

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AKTİF ÇAMUR TESİSLERİNDE SUBSTRAT
KONSANTRASYONUNUN KİNETİK PARAMETRE
DEĞİŞİMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Çevre Yük. Müh. Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR

**ARALIK 2011
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AKTİF ÇAMUR TESİSLERİNDE SUBSTRAT
KONSANTRASYONUNUN KİNETİK PARAMETRE
DEĞİŞİMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Çevre Yük. Müh. Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14.10.2011

Tezin Savunma Tarihi : 07.12.2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet BERKÜN

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Ümmükülsüm Özel Akdemir Tarafından Hazırlanan

AKTİF ÇAMUR TESİSLERİNDE SUBSTRAT KONSANTRASYONUNUN
KİNETİK PARAMETRE DEĞİŞİMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 25 / 10 / 2011 gün ve 2308 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

DOKTORA TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof.Dr.Mehmet BERKÜN



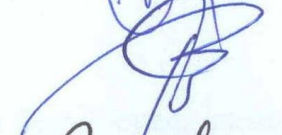
Üye : Prof.Dr.Hızır ÖNSOY



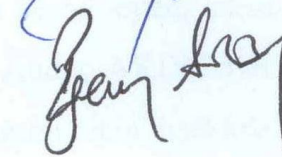
Üye : Doç.Dr.Bahtiyar ÖZTÜRK



Üye : Doç.Dr.Celal DURAN



Üye : Yrd.Doç.Dr.Egemen ARAS



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet BERKÜN' e, doktora öğrenciliğimin ve tez çalışmamın her aşamasında desteğini benden esirgemediği, tezin tamamlanması için her zaman bilgisi ve tecrübesiyle yanımda olduğu için teşekkür ederim.

Saha çalışmaları ve numune alımı konularında ilgi ve desteklerinden dolayı Trabzon Hava Limanı Müdürlüğü ve Atıksu Arıtma Tesisi personeline teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım boyunca her türlü katkılarından dolayı başta Yüksel HARDAL olmak üzere tüm Hidrolik Laboratuvarı çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar imkanlarından faydalanmamda yardımcı olan Kimya Bölüm Başkanına ve personeline teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmalarım boyunca arkadaşlığını ve yardım severliğini benden esirgemeyen sevgili arkadaşım Araş. Gör. Tuğçe ANILAN' a ve katkılarından dolayı Araş. Gör. Ayşegül DURMUŞ' a teşekkür ederim.

Akademik hayata adım atmamda tecrübelerinden yararlandığım sevgili babam ve ablama, sevgisi ve sabırları ile her zaman yanımda olan annem ve kız kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi her konuda beni destekleyen, sonsuz sevgi ve ilgisini üzerimden esirgemeyen sevgili eşim Yrd. Doç. Dr. Andaç AKDEMİR'e ve verdiği huzurla yanımda olan kızıma bu zorlu süreci birlikte atlattığımız için teşekkür ederim.

Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR

Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “AKTİF ÇAMUR TESİSLERİNDE SUBSTRAT KONSANTRASYONUNUN KİNİTİK PARAMETRE DEĞİŞİMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalıőmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Mehmet BERKÜN ‘ün sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, baőka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araőtırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
07/12/2011

Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİSİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİSİ.....	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Aktif Çamur Süreçlerinin Genel Tanımı.....	1
1.2. Aktif Çamur Verimini Etkileyen Faktörler.....	5
1.2.1. Havalandırma.....	5
1.2.2. Alkalinite.....	5
1.2.3. pH.....	6
1.2.4. Besin.....	6
1.2.5. Sıcaklık.....	6
1.2.6. Toksisite.....	6
1.2.7. Hidrolik Yükleme.....	7
1.2.8. Organik Yükleme.....	7
1.3. Substrat Giderimi Stokiyometrisi.....	7
1.4. Reaktör Tipleri ve Kinetiği.....	9
1.4.1. Kesikli Reaktör.....	9
1.4.2. Kemostat Reaktörler.....	11
1.4.3. Tam Karışımli Geri Devirsiz Aktif Çamur Sistemleri.....	12
1.4.4. Tam Karışımli Geri Devirli Aktif Öamur Sistemleri.....	14
1.4.5. Piston Akımlı Aktif Çamur Sistemleri.....	15
1.5. Aktif Çamurda Kullanılan Ölçüm Yöntemleri.....	16
1.5.1. Substrat Ölçüm Yöntemleri.....	16
1.5.2. Biyokütle Ölçüm Yöntemleri.....	18

1.6.	Reaksiyon Kinetiği Bileşenlerinin Oluşturulması.....	19
1.6.1.	Michaelis-Menten Sabiti (K_s) ve Substrat Kullanım Hızı (k) Hesabı.....	19
1.6.2.	Maksimum Üreme Verimi Katsayısı (Y) ve Mikroorganizma Ölüm Hızı..... Katsayısı (k_d) Hesabı.....	21
1.6.3.	Maksimum Büyüme Hızı (μ_{max}) Hesabı.....	22
1.6.4.	Spesifik Çoğalma Hızı (μ) Hesabı.....	22
1.7.	Literatür Araştırması.....	23
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	27
2.1.	Alınan Atıksu Numunesi.....	27
2.2.	Kullanılan Deneysel Düzenek.....	28
2.3.	Yapılan Analizler ve Ölçüm Yöntemleri.....	30
2.3.1.	Seyrelme Metodu ile BOİ Analizi.....	30
2.3.2.	Respirometrik Metod ile BOİ Analizi.....	30
2.3.3.	Spektrofotometrik Yöntem ile KOİ Analizi.....	30
2.3.4.	KSAKM Analizi.....	31
2.3.5.	KSUAKM Analizi.....	31
3.	BULGULAR.....	32
4.	TARTIŞMA.....	41
5.	SONUÇLAR.....	90
6.	KAYNAKLAR.....	92
7.	EKLER.....	96
	ÖZGEÇMİŞ	

Doktora Tezi

ÖZET

AKTİF ÇAMUR TESİSLERİNDE SUBSTRAT KONSANTRASYONUNUN KİNETİK
PARAMETRE DEĞİŞİMLERİ
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Mehmet BERKÜN
2011, 95 Sayfa, 6 Sayfa Ek

Bu çalışmada, substrat olarak seyrelme ve respirometrik yöntemle göre Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) kullanıldığı durumlar için aktif çamur sistemindeki kinetik parametrelerin değişimi incelenmiştir. Çalışmada başlangıç şartları aynı olan dört ayrı deneme gerçekleştirilerek kinetik katsayıların hesabı için çoklu deneme yapılmıştır. Mikroorganizma konsantrasyonu olarak Karışım Sıvısındaki Askıda Katı Madde (KSAKM) ve Karışım Sıvısındaki Uçucu Askıda Katı Madde (KSUAKM) için ayrı ayrı kinetik katsayılar hesaplanarak karşılaştırma yapılmıştır. Substrat giderim verimleri % 46.88 ile % 73.36 arasında değişmiştir. En yüksek giderim verimi seyrelme metodu ile BOİ gideriminde % 69.23 olarak gerçekleşmiştir. Kinetik parametreler tüm denemelerde çok değişken aralıklarda belirlenmiştir. Kinetik katsayıların tipik değerlere uygun olduğu en iyi sonuçlar respirometrik yöntemle BOİ ölçümlerinde belirlenmiştir. BOİ ile KOİ arasındaki ölçüm verilerinde % 98.6 korelasyon gerçekleşmiştir. Seyrelme ve respirometrik arasında BOİ ölçümlerinde tüm denemelerin ortalaması alındığında % 97.8 korelasyon tespit edilmiştir. Kinetik katsayıların hesaplanmasında KSUAKM değerlerinin kullanılması daha iyi sonuçlar vermiştir. Substrat konsantrasyonunun daha yüksek olduğu denemede elde edilen kinetik katsayılar diğer denemelere göre daha değişken ve tipik aralıkların dışında çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aktif Çamur, BOİ, Kinetik Parametre, KOİ, KSAKM, KSUAKM

PhD. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF SUBSTRATE CONCENTRATION EFFECTS ON KINETIC
PARAMETER CHANGES IN ACTIVATED SLUDGE PLANTS

Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Mehmet BERKÜN
2011, 95 Pages, 6 Pages Appendix

In this study, kinetic parameter changes in a laboratory model activated sludge plant were investigated using Biochemical Oxygen Demand (BOD) values obtained from dilution and respirometric methods and Chemical Oxygen Demand (COD) values.

In the experiments, four different tests having similar initial conditions were performed and multiple tests were tried for the calculation of kinetic parameters. Kinetic parameters were calculated using Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS) and Mixed Liquor Volatile Suspended Solid (MLVSS) as microorganism concentration. Substrate removal efficiencies varied in the range of 46,88 - 73,36 %. Maximum removal efficiency was 69,23% for the dilution method BOD values. Kinetic parameters were determined in hypervariable distribution for all experience. The best results of which kinetic coefficients are suitable were obtained from the respirometric BOD measurements. There is % 98,6 correlation between the obtained values using BOD and COD measurements. There is % 97,8 correlation between dilution and respirometric values for the mean of BOD. MLVSS values gave better results than MLSS values for the calculation of kinetic coefficients. Kinetic coefficients obtained having higher substrate concentration are more variable than other experience and were outside typical ranges.

Key Words: Activated Sludge, BOD, COD, Kinetic Coefficient, MLSS, MLVSS

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Karbonlu ve ototrofik BOİ..... 3
Şekil 2.	Temel aktif çamur prosesi..... 4
Şekil 3.	(K _s) ve (k) kinetik katsayılarının grafiksel hesaplanması..... 20
Şekil 4.	(Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının grafiksel hesaplanması..... 22
Şekil 5.	Organizmaların büyüme eğrisi..... 23
Şekil 6.	Trabzon hava limanı paket atıksu arıtma tesisi akış şeması..... 27
Şekil 7.	Trabzon hava limanı paket atıksu arıtma tesisi görünümü..... 28
Şekil 8.	Laboratuvar ölçekli klasik aktif çamur sistemi düzeneği..... 29
Şekil 9.	Laboratuvar ölçekli klasik aktif çamur sistemi görünüşü..... 30
Şekil 10.	Deneylerde kullanılan cihazlar..... 31
Şekil 11.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1.Deneme)..... 42
Şekil 12.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1.Deneme)..... 43
Şekil 13.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2.Deneme)..... 43
Şekil 14.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2.Deneme)..... 44
Şekil 15.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3.Deneme)..... 44
Şekil 16.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3.Deneme)..... 45
Şekil 17.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4.Deneme)..... 45
Şekil 18.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4.Deneme)..... 46
Şekil 19.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSUAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1.Deneme)..... 46
Şekil 20.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSUAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1.Deneme)..... 47
Şekil 21.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSUAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2.Deneme)..... 47
Şekil 22.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSUAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2.Deneme)..... 48
Şekil 23.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSUAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3.Deneme)..... 48
Şekil 24.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSUAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3.Deneme)..... 49

Şekil 25.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSUAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4.Deneme)	49
Şekil 26.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ -KSUAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4.Deneme)	50
Şekil 27.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1.Deneme)	50
Şekil 28.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1.Deneme)	51
Şekil 29.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2.Deneme)	51
Şekil 30.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2.Deneme)	52
Şekil 31.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3.Deneme)	52
Şekil 32.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3.Deneme)	53
Şekil 33.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4.Deneme)	53
Şekil 34.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4.Deneme)	54
Şekil 35.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSUAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1.Deneme)	54
Şekil 36.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSUAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1.Deneme)	55
Şekil 37.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSUAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2.Deneme)	55
Şekil 38.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSUAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2.Deneme)	56
Şekil 39.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSUAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3.Deneme)	56
Şekil 40.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSUAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3.Deneme)	57
Şekil 41.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSUAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4.Deneme)	57
Şekil 42.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ -KSUAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4.Deneme)	58
Şekil 43.	KOİ-KSAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1.Deneme).....	58
Şekil 44.	KOİ-KSAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1.Deneme)	59
Şekil 45.	KOİ-KSAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2.Deneme)	59
Şekil 46.	KOİ-KSAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2.Deneme)	60
Şekil 47.	KOİ-KSAKM için (Y) ve (k _d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3.Deneme)	60
Şekil 48.	KOİ-KSAKM için (K _s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3.Deneme)	61

