} x_0^3 y_0 + \\
& 8k_1 k_2 x_0 (1+t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 + 16t k_1^2 k_2 x_0^2 (1+t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 + \\
& 8t^2 k_1^3 k_2 x_0^3 (1+t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 - 4k_1 k_2 x_0 (1+t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 + 4\sqrt{k_1} k_2 \\
& \sqrt{k_1+4k_2} x_0 (1+t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 - 8t k_1^2 k_2 x_0^2 (1+t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 + \\
& t k_1^{3/2} k_2 \sqrt{k_1+4k_2} x_0^2 (1+t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 - 4t^2 k_1^3 k_2 x_0^3 (1+t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 + \\
& y_0 + 4t^2 k_1^{5/2} k_2 \sqrt{k_1+4k_2} x_0^3 (1+t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 + 4k_2^2 y_0^2 + \\
& 8t k_1 k_2^2 x_0 y_0^2 + 4t^2 k_1^2 k_2^2 x_0^2 y_0^2 - 8k_2^2 (1+t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0^2 - \\
& 16t k_1 k_2^2 x_0 (1+t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0^2 - 8t^2 k_1^2 k_2^2 x_0^2 (1+t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0^2 + \\
& 4k_2^2 (1+t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0^2 + 8t k_1 k_2^2 x_0 (1+t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0^2 + \\
& 4t^2 k_1^2 k_2^2 x_0^2 (1+t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0^2
\end{aligned}$$

$$\text{FullSimplify}\left[(2k_1^2 x_0^2 + 4k_1 k_2 x_0^2 + 2k_1^{3/2} \sqrt{k_1+4k_2} x_0^2 + 4t k_1^3 x_0^3 + 8t k_1^2 k_2 x_0^3 +\right.$$

$$4t k_1^{5/2} \sqrt{k_1+4k_2} x_0^3 + 2t^2 k_1^4 x_0^4 + 4t^2 k_1^3 k_2 x_0^4 + 2t^2 k_1^{7/2} \sqrt{k_1+4k_2} x_0^4 +$$

$$8k_1 k_2 x_0^2 (1+t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} + 16t k_1^2 k_2 x_0^3 (1+t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} +$$

$$8t^2 k_1^3 k_2 x_0^4 (1+t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} + 2k_1^2 x_0^2 (1+t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} +$$

$$\begin{aligned}
& 4 k_1 k_2 x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} - 2 k_1^{3/2} \sqrt{k_1+4k_2} x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} + \\
& 4 t k_1^3 x_0^3 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} + 8 t k_1^2 k_2 x_0^3 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} - \\
& 4 t k_1^{5/2} \sqrt{k_1+4k_2} x_0^3 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} + 2 t^2 k_1^4 x_0^4 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} + \\
& 4 t^2 k_1^3 k_2 x_0^4 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} - 2 t^2 k_1^{7/2} \sqrt{k_1+4k_2} x_0^4 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} - \\
& 4 k_1 k_2 x_0 y_0 - 4 \sqrt{k_1} k_2 \sqrt{k_1+4k_2} x_0 y_0 - 8 t k_1^2 k_2 x_0^2 y_0 - 8 t k_1^{3/2} k_2 \sqrt{k_1+4k_2} x_0^2 y_0 - \\
& 4 t^2 k_1^3 k_2 x_0^3 y_0 - 4 t^2 k_1^{5/2} k_2 \sqrt{k_1+4k_2} x_0^3 y_0 + 8 k_1 k_2 x_0 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 + \\
& 16 t k_1^2 k_2 x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 + 8 t^2 k_1^3 k_2 x_0^3 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 - \\
& 4 k_1 k_2 x_0 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 + 4 \sqrt{k_1} k_2 \sqrt{k_1+4k_2} x_0 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 - \\
& 8 t k_1^2 k_2 x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 + 8 t k_1^{3/2} k_2 \sqrt{k_1+4k_2} x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 - \\
& 4 t^2 k_1^3 k_2 x_0^3 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 + 4 t^2 k_1^{5/2} k_2 \sqrt{k_1+4k_2} x_0^3 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0 + \\
& 4 k_2^2 y_0^2 + 8 t k_1 k_2^2 x_0 y_0^2 + 4 t^2 k_1^2 k_2^2 x_0^2 y_0^2 - 8 k_2^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0^2 - \\
& 16 t k_1 k_2^2 x_0 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0^2 - 8 t^2 k_1^2 k_2^2 x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0^2 + \\
& 4 k_2^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0^2 + 8 t k_1 k_2^2 x_0 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0^2 + \\
& 4 t^2 k_1^2 k_2^2 x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} y_0^2 \Big]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 2 (1 + t k_1 x_0)^2 (k_1^2 x_0^2 + 2 k_1 k_2 x_0^2 - 2 k_1 k_2 x_0 y_0 + 2 k_2^2 y_0^2 - \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 \\
& \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) (k_1 x_0 - 2 k_2 y_0) + (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \\
& \left((k_1^2 x_0^2 + 2 k_1 k_2 x_0 (x_0 - y_0) + 2 k_2^2 y_0^2) + 4 k_2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (-k_2 y_0^2 + k_1 x_0 (x_0 + y_0)) \right)
\end{aligned}$$