Şekil 49.	KOİ-KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4.Deneme)	61
Şekil 50.	KOİ-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4.Deneme)	62
Şekil 51.	KOİ-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1.Deneme)	62
Şekil 52.	KOİ-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1.Deneme)	63
Şekil 53.	KOİ-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2.Deneme)	63
Şekil 54.	KOİ-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2.Deneme)	64
Şekil 55.	KOİ-KSUAKM için (Y) ve (k_d) Kinetik katsayılarının belirlenmesi (3.Deneme)	64
Şekil 56.	KOİ-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3.Deneme)	65
Şekil 57.	KOİ-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4.Deneme)	65
Şekil 58.	KOİ-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4.Deneme)	66
Şekil 59.	Seyrelme metoduna göre ortalama BOİ ₅ -KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi.....	66
Şekil 60.	Seyrelme metoduna göre ortalama BOİ ₅ -KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi.....	67
Şekil 61.	Seyrelme metoduna göre ortalama BOİ ₅ -KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi.....	67
Şekil 62.	Seyrelme metoduna göre ortalama BOİ ₅ -KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi.....	68
Şekil 63.	Respirometrik metoda göre ortalama BOİ ₅ -KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi.....	68
Şekil 64.	Respirometrik metoda göre ortalama BOİ ₅ -KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi.....	69
Şekil 65.	Respirometrik metoda göre ortalama BOİ ₅ -KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi.....	69
Şekil 66.	Respirometrik metoda göre ortalama BOİ ₅ -KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi.....	70
Şekil 67.	Ortalama KOİ-KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi.....	70
Şekil 68.	Ortalama KOİ-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi.....	71
Şekil 69.	Ortalama KOİ-KSUAKM için (Y) ve (k_d) Kinetik katsayılarının belirlenmesi.....	71
Şekil 70.	Ortalama KOİ-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi.....	72
Şekil 71.	Substrat kullanım hızı(k) karşılaştırması.....	75
Şekil 72.	Michaelis-menten sabiti (K_s) karşılaştırması.....	76
Şekil 73.	Mikroorganizma ölüm hızı (k_d) karşılaştırması.....	77
Şekil 74.	Maksimum üreme verimi (Y) karşılaştırması.....	78

Şekil 75.	Maksimum üreme hızı (μ_{max}) karşılaştırması.....	79
Şekil 76.	Seyrelme yöntemine göre BOI_5 giderimleri.....	82
Şekil 77.	Respirometrik yöntemine göre BOI_5 giderimleri.....	83
Şekil 78.	KOI giderimleri.....	83
Şekil 79.	Çıkış KSUAKM ve substrat derişimi - substrat giderim verimi (BOI_5 -1. deneme).....	84
Şekil 80.	Çıkış KSUAKM ve substrat derişimi - substrat giderim verimi (BOI_5 -2. deneme)	84
Şekil 81.	Çıkış KSUAKM ve substrat derişimi - substrat giderim verimi (BOI_5 -3. deneme)	85
Şekil 82.	Çıkış KSUAKM ve substrat derişimi - substrat giderim verimi (BOI_5 -4. deneme)	85
Şekil 83.	Çıkış KSUAKM ve substrat derişimi - substrat giderim verimi (BOI_R -1. deneme)	86
Şekil 84.	Çıkış KSUAKM ve substrat derişimi - substrat giderim verimi (BOI_R -2. deneme)	86
Şekil 85.	Çıkış KSUAKM ve substrat derişimi - substrat giderim verimi (BOI_R -3. deneme)	87
Şekil 86.	Çıkış KSUAKM ve substrat derişimi - substrat giderim verimi (BOI_R -4. deneme)	87
Şekil 87.	Çıkış KSUAKM ve substrat derişimi - substrat giderim verimi (KOI -1. deneme)	88
Şekil 88.	Çıkış KSUAKM ve substrat derişimi - substrat giderim verimi (KOI -2. deneme)	88
Şekil 89.	Çıkış KSUAKM ve substrat derişimi - substrat giderim verimi (KOI -3. deneme)	89
Şekil 90.	Çıkış KSUAKM ve substrat derişimi - substrat giderim verimi (KOI -4. deneme)	89

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.	Aktif çamur sisteminde gerçekleşen süreçler..... 2
Tablo 2.	Çalışmada kullanılan sentetik atıksu bileşimi..... 28
Tablo 3.	1. Deneme için seyrelme metodu ile BOİ ₅ değerlerine göre KSAKM tablosu..... 32
Tablo 4.	2. Deneme için seyrelme metodu ile BOİ ₅ değerlerine göre KSAKM tablosu..... 32
Tablo 5.	3. Deneme için seyrelme metodu ile BOİ ₅ değerlerine göre KSAKM tablosu..... 33
Tablo 6.	4. Deneme için seyrelme metodu ile BOİ ₅ değerlerine göre KSAKM tablosu..... 33
Tablo 7.	1. Deneme için seyrelme metodu ile BOİ ₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu..... 33
Tablo 8.	2. Deneme için seyrelme metodu ile BOİ ₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu..... 34
Tablo 9.	3. Deneme için seyrelme metodu ile BOİ ₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu..... 34
Tablo 10.	4. Deneme için seyrelme metodu ile BOİ ₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu..... 34
Tablo 11.	1. Deneme için respirometrik metot ile BOİ ₅ değerlerine göre KSAKM tablosu..... 35
Tablo 12.	2. Deneme için respirometrik metot ile BOİ ₅ değerlerine göre KSAKM tablosu..... 35
Tablo 13.	3. Deneme için respirometrik metot ile BOİ ₅ değerlerine göre KSAKM tablosu..... 35
Tablo 14.	4. Deneme için respirometrik metot ile BOİ ₅ değerlerine göre KSAKM tablosu..... 35
Tablo 15.	1. Deneme için respirometrik metot ile BOİ ₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu..... 36
Tablo 16.	2. Deneme için respirometrik metot ile BOİ ₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu..... 36
Tablo 17.	3. Deneme için respirometrik metot ile BOİ ₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu..... 36
Tablo 18.	4. Deneme için respirometrik metot ile BOİ ₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu..... 36
Tablo 19.	1. Deneme için KOİ değerlerine göre KSAKM tablosu..... 37
Tablo 20.	2. Deneme için KOİ değerlerine göre KSAKM tablosu..... 37
Tablo 21.	3. Deneme için KOİ değerlerine göre KSAKM tablosu..... 37
Tablo 22.	4. Deneme için KOİ değerlerine göre KSAKM tablosu..... 37
Tablo 23.	1. Deneme için KOİ değerlerine göre KSUAKM tablosu..... 38
Tablo 24.	2. Deneme için KOİ değerlerine göre KSUAKM tablosu..... 38

Tablo.25.	3. Deneme için KOİ değerlerine göre KSUAKM tablosu.....	38
Tablo 26.	4. Deneme için KOİ değerlerine göre KSUAKM tablosu.....	38
Tablo 27.	Seyrelme metodu ile ortalama BOİ ₅ değerlerine göre KSAKM tablosu.....	39
Tablo 28.	Seyrelme metodu ile ortalama BOİ ₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu.....	39
Tablo 29.	Respirometrik metot ile ortalama BOİ ₅ değerlerine göre KSAKM tablosu.....	39
Tablo 30.	Respirometrik metot ile ortalama BOİ ₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu.....	40
Tablo 31.	Ortalama KOİ değerlerine göre KSAKM tablosu.....	40
Tablo 32.	Ortalama KOİ değerlerine göre KSUAKM tablosu.....	40
Tablo 33.	Tipik aktif çamur tesisi kinetik katsayıları.....	41
Tablo 35.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ için hesaplanan kinetik katsayılar.....	72
Tablo 36.	Seyrelme metoduna göre BOİ ₅ için hesaplanan kinetik Katsayılar.....	73
Tablo 37.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ için hesaplanan kinetik katsayılar.....	73
Tablo 38.	Respirometrik metoda göre BOİ ₅ için hesaplanan kinetik katsayılar.....	73
Tablo 39.	KOİ için hesaplanan kinetik katsayılar.....	74
Tablo 40.	KOİ için hesaplanan kinetik katsayılar.....	74
Tablo 41.	Deneme sonuçlarına göre BOİ ₅ -BOİ _R -KOİ arasındaki lineer ilişkiler.....	80
Tablo 42.	Substrat giderim verimleri.....	81
Tablo 43.	Seyrelme metodu ile zamana karşılık BOİ ₅ değerleri.....	81
Tablo 44.	Respirometrik metod ile zamana karşılık BOİ ₅ değerleri.....	81
Tablo 45.	Zamana karşılık KOİ değerleri.....	82

SEMBOLLER DİZİNİ

$BO\dot{I}$: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
$BO\dot{I}_5$: 5 Günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı
$BO\dot{I}_R$: Respirometrik yöntemle ölçülen biyokimyasal oksijen ihtiyacı
$cBO\dot{I}$: Karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı
F/M	: Besin/Mikroorganizma oranı
HRT	: Biyolojik reaktörde hidrolik alıkonma süresi
KSAKM	: Karışım sıvısındaki askıda katı madde
KSUAKM	: Karışım sıvısındaki uçucu askıda katı madde
$KO\dot{I}$: Kimyasal oksijen ihtiyacı
k_d	: Mikroorganizma ölüm hızı katsayısı
K_s	: Doygunluk sabiti (veya michaelis-menten sabiti)
k	: Birim zamanda substrat giderim hızı
MCRT	: Biokütlenin tutulma süresi
$nBO\dot{I}$: Azotlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı
r_{su}	: Substrat kullanım hızı
r_g	: Reaktördeki mikroorganizma net değişim oranı
Q	: Sisteme giren ve çıkan atıksu debisi
S	: Reaktörden çıkan substrat konsantrasyonu
S_0	: Atısu giriş $BO\dot{I}$ veya $KO\dot{I}$ konsantrasyonu
t	: Reaktörde kalma süresi
X_0	: Giriş akımındaki mikroorganizma konsantrasyonu
X	: Reaktördeki mikroorganizma konsantrasyonu
Y	: Maksimum üreme verimi
$Y_{X/S}^o$: Gerçek üretim katsayısı
V	: Reaktör hacmi
V_x	: Mikroorganizma üreme hızı
T	: Çamur bekleme süresi
μ	: Spesifik mikroorganizma üreme hızı
μ_{max}	: Maksimum mikroorganizma büyüme hızı
UAK	: Uçucu askıda katı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Aktif Çamur Süreçlerinin Genel Tanımı

Aktif çamur prosesi 1914’ de İngiliz Ardern ve Lockett tarafından geliştirilmiş olup, atığın aerobik olarak stabilizasyonunu sağlayan mikroorganizmaların aktif kütlelerinin bir ürünüdür (Metcalf ve Eddy, 1991). Atıksu içerisindeki mikroorganizmalar, atıksu içerisinde yer alan ve biyolojik değeri olan organik maddelerden yapı değişimi ve enerji kazanımı için faydalanır. Böylece mikroorganizma bünyesine alınan organik madde aktif çamur olarak ortamdan uzaklaştırılır. Uzaklaştırılan bu çamur biyolojik aktivite gösterdiğinden dolayı aktif çamur olarak nitelendirilir (Kargı, 1995; Samsunlu, 2006). Atıksuların aktifleştirilmiş biyolojik yumaklar haline dönüştürmeyi hedef alan aktif çamur metodu, kirli suların aerobik koşullar altında doğal olarak kendi kendine arıtım olayına eşdeğer bir işlemdir (Berkün, 2006).

Aktif çamur sistemlerinde organik madde, aerobik bakteri kültürünün askıda kaldığı reaktörde bulunur. Reaktörün içeriği “karışım sıvısı” olarak ifade edilir. Reaktörde, bakteri kültürünün stokiyometrik olarak dönüşümü aşağıda verilen (1) ve (2) reaksiyonlarındaki gibi gerçekleşir. Oksidasyon ve sentez durumunda;



reaksiyon denkleminde COHNS atıksudaki organik maddeyi ifade etmektedir. Substrat miktarının yetersiz olduğu anda hücrenin depo malzemelerinin bir kısmı kendi kütlesi tarafından okside edilir. Bu içsel solunum (2) denklemi ile ifade edilmektedir.



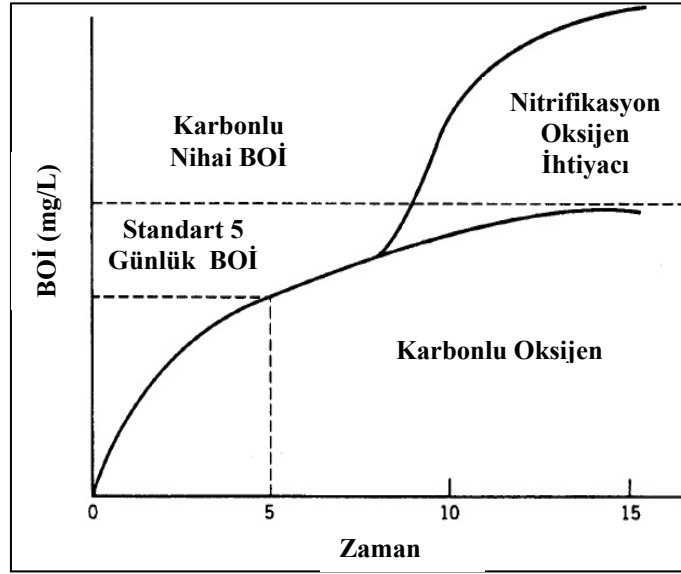
(1) ve (2) denklemi organik maddenin tam oksidasyonunu tanımlar (Metcalf ve Eddy, 1991; Samsunlu, 2006).

Aktif çamur prosesi ile atıksu artımında; karbonlu atıkların parçalanması, bozulması ya da oksidasyonu, azotlu atıkların bozulması ya da oksidasyonu, ince katıların giderimi ve ağır metallerin giderimi gerçekleşir ve bu süreçler Tablo 1’ de verilmektedir (Gerardi, 2002).

Tablo 1. Aktif çamur sisteminde gerçekleşen süreçler (Gerardi, 2002).

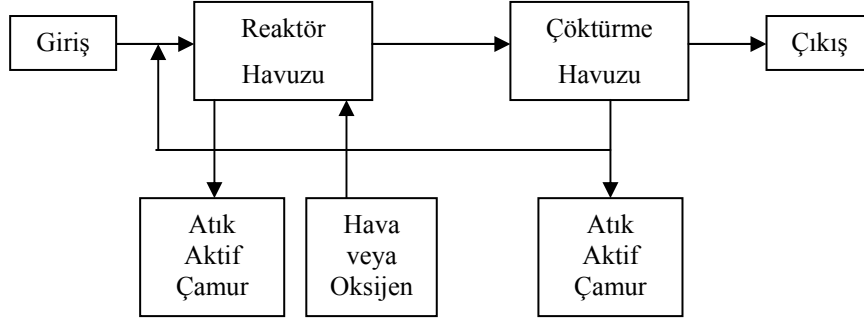
Amaç	Oksidasyon ve Giderim Eşitliği
Karbonlu Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (cBOİ) oksidasyonu	$cBOİ(\text{protein})+O_2 \rightarrow C_5H_7O_2N+CO_2+H_2O+NH_4^++SO_4^{2-}+HPO_4^{2-}$
Azotlu Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (nBOİ) oksidasyonu	$nBOİ(\text{amonyum iyonları})+O_2 \rightarrow C_5H_7O_2N(\text{yeni hücreler})+NO_3^-+H_2O$
İnce katıların giderimi	Kolloidler, ayrık büyüme, çözünmeyen maddeler
Ağır metallerin giderimi	Alüminyum, krom, bakır, kadmiyum, demir, kurşun, civa, nikel, çinko

Organik atıklar, aktif çamur prosesinde karbon (C) ve hidrojen (H) içeren karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı (cBOİ) olarak yerini alır ve azotlu atıklar ise azot (N) içeren kimyasal bileşiklerdir. Aktif çamur sürecinde, azotlu atıklar ayrışmaya başladığında Amonyum iyonları (NH_4^+) oluşabilmektedir. Aktif çamur prosesinde oluşan yada aktif çamur prosesine deşarj edilen amonyum iyonları aktif çamur prosesinde azotlu biyokimyasal oksijen ihtiyacının (nBOİ) önemli bir kısmını oluşturmaktadır. nBOİ nin geri kalan kısmını ise nitrit iyonları (NO_2^-) oluşturmaktadır. Bu iyonlar endüstrilerden deşarj edilebildiği gibi aktif çamur proseslerinde amonyum iyonlarının oksidasyona uğraması ya da nitrifiye olması ile de oluşabilmektedir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) mikroorganizmalar tarafından kullanılan mg/L olarak oksijen miktarıdır. Aktif çamur prosesi içinde öncelikle bakteriler tarafından karbonlu atıklar ayrışır, daha sonra azotlu atıklar 5 günlük bir süre sonunda ayrışmaya başlar (Şekil. 1) (Bitton, 2005). Giriş akımı içinde bulunan alkol, aminoasit, organik asit, protein ve şeker gibi karbonlu atıkların (cBOİ) giriş akımı kirletici olmayan (CO_2 ve H_2O) ve az kirletici olan (NH_4 , SO_4 , HPO_4) ve yeni bakteri hücreleri yada çamura (KSAKM) dönüşür (Gerardi, 2002).



Şekil 1. Karbonlu ve Ototrofik BOİ (Bitton, 2005).

Bir aktif çamur sisteminin temel bileşenlerini; havalandırma tankı ve çöktürme havuzu ya da durultucu oluşturmaktadır (Şekil. 2) (WPCF, 1991). Aktif çamur; bakteri, fungi, protozoa ve yüksek formlu canlılar gibi mikroorganizma kaynağını içeren karışık sıvı, biyolojik olarak parçalanabilen ve parçalanamayan askıda, koloidal ve çözünmüş organik ve inorganik maddelerin bulunduğu biyolojik flokları içermektedir. Bu biokütle biyolojik olarak parçalanabilen organik maddeleri ve belirli inorganik bileşikleri, yeni hücre biokütlelerine ve metabolizma ürünlerine dönüştürmektedir. Prosesde aerobik ortam şartlar difüzörler veya mekanik karıştırıcılar ile sağlanır. Genellikle tankın bir kenarı boyunca tabana yerleştirilen gözenekli difüzörler yardımı ile basınçlı hava sürekli olarak karışık sıvıya verilmektedir. Son çöktürmede katı sıvı ayrımı ile biyokütle havalandırma havuzuna geri döndürülmektedir yada uzaklaştırılmaktadır. Çamur boşaltma stratejileri sistem kontrolünü sağlamak amacı ile seçilmiş biokütle konsantrasyonunun artırılması, azaltılması ya da devamı için kullanılmaktadır (Spellman, 2000; Bitton, 2005; WEF, 2008; Wang vd., 2009).



Şekil 2. Temel aktif çamur prosesi (WPCF, 1991).

Karışım Sıvısındaki Askıda Katılar (KSAKM): Aktif çamur sisteminde havalandırma havuzunun içeriği karışım sıvısı olarak ifade edilir. KSAKM karışım sıvısında mikroorganizma içeren organik ve mineral halde askıda katıların miktarıdır. 105 °C de kurutulan filtrelenmiş numunenin kuru ağırlığından hesaplanır (Bitton, 2005).

Karışım Sıvısındaki Uçucu Askıda Katılar (KSUAKM): KSAKM' in organik kısmı olup, hücre kalıntıları, ölü ve canlı mikroorganizmalar ve mikrobiyal olmayan organik maddeleri içerir. 600-650 ° C de kurutulan filtre edilmiş numuneden belirlenir ve KSAKM' nin yaklaşık % 65-75' ine karşılık gelir (Bitton, 2005). KSUAKM fraksiyonu yaşamayan organizmaları içeren durağan organik maddeler olarak bahsedilmesine rağmen, KSUAKM olarak sürekli ölçülen mikroorganizmalar % 70-80 oranında organik madde içermektedir (WEF, 2008).

Aktif çamur sistemi biyolojik reaktörde hidrolik alıkonma süresi (HRT) ve sistemde tutulan biokütlenin tutulma süresi (MCRT), organik yükleme ve organik yük (besin) biokütle (mikroorganizma) oranı (F:M), esas alınarak tasarlanırlar (WEF, 2008).

1. 2. Aktif Çamur Verimini Etkileyen Faktörler

1.2.1. Havalandırma

Organizma için gerekli oksijeni sağlamak, diğer bir ifade ile organik oksidasyon prosesinde BOİ' ye cevap vermek ve turbülanlı karışım sağlayarak aktif çamuru askıda tutabilmek için aktif çamur proseslerinde yeterli seviyede havalandırma yapılması gerekir (Spellman, 2000; Wang vd., 2009).

Turbülanlı karışım, flokların etrafından karbon dioksit taşınımını ve biyolojik flokların içinde oksijenin kütle transferini sağlar. Yeterli karışımın olmadığı durumda anaerobik şartlar oluşmaya ve aktif çamur ölmeye başlar. Bununla birlikte karışımın flokların parçalanmasını sağlayacak kadar yüksek olmaması gerekir (Spellman, 2000; Toprak, 2004; Bitton, 2005). Bir aktif çamur tankında gerekli teorik oksijen ihtiyacı günlük olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\text{Günlük Oksijen İhtiyacı} = \text{Günlük Giderilen BOİ} - 1.42 (\text{Günlük UAK}) \quad (3)$$

Burada;

BOİ: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı

UAK: Uçucu Askıda Katı

Pratikte ise, tam karışımli aktif çamur tesislerinde çözünmüş oksijen konsantrasyonu 1 ile 2 mg/L arasında alınır (Bitton, 2005; Wang vd., 2009).

1.2.2. Alkalinite

Aktif çamur prosesinde pH ın 6.5 ile 9.0 arasında tutularak yeterli alkalinitenin sağlanması gerekir. Organik azot ve amonyak nitrifikasyonla nitrate dönüşüyorsa, bu prosesin en uygun şartlarını sağlamak için yeterli alkalinite sağlanmalıdır (Spellman, 2000).

1.2.3. pH

Bakterilerin normal aktiviteleri için pH aralığı, nitrosomonas bakterileri için 7.6-8.0 arasında, nitrobakteriler için ise 7.8-8.0 arasındadır. Uygun olmayan pH aralığı enzimlerin doğal yapısının bozulmasına ve gelişmesine olumsuz etki eder (Berkün, 1974).

1.2.4. Besin

Aktif çamur proseslerinde besin yetersizliği özellikle endüstriyel atıksular için azot ve fosfor eksikliğinden kaynaklanır. besin eksikliğinde cBOİ ve nBOİ giderim veriminde azalma, köpük oluşumu ve birikimi, KSUAKM oluşumunda azalma, katı madde kaybı, çökeltme problemi ve istenmeyen ipliksi organizmaların gelişimi problemleri ortaya çıkar (Gerardi, 2002). Kentsel atıksuların arıtımında önerilen BOİ₅:N:P oranı 100:5:1 dir (WPCF, 1991).

1.2.5. Sıcaklık

Sıcaklık azaldığında organizma aktivitesi azalır. Aktif çamur prosesi içindeki bakterinin aktivite seviyesi sıcaklık artışı ile artar. Sıcaklık arttığında ise denitrifikasyon ve ipliksi gelişim artar (Spellman, 2000). Mezofilik bakterilerin gelişebildiği sıcaklık olan maksimum 35-40 °C tipik aktif çamur sistemlerindeki maksimum işletme sıcaklığı olarak alınır (Grady, vd., 1999). Bu aralığın üzerindeki sıcaklık artışlarında oksijensizleşme (deoksijenasyon) artar. Oksijen oluşum hızı azalır ve askıda katı madde çözünürlüğü artar (Koers, 1967; Berkün, 1974).

1.2.6. Toksikite

Arıtma tesisine girerek mikroorganizmaların (aktif çamurun) ölmesine neden olan element veya bileşiklerin belli konsantrasyona ulaşmasına toksisite denir. Genellikle bu grup siyanidler ve ağır metallardan oluşur. Dezenfeksiyonda ipliksi organizmaların veya kokunun kontrolü için kullanılan klor toksiktir ve klorun aktif çamur proseslerine girmemesi gerekir. Organizmaların ölmesine ve proste arızalanmaya neden olur

(Spellman, 2000). Toksikite aktif çamur sistemlerinden cBOİ ve nBOİ' nin giderimini engeller (Gerardi, 2002).

1.2.7. Hidrolik Yükleme

Hidrolik yükleme arıtım prosesine giren debinin miktarıdır. Sistem tasarım kapasitesi ile karşılaştırıldığında, hidrolik olarak aşırı veya düşük yükleme varsa hesaplama için kullanılabilir. Daha fazla debi sisteme girdiğinde, sistem hidrolik olarak aşırı yüklenir. Daha az debi girdiğinde ise düşük yükleme olur. Genel olarak sistem aşırı yüklemeye göre daha fazla etkilenir. Aşırı hidrolik debi miktarı verimliliği azaltır. Verimdeki azalma çıkışta katı kaybına ve aktif çamur miktarında azalmaya neden olur ki bu durum proses performansını düşürür (Spellman, 2000).

1.2.8. Organik Yükleme

Organik yükleme arıtma tesisine giren organik madde miktarıdır. Genellikle Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) ile ölçülür. Sisteme giren BOİ miktarı sistem tasarım kapasitesini aştığında aşırı organik yükleme meydana gelir. BOİ miktarı azaldığında da yetersiz organik yükleme meydana gelir. Sistemde aşırı miktarda aktif çamur kaldığında aşırı yükleme meydana gelir ve bu durumda tesis iyi kalitede aktif çamur üretmek ve geliştirmek için zorlanır (Spellman, 2000).

1.3. Substrat Giderimi Stokiyometrisi

Gerek kesikli gerekse sürekli sistemlerde bakteri hücresinin üreme hızı (3) denklemi ile ifade edilmektedir (Metcalf ve Eddy, 1991).

$$r_x = \mu X = \frac{dX}{dt} \quad (4)$$

Burada; V_x : Mikroorganizma üreme hızı, g/L/gün-KSAKM
 μ : Spesifik mikroorganizma üreme hızı, gün⁻¹

X: Mikroorganizma konsantrasyonu, g/L-KSAKM

Spesifik mikroorganizma üreme hızı (μ) Monod tarafından iki şekilde tanımlanır;

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S} \quad (5)$$

$$\mu = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} \quad (6)$$

Burada; μ_m : Maksimum spesifik mikroorganizma büyüme hızı, zaman⁻¹

S : Reaktörden çıkan substrat konsantrasyonu, mg/L

K_s : Doygunluk sabiti (Michaelis-Menten Sabiti) veya substrat tüketim hızı mg/L (Metcalf ve Eddy, 1991).