$$\text{DSolve}[z'[t] == k_2 \left(2 k_1 x_0^2 \left(2 k_2 y_0^2 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) \right. \right.$$

$$\begin{aligned}
& y_0 (2 x_0 + y_0) + k_1 (2 x_0^2 + 2 x_0 y_0 + y_0^2) - 4 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (-k_2 y_0^2 + k_1 x_0 (x_0 + y_0)) + \\
& \left. \left. (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (2 k_2 y_0^2 + k_1 (2 x_0^2 + 2 x_0 y_0 + y_0^2)) \right) \right] / (2 (1 + t k_1 x_0)^2
\end{aligned}$$

$$\left(k_1^2 x_0^2 + 2 k_1 k_2 x_0^2 - 2 k_1 k_2 x_0 y_0 + 2 k_2^2 y_0^2 - \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) \right)$$

$$(k_1 x_0 - 2 k_2 y_0) + (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1^2 x_0^2 + 2 k_1 k_2 x_0 (x_0 - y_0) + 2 k_2^2 y_0^2) +$$

$$4 k_2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (-k_2 y_0^2 + k_1 x_0 (x_0 + y_0)) \right] - k_3 z[t]^2, z[t], t]$$

$$\text{FullSimplify}[k_2 \left(2 k_1 x_0^2 \left(2 k_2 y_0^2 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) \right. \right.$$

$$y_0 (2 x_0 + y_0) + k_1 (2 x_0^2 + 2 x_0 y_0 + y_0^2) - 4 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (-k_2 y_0^2 + k_1 x_0 (x_0 + y_0)) +$$

$$\left. \left. \left. (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} (2k_2 y_0^2 + k_1 (2x_0^2 + 2x_0 y_0 + y_0^2)) \right) \right) \right) / (2(1 + t k_1 x_0)^2$$

$$\left(k_1^2 x_0^2 + 2k_1 k_2 x_0^2 - 2k_1 k_2 x_0 y_0 + 2k_2^2 y_0^2 - \sqrt{k_1} \sqrt{k_1+4k_2} x_0 \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) \right)$$

$$(k_1 x_0 - 2k_2 y_0) + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1^2 x_0^2 + 2k_1 k_2 x_0 (x_0 - y_0) + 2k_2^2 y_0^2) +$$

$$4k_2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} (-k_2 y_0^2 + k_1 x_0 (x_0 + y_0)) \right) \right]$$

$$\left(k_1 k_2 x_0^2 \left(2k_2 y_0^2 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1+4k_2} \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) y_0 (2x_0 + y_0) + \right. \right.$$

$$k_1 (2x_0^2 + 2x_0 y_0 + y_0^2) - 4(1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} (-k_2 y_0^2 + k_1 x_0 (x_0 + y_0)) +$$

$$\left. \left. (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} (2k_2 y_0^2 + k_1 (2x_0^2 + 2x_0 y_0 + y_0^2)) \right) \right) / ((1 + t k_1 x_0)^2$$

$$(k_1^2 x_0^2 + 2k_1 k_2 x_0^2 - 2k_1 k_2 x_0 y_0 + 2k_2^2 y_0^2 - \sqrt{k_1} \sqrt{k_1+4k_2} x_0$$