Monod denklemindeki (4) μ (3) denkleminde yerine konursa mikroorganizma üreme hızı;

$$r_x = \mu_m \frac{S}{K_s + S} X \quad (7)$$

Substrata göre tüketim hızı ise;

$$r_s = \frac{dS}{dt} = \frac{d(BOI)}{dt} \quad (8)$$

Birim substrat başına mikroorganizma değişim verimi ve ürün katsayısı;

$$Y = -\frac{dX}{dS} \quad (9)$$

Mikroorganizma üretim hızı ile substrat tüketim hızı arasındaki ilişki;

$$V_x = -Y \cdot r_s \quad (10)$$

Uzun süreli alıkonmalarda hücreler içsel solunumla önemli miktarda bozunmaya uğradıklarından net üreme hızı;

$$\left(\frac{dX}{dt} \right)_{Net} = Y \cdot \left(\frac{dS}{dt} \right) - K_d \cdot X \quad (11)$$

Burada;

K_d : Birim zamanda içsel bozunma hızı sabiti, (0.07-0.10 gün⁻¹)

1.4. Reaktör Tipleri ve Kinetiği

1.4.1. Kesikli Reaktör

Kesikli reaktörlerde, mevcut mikroorganizmalar ortamda bulunan organik ve inorganik maddeleri, besinleri ve çözülmüş oksijeni tüketerek gelişimini sürdürürler. Bu reaktörlerde sürekli besleme yapılmaz substrat artım süresince reaktörde tutulur. Bu nedenle ideal piston akımlı reaktörler olarak ifade edilirler. Genelde küçük debili, toksik madde içeriği olan atıksular için kullanılan doldur-boşalt sistemlerdir (Kestioğlu, 2001; Arceivala, 2002; Samsunlu, 2006).

Sabit hacimde ideal bir kesikli reaktördeki kütle dengesi için temel denklem aşağıdaki şekildedir;

$$\left[\begin{array}{l} \text{Reaktör İçinde Reaktantın} \\ \text{Kütlesindeki Değişim Miktar} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Reaktör İçindeki Reaktantın} \\ \text{Reaksiyon Miktarı} \end{array} \right]$$

O halde kesikli sistem için kütle denkliği;

$$r_A \cdot V = \frac{d}{dT}(C_A \cdot V) \quad \text{veya} \quad r_A = \frac{d}{dT}(C_A \cdot V) / V \text{ olur.}$$

Reaktör hacmi sabit olduğu düşünülürse substrat konsantrasyonun zamana bağlı değişim miktarı;

$$r_A = k.C = \frac{dC_A}{dt} \quad (12)$$

ile gösterilir. Burada;

C_A : A reaktifinin t anındaki derişimi (Benefield ve Randall, 1980; Grady vd., 1999)

Kesikli reaktörde mikroorganizma büyümesi dört aşamada gerçekleşir.

İlk aşamada organizmalar adaptasyon sürecinde uygun sıcaklık ve pH olması durumunda lag fazında bulunurlar.

İkinci aşama logaritmik büyümenin gerçekleştiği safhadır. Mikroorganizmalar maksimum miktara ulaşırlar. Mikroorganizmaların zamana bağlı artış hızı;

$$\frac{dX}{dt} = \mu_m \cdot X \quad (13)$$

Bu denklem gerekli düzenlemeler ile integre edilirse t anındaki mikroorganizma konsantrasyonu;

$$X = X_0 \cdot e^{\mu_m \cdot t} \quad (14)$$

Burada; μ_m : Maksimum büyüme hızı (saat⁻¹)

Üçüncü aşama da mikroorganizma büyümesinin yavaşladığı dönemdir. Büyüme hızı;

$$\frac{dX}{dt} = \mu \cdot X = \frac{\mu_m \cdot S}{K_s + S} \cdot X \quad (15)$$

Burada; S: Substrat konsantrasyonu (mg/L)
K_s: Michealis-Menten sabiti

Dördüncü aşamada mikroorganizma büyümesi ve ölümünün aynı miktarda gerçekleştiği durgun dönemdir. Sınırlayıcı besi maddesinin eksilmesi ile mikroorganizmalar içsel solunuma girer. Bu dönemde mikroorganizma değişimi;

$\frac{dX}{dt} = 0$ şeklinde olur. Bu dönemde mikroorganizma ölüm nedeniyle ortamdaki eksiliyorsa net büyüme hızı;

$$\frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} = \mu - k_d \quad (16)$$

Burada; k_d: Mikroorganizma ölüm hızı katsayısı (gün⁻¹)

Son aşama ölüm aşaması olup, üreme hızı ölüm hızından küçüktür. Ölüm hızı (Kestioğlu, 2001);

$$\frac{dX}{dt} = -X \cdot k_d \quad (17)$$

1.4.2. Kemostat Reaktörler

Bakterilerin serbest olarak girebildiği ve çöken çamurun geri devrinin olmadığı tam karıştırmalı tank reaktörlerde yer alan basit sürekli bir prosesdir. Bakteri gelişimi aşılama ile başlar ve sonunda kararsız hal durumunda, bakteri ve substratın sabit konsantrasyonu bakteri gelişimini devam ettirmek için yeteri kadar uzun ortalama bekleme zamanı sağlanır. Farklı kararlı haller; farklı havalandırma oranlarında çözünmüş oksijen konsantrasyonu, substrat giriş konsantrasyonu veya debi değişimi geçerlidir (Wiesmann vd., 2007). Mikroorganizma kütle dengesi;

$$[\text{Büyüme Miktarı}] - [\text{Reaktörden çıkan miktar}] = 0$$

$$\mu \cdot X \cdot V - Q_o \cdot X = 0$$

$$S = \frac{K_s}{\mu_{\max} \cdot t_R - 1} \quad (18)$$

veya

$$S = \frac{T \cdot K_s}{\mu_{\max} - T} \quad (19)$$

$$T = \frac{1}{t_R}$$

Bakteri gelişimi;

$$X = X_o + Y_o(S_o - S) \quad (20)$$

Kritik bekleme süresi (Wiesmann vd., 2007):

$$t_R = \frac{K_s + S_o}{\mu_{\max} \cdot S_o} \quad (21)$$

$$S_o \gg K_s$$

$$t_R = \frac{1}{\mu_{\max}} \quad (22)$$

$$T = \mu_{\max}$$

1.4.3. Tam Karışımli Geri Devirsiz Aktif Çamur Sistemleri

Geri devirsiz aktif çamur sistemleri klasik aerobik arıtım sistemleri olarak ifade edilirler. Bu sistemlerde reaktöre gelen debi sürekli olup içerisinde mikroorganizma bulunmaz. Tam karışımli reaktör içerisinde ani ve homojen olarak karışır. Hidrolik veya toksik şok yüklemelere dayanıklıdır. Atıksu giriş debisi ile reaktörden çıkış debisi aynıdır. Ayrıca reaktördeki ve reaktör çıkışındaki mikroorganizma konsantrasyonu eşittir. Mikroorganizma için kütle denkliği;

$$\begin{bmatrix} \text{Sistemde Biriken} \\ \text{Mikroorganizma} \\ \text{Miktarı} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Sisteme Giren} \\ \text{Mikroorganizma} \\ \text{Miktarı} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{Sistemden Çıkan} \\ \text{Mikroorganizma} \\ \text{Miktarı} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Reaktörde Artan} \\ \text{Mikroorganizma} \\ \text{Miktarı} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{Reaktörde Azalan} \\ \text{Mikroorganizma} \\ \text{Miktarı} \end{bmatrix}$$

$$V \cdot \frac{dx}{dt} = Q \cdot X_0 - Q \cdot X + V \cdot r_g$$

$$r_g = \mu_m \cdot \frac{S \cdot X}{K_s + S} - k_d \cdot X$$

$$V \cdot \frac{dx}{dt} = Q \cdot X_0 - Q \cdot X + V \cdot \left[\mu_m \cdot \frac{S \cdot X}{K_s + S} - k_d \cdot X \right] \quad (23)$$

Burada;

V: Reaktör hacmi,

Q: Sisteme giren ve çıkan atıksu debisi,

X₀: Giriş akımındaki mikroorganizma konsantrasyonu

X: Reaktördeki mikroorganizma konsantrasyonu

r_g: Reaktördeki mikroorganizma net değişim oranı

S: Reaktörden çıkan substrat konsantrasyonu

K_s: Michaelis-menten sabiti

Eğer reaktörde mikroorganizma konsantrasyonunun sabit kaldığı kararlı durum meydana gelirse;

$$\frac{Q}{V} = \left[\mu_m \cdot \frac{S}{K_s + S} - k_d \right] \quad (24)$$

Hidrolik bekleme süresi, $\frac{Q}{V} = T$ yerine konursa;

$$\frac{Q}{V} = \frac{1}{T} = \left[\mu_m \cdot \frac{S}{K_s + S} - k_d \right] \quad (25)$$

Mikroorganizma yerine substrat için kütle denkleği yazıldığında;

$$V \cdot \frac{dS}{dt} = Q \cdot S_0 - Q \cdot S + V \cdot r_{su} \quad (26)$$

Burada;

$$r_{su}: \text{Substrat kullanım hızı, } r_{su} = -k \cdot \frac{S \cdot X}{K_s + S}$$

S_0 : Atısu giriş BOİ veya KOİ konsantrasyonu

S : Atıksu çıkış BOİ veya KOİ konsantrasyonu

Kararlı denge durumunda yukarıdaki denklemde ($dS/dt=0$) olur. Bu durumda;

$$0 = S_0 - S - T \cdot k \cdot \frac{S \cdot X}{K_s + S} \quad (27)$$

Reaktör çıkışındaki mikroorganizma konsantrasyonu (Soyupak, 1987; Samsunlu, 2006).

$$X = \mu_{\max} \cdot \frac{(S_0 - S)}{k(1 + k_d \cdot T)} = Y \frac{(S_0 - S)}{(1 + k_d \cdot T)} \quad (28)$$

$$S = \frac{K_s \cdot (1 + T \cdot k_d)}{T \cdot (Y \cdot k - k_d) - 1} \quad (29)$$

1.4.4. Tam Karışımli Geri Devirli Aktif Çamur Sistemleri

Geri devirli sistemlerde mikroorganizma kütle dengesi;

$$[\text{Biriktirme}] = \left[\begin{array}{c} \text{Reaktöre Giren} \\ \text{Mikroorganizma Miktarı} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Sistemden Çıkan} \\ \text{Mikroorganizma Miktarı} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Net Çoğalan} \\ \text{Mikroorganizma Miktarı} \end{array} \right]$$

$$\frac{dX}{dt} \cdot V_r = Q \cdot X_0 - [Q_w \cdot X + Q_e \cdot X_e] + V_r \cdot (r_g') \quad (30)$$

$$r_g' = -r_{su} - k_d \cdot X$$

Girişte mikroorganizma konsantrasyonunun sıfır olduğu ($dx/dt=0$) kabulü ile eşitlik sadeleştirildiğinde;

$$\frac{[Q_w \cdot X + Q_e \cdot X_e]}{V_r \cdot X} = -Y \cdot \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad (31)$$

$$\frac{1}{T} = -Y \cdot \frac{r_{su}}{X} - k_d$$

Burada;

Q_w : Sistemde uzaklaştırılan atıksu debisi

Q_e : Son çökeltim havuzundan deşarj edilen suyun debisi

X_e : Son çökeltim havuzundan uzaklaştırılan sudaki mikroorganizma konsantrasyonu

V_r : Reaktör hacmi

Substrat kullanım hızı;

$$r_{su} = -\frac{S_0 - S}{\theta} \quad (32)$$

Çıkış substrat konsantrasyonu,

$$S = \frac{K_s \cdot (1 + \theta_c \cdot k_d)}{\theta_c \cdot (Y_k - k_d) - 1} \quad (33)$$

Geri devirli sistemde hidrolik bekleme süresi θ_c ile gösterilmiştir (Samsunlu, 2006).

1.4.5. Piston Akımlı Aktif Çamur Sistemleri

Bu sistemlerde akımın her zerrisi reaktöre girdiği düzende reaktörden çıkar. İdeal piston akımlı reaktörde karışım ya da dağılım yoktur. Arıtmaya giren tüm elementler teorik alıkonma süresi boyunca aynı arıtmaya maruz kalırlar. Piston akımlı reaktörde substrat konsantrasyonu (Arceivala, 2002);

$$S = S_0 \cdot e^{-K \cdot t} \quad (34)$$

Burada; S_0 : Başlangıç substrat miktarı

k : Birim zamanda substrat giderim hızı

t: Reaktörde kalma süresi

Piston akımlı reaktörde kütle denklığı;

$$\Delta V \cdot \frac{dC}{dt} = Q \cdot C_o - Q \cdot C + r_c \cdot \Delta V \quad (35)$$

Monod' un ilk deneyimleri kesikli reaktörde gerçekleşmiştir. Bakteri dengesi kullanılarak zamana göre S ve X ölçümleri tanımlandığında;

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S} X \quad (36)$$

ve substrat dengesi:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\mu_{\max}}{Y_{X/S}^o} \frac{S}{K_s + S} X \quad (37)$$

Substrat tüketim hızı:

$$r_s = \frac{r_x}{Y_{X/S}^o} \quad (38)$$

Burada $Y_{X/S}^o$ gerçek üretim katsayısıdır (Wiesmann vd., 2007).