$$\left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) (k_1 x_0 - 2k_2 y_0) + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1^2 x_0^2 +$$

$$2k_1 k_2 x_0 (x_0 - y_0) + 2k_2^2 y_0^2) + 4k_2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} (-k_2 y_0^2 + k_1 x_0 (x_0 + y_0)) \right) \right)$$

$$\text{DSolve}[z'[t] == \left(k_1 k_2 x_0^2 \left(2k_2 y_0^2 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1+4k_2} \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1+4k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) \right) \right)$$

$$\begin{aligned}
& y_0 (2 x_0 + y_0) + k_1 (2 x_0^2 + 2 x_0 y_0 + y_0^2) - 4 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \\
& \left(-k_2 y_0^2 + k_1 x_0 (x_0 + y_0) \right) + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (2 k_2 y_0^2 + k_1 (2 x_0^2 + 2 x_0 y_0 + y_0^2)) \Bigg) \Bigg/ \\
& (1 + t k_1 x_0)^2 (k_1^2 x_0^2 + 2 k_1 k_2 x_0^2 - 2 k_1 k_2 x_0 y_0 + 2 k_2^2 y_0^2 - \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 \\
& \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) (k_1 x_0 - 2 k_2 y_0) + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \\
& (k_1^2 x_0^2 + 2 k_1 k_2 x_0 (x_0 - y_0) + 2 k_2^2 y_0^2) + 4 k_2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \\
& (-k_2 y_0^2 + k_1 x_0 (x_0 + y_0)) - k_3 z[t]^2, z[t], t]
\end{aligned}$$

NOT:Yukarıdaki denklemin çözümü için $y_0=0$ kabulü yapılmıştır.

$$\begin{aligned}
& \text{ReplaceAll}[z'[t] == \left(k_1 k_2 x_0^2 \left(2 k_2 y_0^2 + \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) \right. \right. \\
& y_0 (2 x_0 + y_0) + k_1 (2 x_0^2 + 2 x_0 y_0 + y_0^2) - 4 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \\
& \left. \left. (-k_2 y_0^2 + k_1 x_0 (x_0 + y_0)) + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (2 k_2 y_0^2 + k_1 (2 x_0^2 + 2 x_0 y_0 + y_0^2)) \right) \right) \Bigg/ \\
& ((1 + t k_1 x_0)^2 (k_1^2 x_0^2 + 2 k_1 k_2 x_0^2 - 2 k_1 k_2 x_0 y_0 + 2 k_2^2 y_0^2 - \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 \\
& \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) (k_1 x_0 - 2 k_2 y_0) + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \\
& (k_1^2 x_0^2 + 2 k_1 k_2 x_0 (x_0 - y_0) + 2 k_2^2 y_0^2) + 4 k_2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \\
& (-k_2 y_0^2 + k_1 x_0 (x_0 + y_0)) \Bigg) , \{y_0 \rightarrow 0\}]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
z'[t] = & \left(k_1 k_2 x_0^2 \left(2 k_1 x_0^2 - 4 k_1 x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} + \right. \right. \\
& \left. \left. 2 k_1 x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) \right) / ((1 + t k_1 x_0)^2 \\
& \left(k_1^2 x_0^2 + 2 k_1 k_2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right. \\
& \left. (k_1^2 x_0^2 + 2 k_1 k_2 x_0^2) - k_1^{3/2} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0^2 \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) \right) \Bigg)
\end{aligned}$$

NOT: Yukarıdaki denklemin çözümü için $(1 + t k_1 x_0) \cong 1$ kabul edilmiştir.

$$\begin{aligned}
\text{FullSimplify}\left[\left(k_1 k_2 x_0^2 \left(2 k_1 x_0^2 - 4 k_1 x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} + \right. \right. \right. \\
\left. \left. 2 k_1 x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) \right) / ((1 + t k_1 x_0)^2 (k_1^2 x_0^2 + 2 k_1 k_2 x_0^2 + \\
4 k_1 k_2 x_0^2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} (k_1^2 x_0^2 + 2 k_1 k_2 x_0^2) - \\
k_1^{3/2} \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0^2 \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) \Bigg) \Bigg]
\end{aligned}$$

$$\left(2 k_1 k_2 x_0^2 \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right)^2 \right) / ((1 + t k_1 x_0)^2 (2 k_2$$

$$\left(1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right)^2 - \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) +$$

$$k_1 \left(1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) \right) \right)$$

$$\text{DSolve}[z'[t] == \left(2 k_1 k_2 x_0^2 \left(1 - 2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} + (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) \right) /$$

$$\left((1 + t k_1 x_0)^2 \left(2 k_2 + 4 k_2 (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} + 2 k_2 (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) - \right.$$

$$\left. \sqrt{k_1} \sqrt{k_1 + 4 k_2} \left(-1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) + k_1 \left(1 + (1 + t k_1 x_0) \frac{2 \sqrt{k_1 + 4 k_2}}{\sqrt{k_1}} \right) \right) \right) -$$

$$k_3 z[t]^2, z[t], t]$$

$$\text{DSolve}[z'[t] == (2 k_1 k_2 x_0^2) / ((1 + t k_1 x_0)^2 (8 k_2 + 2 k_1)) - k_3 z[t]^2, z[t], t]$$

$$\{ \{ z[t] \rightarrow (k_1 + 4 k_2 - (k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0$$

$$\text{Tan} \left[\frac{1}{2 k_1 + 8 k_2} \left(- \frac{C[1] k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \right.$$

$$\frac{\text{Log}[1 + t k_1 x_0] k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \right.$$

$$\left. \frac{4 \text{Log}[1 + t k_1 x_0] k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} k_3 x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} \right\}$$

$$\begin{aligned}
& \left. \frac{4 \operatorname{Log}[1 + t k_1 x_0] k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 k_3 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} \right] \Bigg) / \left(\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} \right) - \\
& \left(4 k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0} \operatorname{Tan} \left[\frac{1}{2 k_1 + 8 k_2} \left(- \frac{C[1] k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \right. \right. \right. \\
& \left. \frac{\operatorname{Log}[1 + t k_1 x_0] k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \right. \\
& \left. \frac{4 \operatorname{Log}[1 + t k_1 x_0] k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 k_3 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \right. \\
& \left. \left. \left. \frac{4 \operatorname{Log}[1 + t k_1 x_0] k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 k_3 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} \right) \right] \Bigg) / \left(\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} \right) - \\
& \left(4 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 k_3 x_0} \operatorname{Tan} \left[\frac{1}{2 k_1 + 8 k_2} \left(- \frac{C[1] k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \right. \right. \right. \\
& \left. \frac{\operatorname{Log}[1 + t k_1 x_0] k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \right. \\
& \left. \frac{4 \operatorname{Log}[1 + t k_1 x_0] k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 k_3 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \right. \\
& \left. \left. \left. \frac{4 \operatorname{Log}[1 + t k_1 x_0] k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 k_3 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} \right) \right] \Bigg) / \left(\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} \right) - \\
& \left(4 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 k_3 x_0} \operatorname{Tan} \left[\frac{1}{2 k_1 + 8 k_2} \left(- \frac{C[1] k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \right. \right. \right. \\
& \left. \frac{\operatorname{Log}[1 + t k_1 x_0] k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \right. \\
& \left. \frac{4 \operatorname{Log}[1 + t k_1 x_0] k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 k_3 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \right. \\
& \left. \left. \left. \frac{4 \operatorname{Log}[1 + t k_1 x_0] k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 k_3 x_0}}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} \right) \right] \Bigg) / \left(\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} \right) \Bigg) / \\
& \left\{ k_3 \left(2 t k_1 + 8 t k_2 + \frac{2 k_1^3 x_0}{k_1^3 x_0^2 + 4 k_1^2 k_2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} + \right. \right.
\end{aligned}$$

$$\left(\frac{16 k_1^2 k_2 x_0}{k_1^3 x_0^2 + 4 k_1^2 k_2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} + \frac{32 k_1 k_2^2 x_0}{k_1^3 x_0^2 + 4 k_1^2 k_2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} + \frac{8 k_1 k_2 k_3 x_0}{k_1^3 x_0^2 + 4 k_1^2 k_2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} + \frac{32 k_2^2 k_3 x_0}{k_1^3 x_0^2 + 4 k_1^2 k_2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} \right) \}} \}$$