1.5. Aktif Çamurda Kullanılan Ölçüm Yöntemleri

1.5.1. Substrat Ölçüm Yöntemleri

Mikrobiyal çoğalma ve substrat kullanım hızları, sistemdeki hız kısıtlayıcı besleyici konsantrasyonu ile orantılıdır. Hız kısıtlayıcı olan madde aynı zamanda sistemde giderilmesi

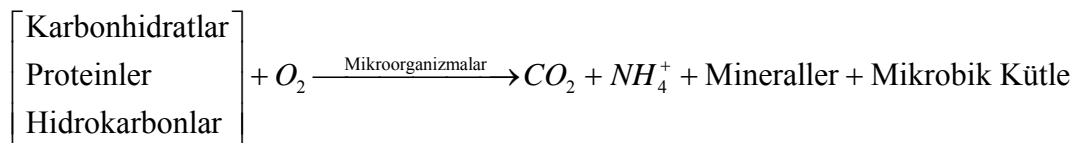
istenen maddedir. Dolayısıyla hız kısıtlayıcı besleyici konsantrasyonunun nasıl ölçüleceği önemli bir sorundur.

Spesifik bir maddenin giderilmesi için tasarlanmış sistemlerde, sistem verimi spesifik bileşiğin konsantrasyonun ölçülmesi ile belirlenir. Yüzlerce bileşik içeren atıksularda çözülmüş organik maddenin biyolojik gideriminde arıtma veriminin spesifik testlerle ölçülmesi hemen hemen olanaksızdır. Sistemde spesifik madde giderimi söz konusu değilse bu organik maddelerin birleştirilmiş bir özelliği ölçülebilmektedir.

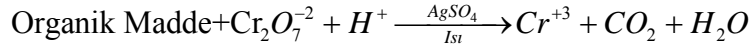
Organik maddenin, karbon cinsinden toplam miktarını veren TOC testinin substrat ölçümünde kullanılması, biyolojik olarak parçalanmayan ve parçalanamayan organik madde arasında ayrım yapamadığı için dezavantaja sahiptir.

Oksijen ihtiyacı ile atığın içerdiği karbonlu enerjiyi ölçmede Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) çok fazla kullanılan bir yöntemdir (Artan, 1988).

BOİ aerobik organotrofik mikroorganizmalar için uygun organik karbon kaynağı içeren atıksuyun kirlenme potansiyelinin mikroorganizmaların bu sudan alınmış bir örnekte gelişmeleri sırasında harcadıkları oksijenin ölçülmesi ile belirlenir. BOİ deneyi, atıksu numunesiyle aşılınmış ve substrat eklenmiş BOİ şişelerinin 20 °C lik inkübatörde 5 gün bekletilmesi sonucunda çözülmüş oksijen konsantrasyonundaki değişimin ölçülmesi ile gerçekleşir. İnkübasyon devresinde yeterli besleyici besin madde ile oksijenin olması için atıksu numunesi özel olarak hazırlanmış seyreltme suyu ile seyreltilmesi gerekir (İB, UNDP ve WHO, 1989). 5 gün sonundaki biyokimyasal yükseltgenme atıksudaki substrat düzeyini tamamıyla yansıtmaz. Bunun için 20-25 günlük BOİ deneyleri yapılarak ekstrapolasyon ile nihai değer bulunmaya çalışılır (Artan, 1988). BOİ ölçümün kimyasal tepkimesi aşağıda verilmiştir (Soyupak, 1987);



KOİ atıksuların organik madde içeriğinin belirlenmesi için kullanılır. KOİ atıksu örneklerinin 2 saat içinde kuvvetli asidik ortamda potasyum kromat ile kaynama sıcaklığında indirgendikleri krom (Cr^{+6}) miktarının ölçülmesi ile belirlenir. KOİ deneyinde organik bileşiklerin oksitlenmesine yardımcı olmak için katalizör olarak gümüş sülfat kullanılır. Böylece bikromatla yükseltgenebilir maddelerin atıksudaki konsantrasyonu bulunmuş olur. Genel olarak bir atıksuyun KOİ' si BOİ' den daha büyüktür. Çünkü biyolojik olarak oksitlenemeyen birçok bileşik kimyasal olarak oksitlenebilir. BOİ₅ ile KOİ arasındaki ilişki için yaygın olan, BOİ₅'nin KOİ' nin 0.65 katına eşit olduğudur (Soyupak, 1987; Artan, 1988; İB, UNDP ve WHO, 1989). KOİ ölçümünün kimyasal tepkimesi aşağıda verilmektedir (Soyupak, 1987);



Kantitatif bir substrat ölçme yöntemi olan KOİ deneyinin yetersizliği, mikroorganizmalar için uygun substrat oluşturmayan yükseltgenebilir maddelerin ve bu arada biyolojik bakımdan inert organik maddelerinde Cr^{+6} ' yı indirgemeleri nedeni ile ölçüm sonuçlarına yansımaktadır (Artan,1988).

BOİ deneyinde aşı olarak kullanılan mikroorganizmaların atıksuda bulunan substratlara uyum sağlayamaması yada atıksuda biyolojik gelişmeyi azaltıcı inhibitörler (karbondioksit vs.) bulunması durumunda düşük değerler elde edilir (Artan, 1988). Standart BOİ metodunun dezavantajlarını elimine etmek ve arıtma tesislerinde oksijen ihtiyacının ölçümünde gerçekçi yaklaşımları sağlayan alternatif teknik geliştirmek amacı ile respirometreler önerilmektedir. Respirometrik ölçümün esası oksijen gideriminde biyolojik parçalanma reaksiyonlarını manometrik ve elektrolitik olarak izlenmesidir. Bu yöntemde oluşan karbondioksit alkali çözeltilerle giderildiği için BOİ değerleri etkilenmez (Berkün, 2009).

1.5.2. Biyokütle Ölçüm Yöntemleri

Gravemetrik olarak tayin edilen Askıda Katı Madde (AKM) ve Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM) aktif çamur sistemlerinde mikro organizmanın ölçüsü olarak

kullanılmaktadır. AKM inorganik partiküler maddeyi ölçerken, UAKM inorganik partiküler maddeyi yada ayrışabilir organik maddeyi ölçer.

Karışım sıvısındaki askıda katı madde (AKM), atıksu numunesinin filtre kağıdında süzülükten sonra filtre kağıdı üzerinde kalan ve süzilemeyen kısmının 103 °C de etüvde 1 saat kurutulup, desikatörde soğutulduktan sonra tartılarak belirlenir. Filtre kağıdının filtre işleminden önceki ağırlığı tartılır. İki tartım arasındaki fark askıda katı madde miktarını verir (Şengül ve Türkman, 1998).

Karışım sıvısındaki askıda uçucu katı madde (UAKM), AKM tayininde kullanılan atıksu ile filtre edilmiş filtre kağıdı 550 °C lik kül fırınında yaklaşık 30 dakika bekletilerek uçucu organik maddenin tayini için kullanılır. Bu parametre gerçekte suda bulunan tane halindeki organik maddeyi temsil eder ve aktif biyokütle indikatörü olarak bilinirler (Soyupak, 1987; Şengül ve Türkman, 1998; Alley, 2007).

1.6. Reaksiyon Kinetiğinin Bileşenlerinin Oluşturulması

1.6.1. Michaelis-Menten Sabiti (K_s) ve Substrat Kullanım Hızı (k) Hesabı

Substrat tüketim hızı;

$$r_s = -k \cdot \frac{X \cdot S}{K_s + S} \text{ ve } r_s = -\frac{S_0 - S}{T} \quad (39)$$

Burada;

X: Mikroorganizma konsantrasyonu (BOİ₅ veya KOİ için KSAKM veya KSUAKM), mg/L

S: Substrat konsantrasyonu, mg/L

T: Çamur bekleme süresi, gün

$$r_s = -k \cdot \frac{X \cdot S}{K_s + S} = -\frac{S_0 - S}{T}$$

$$k \cdot \frac{X \cdot S}{K_s + S} = \frac{S_0 - S}{T}$$
(40)

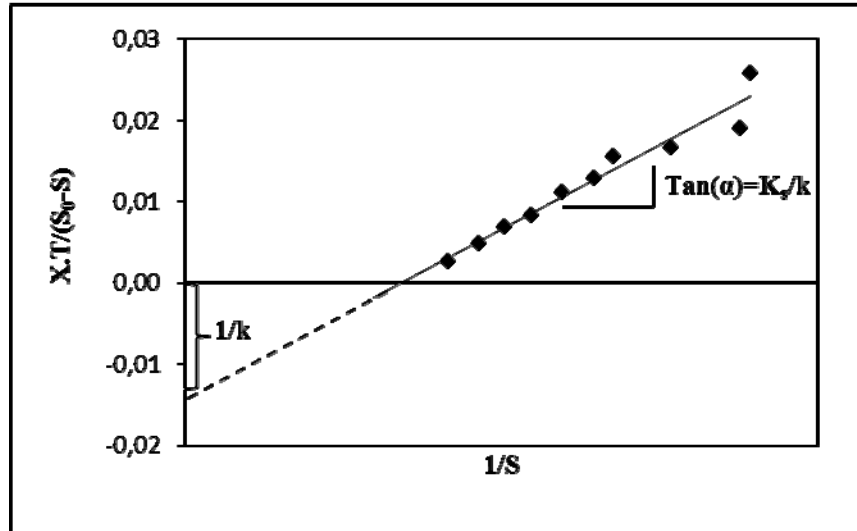
Her iki taraf X' e bölünürse;

$$\frac{k \cdot S}{K_s + S} = \frac{S_0 - S}{T \cdot X}$$

Bu bağıntının her iki tarafının tersi alınarak doğrusal hale dönüştürülürse;

$$\frac{T \cdot X}{S_0 - S} = \frac{K_s}{k} \cdot \frac{1}{S} + \frac{1}{k}$$
(41)

Bu bağıntı dikkate alınarak ordinatı $[T \cdot X / (S_0 - S)]$, apsisi $(1/S)$ olan grafik çizilir. Elde edilen doğrusal denklemin ordinatı (Y) kestiği nokta $(1/k)$ değerini, doğrunun eğimi ise (K_s/k) değerini verir. Doğru denkleminin kesim noktası ve doğru eğimi yardımıyla K_s ve k değerleri hesaplanır (Şekil 3).



Şekil 3. (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının grafiksel hesaplanması

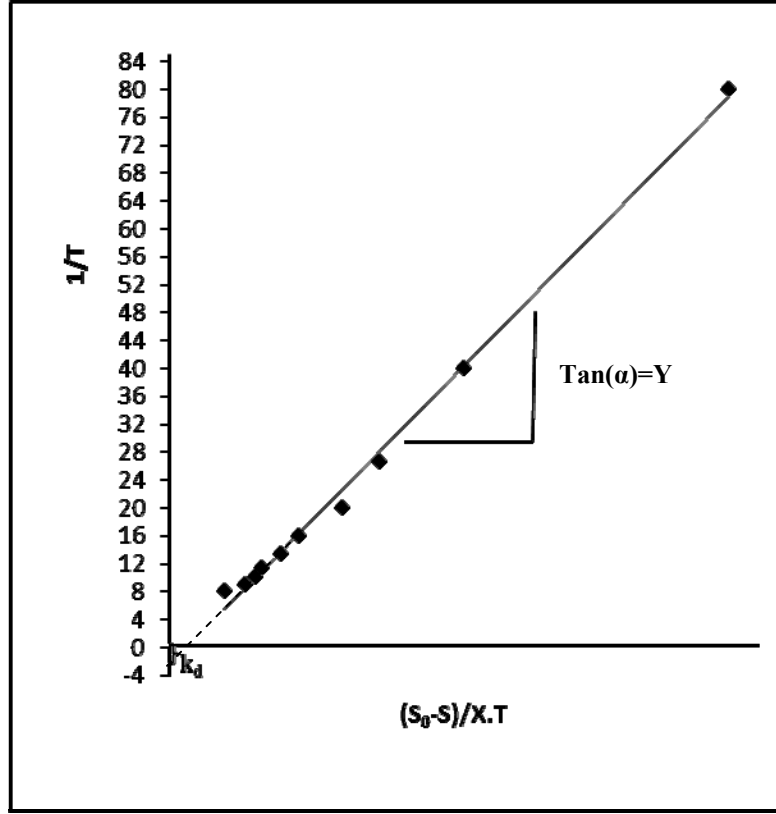
1.6.2. Maksimum Üreme Verimi Katsayısı (Y) ve Mikroorganizma Ölüm Hızı Katsayısı (k_d) Hesabı

Maksimum üreme katsayısı çamur miktarına, biyokütleyle veya hızlı şekilde hücrelerin gelişmesi halinde ortamda azalan birim substrat miktarına bağlıdır (Rozich ve Gaudy, 1992).

Net spesifik büyüme hızı;

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{1}{T} = -\frac{Y \cdot r_{su}}{X} - k_d \\ \frac{1}{T} &= -\frac{Y \cdot \left(-\frac{S_0 - S}{T \cdot X} \right)}{X} - k_d \\ \frac{1}{T} &= -Y \frac{(S_0 - S)}{T \cdot X} - k_d\end{aligned}\tag{42}$$

Ordinata ($1/T$) ve apsise $[(S_0 - S)/T \cdot X]$ gelecek şekilde grafiğe alındığında elde edilen doğru denkleminin ordinatı (Y) kestiği nokta (k_d) değerini, doğrunun eğimi de (Y) değerini verir (Şekil 4).