$$\text{FullSimplify}\left[\text{TrigToExp}\left[\left(k_1 + 4 k_2 - \left(k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 \tan\left[\frac{1}{2 k_1 + 8 k_2}\right.\right.\right.\right.\right.\right.\right.$$

$$\left. \left. \left. \left. - \frac{C[1] k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \frac{\text{Log}[1 + t k_1 x_0] k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \frac{4 \text{Log}[1 + t k_1 x_0] k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} k_3 x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \frac{4 \text{Log}[1 + t k_1 x_0] k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} k_3 x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} \right] \right] \right] / \left(\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} \right) - \left(4 k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0 \tan\left[\frac{1}{2 k_1 + 8 k_2}\right.\right.\right.\right.$$

$$\left. \left. \left. \left. - \frac{C[1] k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \frac{\text{Log}[1 + t k_1 x_0] k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \frac{4 \text{Log}[1 + t k_1 x_0] k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} k_3 x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \frac{4 \text{Log}[1 + t k_1 x_0] k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} k_3 x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} \right] \right] \right] / \left(\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} \right) - \left(4 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} k_3 x_0 \tan\left[\frac{1}{2 k_1 + 8 k_2}\right.\right.\right.\right.$$

$$\left. \left. \left. \left. - \frac{C[1] k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \frac{\text{Log}[1 + t k_1 x_0] k_1^2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \frac{4 \text{Log}[1 + t k_1 x_0] k_1 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} - \frac{4 C[1] k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} k_3 x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} + \frac{4 \text{Log}[1 + t k_1 x_0] k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} k_3 x_0}{\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2}} \right] \right] \right] / \left(\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} \right) - \left(4 k_2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} k_3 x_0 \tan\left[\frac{1}{2 k_1 + 8 k_2}\right.\right.\right.\right.$$

$$\left(\sqrt{-k_1^3 x_0^2 - 4 k_1^2 k_2 x_0^2 - 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} \right) / (k_3 (2 t k_1 + 8 t k_2 +$$

$$\frac{2 k_1^3 x_0}{k_1^3 x_0^2 + 4 k_1^2 k_2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} + \frac{16 k_1^2 k_2 x_0}{k_1^3 x_0^2 + 4 k_1^2 k_2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} +$$

$$\frac{32 k_1 k_2^2 x_0}{k_1^3 x_0^2 + 4 k_1^2 k_2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} + \frac{8 k_1 k_2 k_3 x_0}{k_1^3 x_0^2 + 4 k_1^2 k_2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} +$$

$$\frac{32 k_2^2 k_3 x_0}{k_1^3 x_0^2 + 4 k_1^2 k_2 x_0^2 + 4 k_1 k_2 k_3 x_0^2} \Big) \Big) \Big]$$

$$\frac{k_1 x_0}{2 k_3 + 2 t k_1 k_3 x_0} + \left(I \sqrt{-k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2} (1 + 1 / \right.$$

$$\left. \left(-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} E \right) - \frac{I C[1] \sqrt{-k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2}}{k_1 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}} \right.$$

$$\left. \left. \frac{I \sqrt{-k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2}}{k_1 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}} \right) \right) / (2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 k_3} (1 + t k_1 x_0))$$

$$\text{FullSimplify}\left[\frac{k_1 x_0}{2 k_3 + 2 t k_1 k_3 x_0} - \left(\sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2} (1 + 1 / \left(-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} E \right) \right. \right.$$

$$\left. \left(\frac{k_1 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}}{\sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2}} \log \left[\left(2 \sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2} \right) / \right. \right.$$

$$\left. \left. \left(2 z_0 k_3 \sqrt{k_1 + 4 k_2} - k_1 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0} + \sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2} \right) - 1 \right] \right)$$

$$\sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2} / (k_1 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0})$$

$$\left. \left. \frac{-\sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2}}{k_1 \sqrt{k_1 + 4 k_2 x_0}} \right) \right) / (2 \sqrt{k_1 + 4 k_2 k_3} (1 + t k_1 x_0))$$

$$\frac{k_1 x_0}{2 k_3 + 2 t k_1 k_3 x_0} - \left(\sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2} (1 + 1 / \right.$$

$$\left. - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} (1 + t k_1 x_0) \frac{\sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2}}{k_1 \sqrt{k_1 + 4 k_2} x_0} \left(-1 + \left(2 \sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2} \right) / \right. \right.$$

$$\left. \left(\sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2} + \sqrt{k_1 + 4 k_2} (-k_1 x_0 + 2 k_3 x_{Null_0}) \right) \right) \right) /$$

$$(2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} k_3 (1 + t k_1 x_0))$$

$$\text{DSolve}[q'[t] == k_3 \left(\frac{k_1 x_0}{2 k_3 + 2 t k_1 k_3 x_0} + \left(\sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2} \right) / \right.$$

$$\left. (2 \sqrt{k_1 + 4 k_2} k_3 (1 + t k_1 x_0)) \right)^2, q[t], t]$$

$$\left\{ \left\{ q[t] \rightarrow C[1] + (-k_1^2 x_0 - 4 k_1 k_2 x_0 - 2 k_2 k_3 x_0 - \sqrt{k_1 + 4 k_2} \right. \right.$$

$$\left. \left. \sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2} \right) / (2 (k_1 + 4 k_2) k_3 (1 + t k_1 x_0)) \right\} \right\}$$

$$\text{FullSimplify}[(-(-k_1^2 x_0 - 4 k_1 k_2 x_0 - 2 k_2 k_3 x_0 -$$

$$\sqrt{k_1 + 4 k_2} \sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2}) / (2 (k_1 + 4 k_2) k_3) +$$

$$\left((-k_1^2 x_0 - 4 k_1 k_2 x_0 - 2 k_2 k_3 x_0 - \sqrt{k_1 + 4 k_2} \sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2}) / \right.$$

$$\left. (2 (k_1 + 4 k_2) k_3 (1 + t k_1 x_0)) \right)]$$

$$\left(\left((k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 2 k_2 k_3) x_0 + \sqrt{k_1 + 4 k_2} \sqrt{k_1 (k_1^2 + 4 k_1 k_2 + 4 k_2 k_3) x_0^2} \right) \right.$$

$$\left. (-1 + (k_1 + 4 k_2)^2 k_3^2 (1 + t k_1 x_0)) \right) / (2 (k_1 + 4 k_2) k_3 (1 + t k_1 x_0))$$

EK CTablo C.1 Birinci mertebe yaklaşımına göre hesaplanan μ ve q değerleri.

Başlangıç KOİ Değeri 10.094 mg/L		Başlangıç KOİ Değeri 22.326 mg/L	
μ	q	μ	q
13,88	171,19	30,87	262,50
13,73	169,34	30,15	256,38
13,13	161,89	28,89	245,66
12,49	154,04	27,87	236,99
12,00	148,00	26,67	226,78
11,49	141,71	24,83	211,14
10,67	131,59	23,61	200,77
10,10	124,57	22,34	189,97
9,52	117,41	19,88	169,05
8,71	107,42	18,04	153,40
8,16	100,64	16,39	139,37
7,62	93,98	14,32	121,77
6,86	84,61	12,86	109,35
6,37	78,56	11,15	94,81

--	--	10,34	248,14
--	--	10,07	241,66
--	--	9,69	232,54
--	--	9,43	226,30
--	--	9,16	219,82
--	--	8,81	211,42
--	--	8,56	205,42
--	--	8,29	198,94
--	--	8,06	193,42
--	--	7,89	189,34
--	--	7,69	184,55
--	--	7,39	177,49
--	--	7,28	174,71
--	--	7,15	171,59
--	--	6,93	166,34

*,** 342. saatten sonra arıtımın sonlanması nedeniyle değerler hesaplanamamaktadır.

EK D

Tablo D.1 Deneysel olarak tespit edilen ve model denklemden hesaplanan toplam KOİ değerleri.