Şekil 4. (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının grafiksel hesaplanması

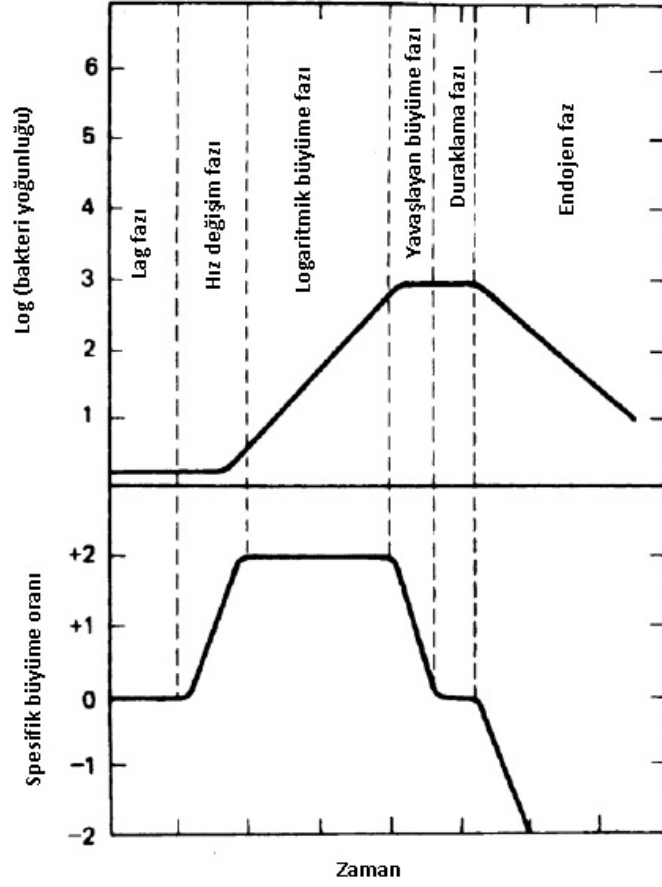
1.6.3. Maksimum Büyüme Hızı (μ_{\max}) Hesabı

Maksimum büyüme hızı (gün^{-1});

$$\mu_{\max} = Y.k \quad (43)$$

1.6.4. Spesifik Çoğalma Hızı (μ) Hesabı:

Mikrobiyal kütlelenin gelişim miktarı (dX/dt) genellikle spesifik çoğalma hızı ile ifade edilir. Mikrobiyal gelişim döngüsü Şekil 5' de gösterilmiştir. Bu döngüde en önemli safha logaritmik safha olup, gelişimin arttığı ve temelde oran olarak açıklanan safhada spesifik çoğalma hızı ve spesifik ölüm hızı (k_d) sabittir (Rozich ve Gaudy, 1992).



Şekil 5. Organizmaların büyüme eğrisi (Rozych ve Gaudy, 1992).

Spesifik çoğalma hızı (gün^{-1});

$$\mu = \frac{\mu_{\max} \cdot S}{K_s + S} \cdot X \quad (44)$$

1.7. Literatür Araştırması

1914 yılında Arden ve Lockett tarafından geliştirilen aktif çamur prosesi, atıksu ve biyokütle karışımının atıksu havuzunda havalandırma ve karıştırma neticesinde askıda kalan mikroorganizmanın oksijen ile ayrışarak arıtılmasıdır (Henze vd., 1995). Henze ve diğerleri sıcaklık değişiminin kinetik katsayılar üzerindeki etkisini araştırmış, 10 °C ve 20 °C sıcaklıklar için deneysel olarak kinetik katsayılar belirlemiştir (Henze vd., 2000).

Koers (1967), kesikli, yarı sürekli ve sürekli sistem laboratuvar düzeneğinde farklı sıcaklık değerleri ile BOİ ve KSUAKM giderimlerini incelediği çalışmada sıcaklık değişiminin en az kesikli sistemde etkili olduğunu belirlemiştir.

Chudoba ve diğerleri (1968), tam karışimli havalandırma tankında yaptıkları laboratuvar deneylerinde, hidrolik bekletme süresinin 12-96 saat arasında değiştiği durumlar için BOİ ve KOİ giderimlerini belirlemiştir. Çıkıştaki substratın KOİ olarak incelendiği durumda giriş ve çıkış KOİ değerleri arasında ortak ilişki denklemi geliştirmişlerdir.

Berkün (1974), yaptığı çalışmada respirometrik yöntemle seyrelme metodu arasında yüksek korelasyonlu ilişki olduğunu belirlemiştir. Berkün (2009), diğer bir çalışmada iki farklı ölçüm tekniği ile ölçülen BOİ değerlerine CO₂ in etkisini incelemiştir. Bu çalışmada, seyrelme metoduyla ölçülen BOİ değerlerinin respirometrik yöntemle göre daha yüksek çıktığı ancak nitrifikasyona etki açısından seyrelme metodunun daha az etkili olduğunu belirlemiştir.

Williamson ve McCarty (1975), geri devirsiz tam karışimli bir reaktörde besleme akımının düşük tutularak reaktör hacminde değişimin olmadığı kabulü ile özellikle düşük K_s değerlerinin ölçülmesi için yöntem geliştirmişlerdir.

Young ve Baumann (1976), elektrolitik respirometre ile seyrelme metodunu karşılaştırdığı çalışmalarında farklı atıksu arıtma tesislerinden alınan numunelerde iki metot arasında % 41 ile % 99 arasında değişen korelasyonlar belirlemiştir. k katsayısının belirlenmesinde çıkış suyundan alınan numunelerde elektrolitik yöntemde k değeri 0.196, seyrelme metodunda ölçülen k değeri 0.063 ve hesapla bulunan seyrelme metoduna göre k değeri 0.0672 belirlenmiştir. Birbirleri ile korelasyonu olan bu iki metotta inkübasyon süresinin etkili olduğu belirlenmiştir.

Cech ve diğerleri (1984), geliştirdikleri respirometrik yöntem ile analitik olarak tahmin edilemeyen substratlar için daha hassas ve basit bir şekilde μ ve K_s kinetik katsayılarını bulmuştur.

Yetiş (1988), deneysel bir aktif çamur düzeneğinde aktif çamur kinetiklerini incelemiş ve biyokütle konsantrasyonuna ve kinetik katsayılara aktif çamur içerisinde bulunan ağır metallerin (özellikle Ni ve Cr) etkili olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca Yetiş ve diğerlerinin yaptığı çalışmada (1999), Y ve k_d kinetik katsayılarının aktif çamur çıkış suyundaki Cr (VI) konsantrasyonuna etki ettiğini belirlemişlerdir.

Anderson (1989), çalışmasında sıcaklığın 20 °C den 5 °C ye düşmesi durumunda mikroorganizma ölüm hızı katsayısının (k_d) 0.05 den 0.004'e kadar düşmekte olduğunu belirlemiştir.

Akal (1997), başlangıç mikroorganizma (X_0) ve substrat konsantrasyonunun (S_0) kalıcı ürün oluşumuna (S) etkisini incelediği kesikli deneysel çalışmasında balangıç substrat konsantrasyonunun artışı ile kalıcı üründe artışa neden olduğu ve F/M oranı yüksek olması halinde ayrışma süresinin uzadığını belirlemiştir.

Helle (1999), respirometrik yöntemin özellikle yüksek substrat girişi olduğu sistemlerde daha yüksek substrat giderim verimine neden olduğunu, düşük substrat durumunda kütle transfer direncine bağlı olarak verimin düştüğünü belirlemiştir.

Sin ve Gökçay (1999), evsel nitelikli atıksu ile yaptıkları çalışmada kolayca parçalanabilen KOİ değerinin saptanmasında seyrelme metodunun respirometrik metoda göre daha uygun olduğunu belirlemişlerdir.

Dricks ve diğerleri (1999), iki farklı atıksu arıtma tesisinden alınan aktif çamur ile laboratuvar ölçekli havalandırmalı geri devirsiz aktif çamur sisteminde respirometrik yöntemle oksijen tüketim hızıyla birlikte üreme verimi (Y) katsayısını hesapladıklarında Y değerinin substrat konsantrasyonundan bağımsız olduğunu tespit etmişlerdir.

Makinia ve Wells (2000), aktif çamur reaktöründe oksijen transferi ve dağılımı katsayısı geliştirmeyi amaçladıkları model çalışması neticesinde, kesikli reaktörde KOİ ile BOİ arasında % 95.5 korelasyonlu lineer bir ilişki belirlemişlerdir.

Juang ve Hwu (2003), laboratuvar ölçekli kesikli ve sürekli sistem aktif çamur ünitesinde gram-negatif bakterilerin durumunu incelemişler ve kesikli sistemlerde mikroorganizmaların kararsız organik yüklemelerde çevresel şartlara daha dayanıklı olduklarını bulmuşlardır.

Broeck ve diğerleri (2009), geri döngülü tam karıştırmalı laboratuvar ölçekli bir çalışmada başlangıç şartları aynı üç farklı deneme için mikroskobik analiz, çamur hacim indeksi ve oksijen tüketim hızı değişimlerini incelemişlerdir. Bu üç parametrenin izlenmesi esnasındaki kararlılığın ölçülebilir aktif çamur sistemine bağlı olduğu tespit etmişlerdir.

Haydar ve Aziz (2009), laboratuvar ölçekli tam karıştırmalı sürekli bir reaktörde kinetik katsayıları belirlemişlerdir. Çalışmaya göre, reaktör hacmi küçüldükçe k değeri büyümektedir. K_s değeri reaktör tasarımı ile doğrudan etkili değil ancak μ_{max} ile değişmektedir.

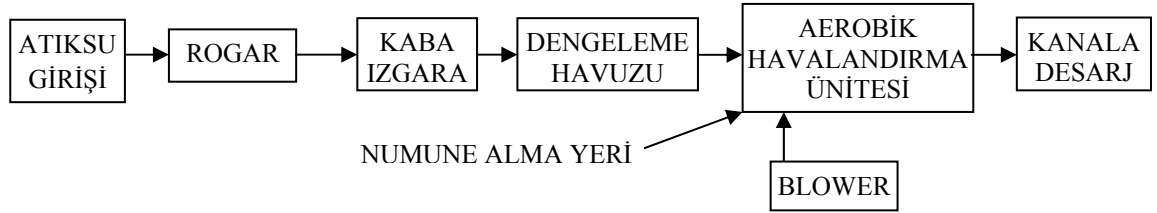
Mardani ve diğerleri (2011), üç farklı aktif çamur sistemi laboratuvar düzeneğinde yaptıkları çalışmalarda biyokinetik katsayıları hesaplamışlardır. İki farklı KSAKM ve beş farklı çamur bekletme süresi ile çalışmışlardır. Çalışma neticesinde her KSAKM değerine göre kinetik katsayıların çok değişken olduğu, kinetik katsayıları tam olarak modellenmenin mümkün olmadığı, klasik aktif çamur düzeneğinde elde edilen kinetik katsayıların literatürdeki tipik değerlere yakın olduğu belirlenmiştir. KSAKM değerindeki artış ile Y değerinin arttığı, k_d değerinin azaldığı, μ_{max} değerinin arttığı, K_s ve k_d değerlerinin giriş substrat konsantrasyonu ile orantılı olarak değiştiği, μ_{max} değerinin K_s ve k_d değerleri ile kıyaslandığında giriş substrat konsantrasyonuna daha duyarlı olduğu belirlenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada; laboratuvar ölçekli klasik aktif çamur sisteminde kinetik parametrelerin belirlenmesi, substrat konsantrasyonunun belirlenmesi için seyrelme ve respirometrik yöntemle BOİ ölçümleri ve KOİ ölçümlerinin yapılması, reaktör tankından elde edilen karışık sıvıdaki KSAKM ve KSUAKM değerlerinin ölçülmesi, giriş ve çıkış substrat konsantrasyonlarına göre substrat tüketim hızı (K_s), birim mikroorganizma kütlesi başına maksimum substrat tüketim hızı (q_m), birim substrat başına mikroorganizma değişim verimi (Y), ölüm hız sabitinin (K_d) belirlenmesi ve ölçüm yöntemine bağlı olarak belirlenen kinetiklerin arasında istatistiksel ilişkinin SPSS v.16 (Statistical Package For The Social Sciences) yazılımı ile hesaplanması gerçekleştirilmiştir.

2.1. Alınan Atıksu Numunesi

Deneysel çalışmalarda aşılama için kullanılan aktif çamur, Trabzon İli Devlet Hava Meydanları İşletmesi' ne ait paket arıtma tesisinden alınmıştır. Arıtma tesisine ait akış şeması ve tesis görünüşü Şekil 6 ve Şekil 7' de gösterilmektedir.