Zaman (Saat)	Birinci Mertebe Yaklaşımına Göre		İkinci Mertebe Yaklaşımına Göre	
	(S _T) _{Deneysel} (mg/L)	(S _T) _{Model} (mg/L)	(S _T) _{Deneysel} (mg/L)	(S _T) _{Model} (mg/L)
0	3.077	3.077	3.077	3.069
118	2.308	2.892	2.308	2.551
235	3.019	2.532	3.019	2.325
357	1.482	2.128	1.481	2.150
480	2.222	1.752	2.222	2.008
0	4.615	4.630	4.615	3.972
118	3.077	4.598	3.077	3.972
235	5.283	4.551	5.283	3.972
357	5.185	4.480	5.185	3.972
480	4.778	4.390	4.778	3.972
0	4.954	4.967	4.954	5.181
67	5.455	4.424	5.455	4.184
117	2.546	3.885	2.546	3.774
165	3.636	3.412	3.636	3.482
213	3.273	2.999	3.273	3.257
0	5.424	5.424	5.424	5.437
92	3.934	5.115	3.934	4.604
140	4.262	4.810	4.262	4.392
188	5.807	4.458	5.807	4.208
260	4.364	3.920	4.364	3.976
355	2.546	3.240	2.546	3.721
0	5.505	5.505	5.505	4.621
67	5.455	5.443	5.455	4.621
117	3.273	5.336	3.273	4.621
167	3.636	5.201	3.636	4.621
212	7.636	5.051	7.636	4.621

0	6.102	6.102	6.102	5.893
91	4.068	5.126	4.068	4.578
140	2.951	4.470	2.951	4.274
188	5.161	3.881	5.161	4.034
259	5.161	3.155	5.161	3.751
355	2.546	2.379	2.546	3.449
0	10.094	10.094	10.094	9.362
67	9.488	9.916	9.488	8.044
164	9.185	9.224	9.185	7.109
235	7.570	8.540	7.570	6.582
283	7.368	8.033	7.368	6.279
331	7.772	7.526	7.772	6.017
402	7.065	6.767	7.065	5.675
451	6.965	6.262	6.965	5.471
501	6.288	5.766	6.288	5.284
570	5.652	5.123	5.652	5.054
619	4.946	4.698	4.946	4.909
667	4.774	4.308	4.774	4.778
739	4.542	3.771	4.542	4.602
787	2.604	3.445	2.604	4.495
859	1.201	3.002	1.201	4.350
907	2.705	2.735	2.705	4.261
1.027	2.019	2.162	2.019	4.065
1.075	1.554	1.962	1.554	3.994
1.171	1.929	1.618	1.929	3.865
0	10.961	10.965	10.961	10.767
47	9.923	9.850	9.923	8.289
94	8.481	8.560	8.481	7.152
143	7.785	7.409	7.785	6.496
191	6.589	6.431	6.589	6.045
262	4.815	5.228	4.815	5.554
333	2.814	4.232	2.814	5.179
408	3.690	3.392	3.690	4.874
477	3.960	2.768	3.960	4.649

0	13.214	13.215	13.214	13.003
46	13.391	13.136	13.391	11.714
95	12.174	12.903	12.174	10.994
144	11.852	12.568	11.852	10.412
192	12.037	12.155	12.037	9.909
239	9.643	11.698	9.643	9.479
311	9.286	10.946	9.286	8.921
365	10.224	10.348	10.224	8.556
405	9.327	9.910	9.327	8.318
478	9.455	9.116	9.455	7.932
525	7.928	8.622	7.928	7.714
574	7.568	8.114	7.568	7.504
646	6.872	7.402	6.872	7.227
694	6.102	6.961	6.102	7.064
795	11.186	6.084	11.186	6.755
861	5.763	5.563	5.763	6.579
912	7.319	5.185	7.319	6.452
1.008	3.575	4.544	3.575	6.241
1.150	2.553	3.721	2.553	5.970
1.250	3.202	3.228	3.202	5.806
1.318	2.700	2.929	2.700	5.704
1.415	2.167	2.550	2.167	5.572
0	14.257	14.257	14.257	11.955
93	11.200	12.616	11.200	8.392
195	10.297	9.747	10.297	6.716
333	8.713	6.459	8.713	5.383
430	4.706	4.805	4.706	4.785
504	3.107	3.811	3.107	4.427
595	1.553	2.871	1.553	4.078
670	0	2.277	0	3.845
792	2.692	1.554	2.692	3.534
861	1.923	1.254	1.923	3.389