Şekil 6. Trabzon hava limanı paket atıksu arıtma tesisi akış şeması



Şekil 7. Trabzon hava limanı paket atıksu arıtma tesisi görünümü

2.2. Kullanılan Deneysel Düzenek

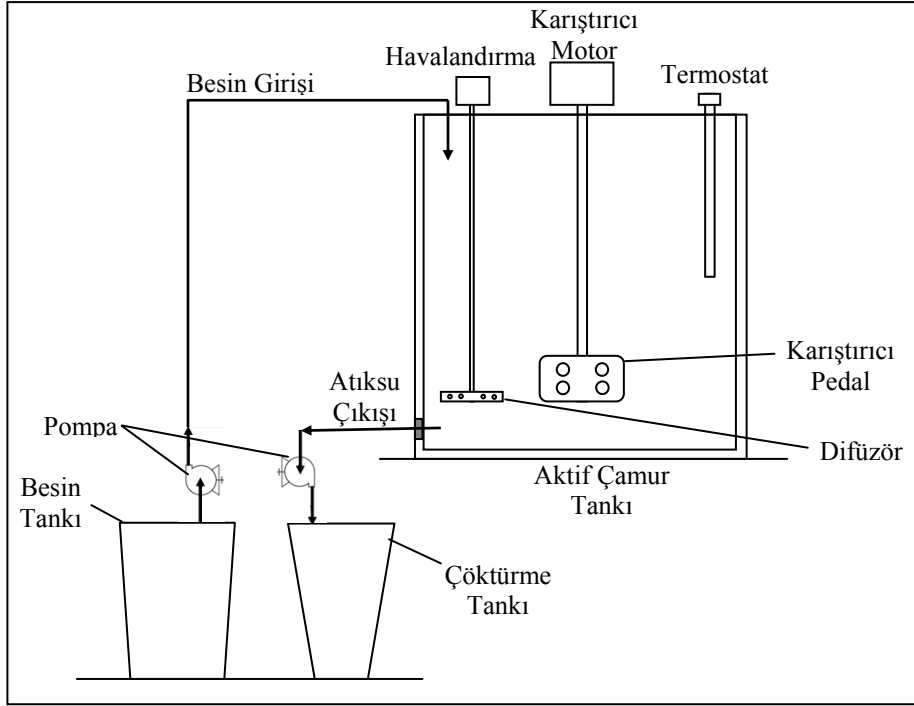
Sistemi beslemek için nutrient olarak 22 L sentetik atıksu kullanılmıştır. Kullanılan sentetik atıksuya ait bileşim Tablo 2’ de verilmiş olup pH’ ı 8.2 olarak ölçülmüştür.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan sentetik atıksu bileşimi (Broeck vd., 2009).

BİLEŞEN	Konsantrasyon (g/L)
[C ₆ H ₁₂ O ₆]	2.55
[(NH ₄) ₂ HPO ₄]	0.563
[K ₂ HPO ₄]	1.875
[NaCl]	0.075
[CaCl ₂ ·H ₂ O]	0.075
[MgSO ₄ ·7H ₂ O]	0.075
[FeCl ₃]	0.015

Deney düzeneğinin genel görünümü ve şematik çizimi Şekil 8 ve Şekil 9’ da gösterilmiştir. Deney düzeneğinde Armfield marka W10 tipi havalandırma ünitesi kullanılmıştır. Havalandırma tankı 24.5 L hacimde olup, çalışmalarda çalışma esnasında kabarma ve taşmayı önlemek için 22 L lik kısmı doldurularak kullanılmıştır. Sistemi çalıştırmadan önce sentetik atıksu sistem hacminin % 10’ u olacak şekilde aktif çamurla aşılmalıdır. Sentetik atıksu sisteme 0.176 m³/gün debi ile Cole-Parmer 4555-30 çift girişli peristaltik pompa ile verilmiştir. Aktif çamurun çökmeden askıda kalması ve gaz sıvı transferinin sağlanması için tank pedal tipi karıştırıcı ile 0,92 devir/dk hız ile sürekli olarak

3 saat süre ile geri devirsiz olarak karıştırılmıştır. Tankın oksijen konsantrasyonu 2-4 mgO₂/L arasında tutulacak şekilde tanka hava verilmiştir. Sistemin optimum işletme sıcaklığı 25.0 ± 3.0 °C olacak şekilde sürekli olarak termostatlı ısıtıcı ile dengede tutulmuştur. Arıtılmış su tankın tabanından peristaltik pompa ile 0.176 m³/gün debi ile konik şeklindeki cam çöktürme tankına alınmıştır. Çökelme tankının yanından arıtılmış su ve tankın tabanından ise fazla çamur alınabilmektedir. Çalışmada yapılan BOI₅, BOI_R, KOİ, AKM ve UAKM analizleri eşit zaman aralıkları ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. Laboratuvar ölçekli klasik aktif çamur sistemi düzeneği



Şekil 9. Laboratuvar ölçekli klasik aktif çamur sistemi görünüşü

2.3. Yapılan Analizler ve Ölçüm Yöntemleri

2.3.1. Seyrelme Metodu ile BOİ Analizi

Yöntem: SW-5210-D (APHA, AWWA ve WEF, 1995) (EK-I'de verilmiştir)

Kullanılan Cihazlar: Lovibond Oxi-Direct Respirometre (Şekil.10.a)

2.3.2. Respirometrik Yöntemi ile BOİ Analizi

Yöntem: SW-5210-B (APHA, AWWA ve WEF, 1995) (EK-II'de verilmiştir)

Kullanılan Cihazlar: HANNA HI 9146-10 (Şekil.10.c), Nüve En055 İnkübatör

2.3.3. Spektrofotometrik Yöntem ile KOİ Analizi:

Yöntem: SW-5220-D (APHA, AWWA ve WEF, 1995) (EK-III'de verilmiştir)

Kullanılan Cihazlar: Merck Pharo 100 Spektrofotometre (Şekil.10.d), Merck TR420 Sindirme Reaktörü (Şekil.10.e),

2.3.4. KSAKM Analizi

Yöntem: SW-2540-D (APHA, AWWA ve WEF, 1995) (EK-VI'de verilmiştir)

Kullanılan Cihazlar: Spectrum Vakum Filtre Seti, Etüv

2.3.5. KSUAKM Analizi

Yöntem: SW-2540-E (APHA, AWWA ve WEF, 1995) (EK-V'de verilmiştir)

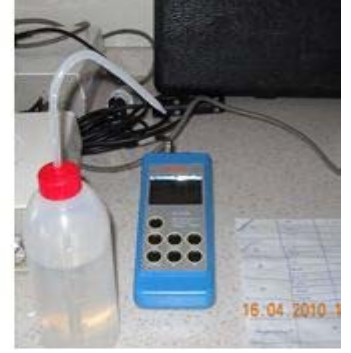
Kullanılan Cihazlar: Spectrum Vakum Filtre Seti, Naber 2804 Kül fırını



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 10. Deneylerde kullanılan cihazlar (a) Lovibond BOİ ölçüm sistemi (b) Hanna pH metre (c) Hanna oksijen metre (d) Merck spektrofotometre (e) Merck Termoreaktör

3. BULGULAR

Geridevirsiz aktif çamur ünitesinde dört deneme gerçekleştirilmiştir. Aktif çamur sisteminde kalış süresine bağlı olarak, seyrelme metoduyla ölçülen BOI_5 , respirometrik yöntemle ölçülen BOI_R ve KOI değerleri KSAKM ve KSUAKM değerleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ölçüm sonuçları dikkate alınarak tüm kinetik katsayılar k , K_s , k_d , Y ve μ_m ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca dört denemede elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama kinetik katsayılar da hesaplanmıştır.

Tablo 3. 1.deneme için seyrelme metodu ile BOI_5 değerlerine göre KSAKM tablosu

S_0 (mg/l)	S (mg/l)	T (dak)	T (gün)	X (KSAKM) (mg/l)	X.T/(S_0-S) (gün)	1/S (mg/l) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
2945	2945	0	0.000	102.6	-	0.00034	-	-
2945	2495	18	0.013	133.3	0.00370	0.00040	80.0	270.06752
2945	2372	36	0.025	146.2	0.00638	0.00042	40.0	156.77155
2945	2302	54	0.038	194.6	0.01135	0.00043	26.7	88.11237
2945	2288	72	0.050	240.2	0.01828	0.00044	20.0	54.70441
2945	2032	90	0.063	267.0	0.01828	0.00049	16.0	54.71161
2945	1921	108	0.075	283.7	0.02078	0.00052	13.3	48.12595
2945	1632	126	0.088	308.8	0.02058	0.00061	11.4	48.59363
2945	1560	144	0.100	312.4	0.02256	0.00064	10.0	44.33419
2945	1320	162	0.113	346.4	0.02398	0.00076	8.9	41.69874
2945	900	180	0.125	372.0	0.02274	0.00111	8.0	43.97849

Tablo 4. 2.deneme için seyrelme metodu ile BOI_5 değerlerine göre KSAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSAKM) (mg/L)	X.T/(S_0-S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
2645	2645	0	0.000	123.3	-	0.00038	-	-
2645	2098	18	0.013	135.0	0.00309	0.00048	80.0	324.14815
2645	1860	36	0.025	148.3	0.00472	0.00054	40.0	211.68539
2645	1641	54	0.038	159.3	0.00595	0.00061	26.7	168.06863
2645	1510	72	0.050	187.0	0.00824	0.00066	20.0	121.39037
2645	1340	90	0.063	191.7	0.00918	0.00075	16.0	108.93913
2645	1210	108	0.075	234.5	0.01226	0.00083	13.3	81.59204
2645	1116	126	0.088	321.2	0.01838	0.00090	11.4	54.40313
2645	955	144	0.100	386.4	0.02286	0.00105	10.0	43.73706
2645	902	162	0.113	432.5	0.02792	0.00111	8.9	35.82274
2645	860	180	0.125	491.7	0.03443	0.00116	8.0	29.04407

Tablo 5. 3.deneme için seyrelme metodu ile BOI₅ değerlerine göre KSAKM tablosu

S ₀ (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
2864	2864	0	0.000	88.3	-	0.00035	-	-
2864	2190	18	0.013	155.0	0.00287	0.00046	80.0	347.87097
2864	1875	36	0.025	165.4	0.00418	0.00053	40.0	239.17775
2864	1710	54	0.038	186.7	0.00607	0.00058	26.7	164.82771
2864	1535	72	0.050	260.0	0.00978	0.00065	20.0	102.23077
2864	1324	90	0.063	303.3	0.01231	0.00076	16.0	81.23970
2864	1210	108	0.075	325.0	0.01474	0.00083	13.3	67.85641
2864	1098	126	0.088	330.3	0.01637	0.00091	11.4	61.10462
2864	923	144	0.100	372.3	0.01918	0.00108	10.0	52.13537
2864	854	162	0.113	428.3	0.02397	0.00117	8.9	41.71531
2864	763	180	0.125	460.0	0.02737	0.00131	8.0	36.53913

Tablo 6. 4.deneme için seyrelme metodu ile BOI₅ değerlerine göre KSAKM tablosu

S ₀ (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
2799	2799	0	0.000	115.0	-	0.00036	-	-
2799	2012	18	0.013	161.7	0.00257	0.00050	80.0	389.36302
2799	1799	36	0.025	195.0	0.00488	0.00056	40.0	205.12821
2799	1656	54	0.038	208.3	0.00684	0.00060	26.7	146.30400
2799	1528	72	0.050	211.7	0.00833	0.00065	20.0	120.07558
2799	1403	90	0.063	248.3	0.01112	0.00071	16.0	89.95570
2799	1293	108	0.075	260.0	0.01295	0.00077	13.3	77.23077
2799	1234	126	0.088	278.3	0.01556	0.00081	11.4	64.26775
2799	1087	144	0.100	286.0	0.01671	0.00092	10.0	59.86014
2799	952	162	0.113	312.0	0.01900	0.00105	8.9	52.62108
2799	934	180	0.125	385.0	0.02580	0.00107	8.0	38.75325

Tablo 7. 1.deneme için seyrelme metodu ile BOI₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu

S ₀ (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
2945	2945	0	0.000	92.8	-	0.00034	-	-
2945	2495	18	0.013	121.9	0.00339	0.00040	80.0	295.33390
2945	2372	36	0.025	134.1	0.00585	0.00042	40.0	170.86713
2945	2302	54	0.038	180.1	0.01050	0.00043	26.7	95.21918
2945	2288	72	0.050	223.4	0.01700	0.00044	20.0	58.83019
2945	2032	90	0.063	248.8	0.01703	0.00049	16.0	58.71604
2945	1921	108	0.075	264.6	0.01938	0.00052	13.3	51.59199
2945	1632	126	0.088	288.5	0.01922	0.00061	11.4	52.01955
2945	1560	144	0.100	291.9	0.02107	0.00064	10.0	47.45105
2945	1320	162	0.113	324.1	0.02244	0.00076	8.9	44.56111
2945	900	180	0.125	348.4	0.02130	0.00111	8.0	46.95131

Tablo 8. 2.deneme için seyrelme metodu ile BOI_5 değerlerine göre KSUAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S_0-S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
2645	2645	0	0.000	112.4	-	0.00038	-	-
2645	2098	18	0.013	123.5	0.00282	0.00048	80.0	354.30502
2645	1860	36	0.025	136.2	0.00434	0.00054	40.0	230.60416
2645	1641	54	0.038	146.6	0.00547	0.00061	26.7	182.66269
2645	1510	72	0.050	172.9	0.00762	0.00066	20.0	131.31817
2645	1340	90	0.063	177.3	0.00849	0.00075	16.0	117.77199
2645	1210	108	0.075	217.9	0.01139	0.00083	13.3	87.78979
2645	1116	126	0.088	300.2	0.01718	0.00090	11.4	58.20264
2645	955	144	0.100	362.1	0.02143	0.00105	10.0	46.67050
2645	902	162	0.113	405.9	0.02620	0.00111	8.9	38.17346
2645	860	180	0.125	462.0	0.03235	0.00116	8.0	30.90764