0	14.933	14.933	14.933	14.538
136	13.241	14.009	13.241	11.254
304	11.200	11.632	11.200	9.362
472	10.752	9.110	10.752	8.200
640	7.765	6.927	7.765	7.416
736	3.168	5.868	3.168	7.070
807	4.800	5.168	4.800	6.847
977	5.133	3.800	5.133	6.411
0	17.359	17.359	17.359	17.827
51	16.317	16.918	16.317	15.592
99	15.623	16.093	15.623	14.512
166	14.234	14.797	14.234	13.333
262	12.672	13.004	12.672	12.068
360	11.283	11.372	11.283	11.108
432	10.415	10.302	10.415	10.551
504	9.894	9.329	9.894	10.083
598	7.811	8.203	7.811	9.578
0	22.326	22.326	22.326	19.503
92	20.090	21.578	20.090	16.895
164	18.286	20.312	18.286	15.056
211	18.519	19.322	18.519	14.242
262	16.296	18.189	16.296	13.481
334	14.977	16.513	14.977	12.543
381	14.247	15.450	14.247	12.024
429	16.296	14.382	16.296	11.542
525	12.632	12.406	12.632	10.723
599	10.526	11.008	10.526	10.184
669	11.826	9.799	11.826	9.734
764	10.087	8.356	10.087	9.209
837	9.655	7.382	9.655	8.856
932	7.241	6.274	7.241	8.451
1.005	3.846	5.530	3.846	8.173
1.076	5.385	4.895	5.385	7.930
1.172	3.077	4.138	3.077	7.631
1.269	2.963	3.497	2.963	7.364
1.341	3.333	3.083	3.333	7.183
1437	727	2.604	727	6.961
1.508	1.818	2.298	1.818	6.811

0	31.284	31.289	31.284	31.203
72	24.156	30.671	24.156	23.916
144	19.411	29.147	19.411	21.044
217	20.098	27.053	20.098	19.247
266	18.667	25.475	18.667	18.311
342	17.254	22.917	17.254	17.131
0	42.623	42.623	42.623	41.932
42	32.787	42.209	32.787	37.059
89	34.426	41.015	34.426	33.982
137	32.520	39.336	32.520	32.014
184	29.365	37.398	29.365	30.478
257	30.469	34.246	30.469	28.555
305	27.359	32.131	27.359	27.464
375	24.299	29.202	24.299	26.108
425	22.430	27.205	22.430	25.255
472	24.299	25.408	24.299	24.524
545	24.312	22.843	24.312	23.527
600	22.430	21.083	22.430	22.867
665	22.936	19.137	22.936	22.154
761	22.026	16.606	22.026	21.244
837	20.087	14.829	20.087	20.611
932	23.433	12.861	23.433	19.909
1.025	18.919	11.194	18.919	19.308
1.097	19.469	10.053	19.469	18.891
1.193	19.167	8.710	19.167	18.388
1.361	15.451	6.777	15.451	17.632
1.436	18.455	6.059	18.455	17.337
1.529	18.026	5.273	18.026	17.000
1.697	17.355	4.102	17.355	16.463

ÖZGEÇMİŞ

Kimya Yük. Mühendisi İlda Değirmentaş, 1972 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da Özel Esayan Kız Lisesi'nde tamamladı. 1989 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Fakültesine girdi. 1991 yılında İTÜ Kimya Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş yaparak, 1993 Yaz Döneminde İTÜ Kimya – Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünden bölüm birincisi olarak ve Kimya Mühendisi ünvanı aldı. Aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Programı'nda Yüksek Lisans eğitime başladı. Prof. Dr. Nuran Deveci danışmanlığında "Atıksularda Sülfat Parçalanması" adlı Yüksek Lisans Tezini hazırladı. 1996 yılı ocak ayında Yüksek Mühendis ünvanını aldı. 1996 Kış Döneminde İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Programı'nda Doktora eğitime başladı.

1993 yılında İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesinde Formasyon Kursuna katılarak Öğretmenlik Sertifikasını ve 1998 yılı Temmuz ayında İTÜ ve KOSİCE Teknik Üniversiteleri arasındaki antlaşma kapsamında "4th INTERNATIONAL SUMMER SCHOOL in ECOLOGY" eğitim programına katılarak hazırlanan proje ile ilgili diplomasını aldı.