Tablo 9. 3.deneme için seyrelme metodu ile BOI_5 değerlerine göre KSUAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S_0-S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
2864	2864	0	0.000	79.2	-	0.00035	-	-
2864	2190	18	0.013	142.5	0.00264	0.00046	80.0	378.40880
2864	1875	36	0.025	152.4	0.00385	0.00053	40.0	259.64473
2864	1710	54	0.038	172.6	0.00561	0.00058	26.7	178.31564
2864	1535	72	0.050	242.1	0.00911	0.00065	20.0	109.76808
2864	1324	90	0.063	283.2	0.01150	0.00076	16.0	86.99246
2864	1210	108	0.075	303.8	0.01378	0.00083	13.3	72.58244
2864	1098	126	0.088	308.9	0.01530	0.00091	11.4	65.34447
2864	923	144	0.100	348.7	0.01797	0.00108	10.0	55.65897
2864	854	162	0.113	401.9	0.02249	0.00117	8.9	44.45767
2864	763	180	0.125	432.0	0.02570	0.00131	8.0	38.91039

Tablo 10. 4.deneme için seyrelme metodu ile BOI_5 değerlerine göre KSUAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S_0-S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
2799	2799	0	0.000	104.5	-	0.00036	-	-
2799	2012	18	0.013	148.9	0.00236	0.00050	80.0	422.97510
2799	1799	36	0.025	180.5	0.00451	0.00056	40.0	221.66142
2799	1656	54	0.038	193.1	0.00634	0.00060	26.7	157.83745
2799	1528	72	0.050	196.3	0.00772	0.00065	20.0	129.49213
2799	1403	90	0.063	231.0	0.01034	0.00071	16.0	96.67488
2799	1293	108	0.075	242.1	0.01206	0.00077	13.3	82.92487
2799	1234	126	0.088	259.5	0.01451	0.00081	11.4	68.91966
2799	1087	144	0.100	266.8	0.01559	0.00092	10.0	64.16226
2799	952	162	0.113	291.5	0.01776	0.00105	8.9	56.32169
2799	934	180	0.125	360.8	0.02418	0.00107	8.0	41.35434

Tablo 11. 1.deneme için respirometrik metot ile BOI_5 değerlerine göre KSAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSAKM) (mg/L)	X.T/(S_0-S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
1307	1307	0	0.000	102.6	-	0.00077	-	-
1307	637	36	0.025	146.2	0.00546	0.00157	40.0	183.31053
1307	557	72	0.050	240.2	0.01601	0.00180	20.0	62.44796
1307	530	108	0.075	283.7	0.02738	0.00189	13.3	36.51745
1307	507	144	0.100	312.4	0.03905	0.00197	10.0	25.60819
1307	494	180	0.125	372.0	0.05720	0.00202	8.0	17.48387

Tablo 12. 2.deneme için respirometrik metot ile BOI_5 değerlerine göre KSAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSAKM) (mg/L)	X.T/(S_0-S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
1189	1189	0	0.000	123.3	-	0.00084	-	-
1189	1060	36	0.025	148.3	0.02875	0.00094	40.0	34.78652
1189	952	72	0.050	187.0	0.03945	0.00105	20.0	25.34759
1189	638	108	0.075	234.5	0.03192	0.00157	13.3	31.32907
1189	515	144	0.100	386.4	0.05733	0.00194	10.0	17.44306
1189	334	180	0.125	491.7	0.07188	0.00299	8.0	13.91186

Tablo 13. 3.deneme için respirometrik metot ile BOI_5 değerlerine göre KSAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSAKM) (mg/L)	X.T/(S_0-S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
1221	1221	0	0.000	88.3	-	0.00082	-	-
1221	954	36	0.025	165.4	0.01549	0.00105	40.0	64.57074
1221	906	72	0.050	260.0	0.04127	0.00110	20.0	24.23077
1221	690	108	0.075	325.0	0.04590	0.00145	13.3	21.78462
1221	681	144	0.100	372.3	0.06894	0.00147	10.0	14.50443
1221	581	180	0.125	460.0	0.08984	0.00172	8.0	11.13043

Tablo 14. 4. deneme için respirometrik metot ile BOI_5 değerlerine göre KSAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSAKM) (mg/L)	X.T/(S_0-S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
1206	1206	0	0.000	115.0	-	0.00083	-	-
1206	1104	36	0.025	195.0	0.04779	0.00091	40.0	20.92308
1206	920	72	0.050	211.7	0.03701	0.00109	20.0	27.01937
1206	664	108	0.075	260.0	0.03598	0.00151	13.3	27.79487
1206	414	144	0.100	286.0	0.03611	0.00242	10.0	27.69231
1206	398	180	0.125	385.0	0.05956	0.00251	8.0	16.78961

Tablo 15. 1. deneme için respirometrik metot ile BOİ₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu

S ₀ (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
1307	1307	0	0.000	92.8	-	0.00077	-	-
1307	637	36	0.025	134.1	0.00501	0.00157	40.0	199.79228
1307	557	72	0.050	223.4	0.01489	0.00180	20.0	67.15775
1307	530	108	0.075	264.6	0.02554	0.00189	13.3	39.14744
1307	507	144	0.100	291.9	0.03648	0.00197	10.0	27.40855
1307	494	180	0.125	348.4	0.05357	0.00202	8.0	18.66573

Tablo16. 2.deneme için respirometrik metot ile BOİ₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu

S ₀ (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
1189	1189	0	0.000	112.4	-	0.00084	-	-
1189	1060	36	0.025	136.2	0.02639	0.00094	40.0	37.89546
1189	952	72	0.050	172.9	0.03647	0.00105	20.0	27.42062
1189	638	108	0.075	217.9	0.02967	0.00157	13.3	33.70883
1189	515	144	0.100	362.1	0.05373	0.00194	10.0	18.61297
1189	334	180	0.125	462.0	0.06755	0.00299	8.0	14.80450

Tablo 17. 3. deneme için respirometrik metot ile BOİ₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu

S ₀ (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
1221	1221	0	0.000	79.2	-	0.00082	-	-
1221	954	36	0.025	152.4	0.01427	0.00105	40.0	70.09620
1221	906	72	0.050	242.1	0.03844	0.00110	20.0	26.01726
1221	690	108	0.075	303.8	0.04292	0.00145	13.3	23.30186
1221	681	144	0.100	348.7	0.06458	0.00147	10.0	15.48472
1221	581	180	0.125	432.0	0.08437	0.00172	8.0	11.85276

Tablo.18. 4. deneme için respirometrik metot ile BOİ₅ değerlerine göre KSUAKM tablosu

S ₀ (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
1206	1206	0	0.000	104.5	-	0.00083	-	-
1206	1104	36	0.025	180.5	0.04423	0.00091	40.0	22.60946
1206	920	72	0.050	196.3	0.03432	0.00109	20.0	29.13828
1206	664	108	0.075	242.1	0.03351	0.00151	13.3	29.84414
1206	414	144	0.100	266.8	0.03369	0.00242	10.0	29.68254
1206	398	180	0.125	360.8	0.05581	0.00251	8.0	17.91652

Tablo 19. 1. deneme için KOİ değerlerine göre KSAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
5487	5487	0	0.000	102.6	-	0.00018	-	-
5487	4418	36	0.025	146.2	0.00342	0.00023	40.0	292.51282
5487	3423	72	0.050	240.2	0.00582	0.00029	20.0	171.84834
5487	3142	108	0.075	283.7	0.00907	0.00032	13.3	110.20513
5487	2818	144	0.100	312.4	0.01171	0.00035	10.0	85.41958
5487	2915	180	0.125	372.0	0.01808	0.00034	8.0	55.31429

Tablo 20. 2. deneme için KOİ değerlerine göre KSAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
4876	4876	0	0.000	123.3	-	0.00021	-	-
4876	3720	36	0.025	148.3	0.00321	0.00027	40.0	311.73034
4876	3020	72	0.050	187.0	0.00504	0.00033	20.0	198.50267
4876	2420	108	0.075	234.5	0.00716	0.00041	13.3	139.64463
4876	1910	144	0.100	386.4	0.01303	0.00052	10.0	76.75983
4876	1720	180	0.125	491.7	0.01947	0.00058	8.0	51.35186

Tablo 21. 3. deneme için KOİ değerlerine göre KSAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
5234	5234	0	0.000	88.3	-	0.00019	-	-
5234	3750	36	0.025	165.4	0.00279	0.00027	40.0	358.88755
5234	3070	72	0.050	260.0	0.00601	0.00033	20.0	166.46154
5234	2420	108	0.075	325.0	0.00866	0.00041	13.3	115.44615
5234	1846	144	0.100	372.3	0.01099	0.00054	10.0	91.00188
5234	1526	180	0.125	460.0	0.01551	0.00066	8.0	64.48696

Tablo 22. 4. deneme için KOİ değerlerine göre KSAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
3996	3996	0	0.000	115.0	-	0.00025	-	-
3996	2570	36	0.025	195.0	0.00342	0.00039	40.0	292.51282
3996	2183	72	0.050	211.7	0.00584	0.00046	20.0	171.29361
3996	1847	108	0.075	260.0	0.00907	0.00054	13.3	110.19780
3996	1553	144	0.100	286.0	0.01171	0.00064	10.0	85.42458
3996	1334	180	0.125	385.0	0.01808	0.00075	8.0	55.30835

Tablo 23. 1. Deneme için KOİ değerlerine göre KSUAKM tablosu

S ₀ (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
5487	5487	0	0.000	92.8	-	0.00018	-	-
5487	4418	36	0.025	134.1	0.00314	0.00023	40.0	318.81311
5487	3423	72	0.050	223.4	0.00541	0.00029	20.0	184.80904
5487	3142	108	0.075	264.6	0.00846	0.00032	13.3	118.14211
5487	2818	144	0.100	291.9	0.01094	0.00035	10.0	91.42490
5487	2915	180	0.125	348.4	0.01693	0.00034	8.0	59.05336

Tablo 24. 2. Deneme için KOİ değerlerine göre KSUAKM tablosu

S ₀ (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
4876	4876	0	0.000	112.4	-	0.00021	-	-
4876	3720	36	0.025	136.2	0.00294	0.00027	40.0	339.59033
4876	3020	72	0.050	172.9	0.00466	0.00033	20.0	214.73702
4876	2420	108	0.075	217.9	0.00666	0.00041	13.3	150.25208
4876	1910	144	0.100	362.1	0.01221	0.00052	10.0	81.90810
4876	1720	180	0.125	462.0	0.01830	0.00058	8.0	54.64678

Tablo 25. 3. Deneme için KOİ değerlerine göre KSUAKM tablosu

S ₀ (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
5234	5234	0	0.000	79.2	-	0.00019	-	-
5234	3750	36	0.025	152.4	0.00257	0.00027	40.0	389.59835
5234	3070	72	0.050	242.1	0.00559	0.00033	20.0	178.73448
5234	2420	108	0.075	303.8	0.00810	0.00041	13.3	123.48670
5234	1846	144	0.100	348.7	0.01029	0.00054	10.0	97.15229
5234	1526	180	0.125	432.0	0.01456	0.00066	8.0	68.67193

Tablo 26. 4. Deneme için KOİ değerlerine göre KSUAKM tablosu

S ₀ (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S ₀ -S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S ₀ -S)/X.T (gün ⁻¹)
3996	3996	0	0.000	104.5	-	0.00025	-	-
3996	2570	36	0.025	180.5	0.00316	0.00039	40.0	316.08918
3996	2183	72	0.050	196.3	0.00541	0.00046	20.0	184.72677
3996	1847	108	0.075	242.1	0.00845	0.00054	13.3	118.32251
3996	1553	144	0.100	266.8	0.01092	0.00064	10.0	91.56401
3996	1334	180	0.125	360.8	0.01694	0.00075	8.0	59.02061

Tablo 27. Seyrelme metodu ile ortalama BOI_5 değerlerine göre KSAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSAKM) (mg/L)	X.T/(S_0-S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
2813.3	2813	0	0	107.31	-	0.00036	-	-
2813.3	2199	18	0.0125	146.25	0.00305768	0.00046	80.0	332.86241
2813.3	1977	36	0.025	163.73	0.00503967	0.00051	40.0	203.19072
2813.3	1827	54	0.0375	187.23	0.00755028	0.00056	26.7	141.82818
2813.3	1715	72	0.05	224.73	0.01115696	0.0006	20.0	99.600284
2813.3	1525	90	0.0625	252.57	0.01272073	0.00068	16.0	83.711534
2813.3	1409	108	0.075	275.8	0.01518003	0.00074	13.3	68.701293
2813.3	1270	126	0.0875	309.65	0.01772135	0.00081	11.4	57.092284
2813.3	1131	144	0.1	339.28	0.02032658	0.00092	10.0	50.01669
2813.3	1007	162	0.1125	379.8	0.02371814	0.00102	8.9	42.964467
2813.3	864.3	180	0.125	427.17	0.02758526	0.00116	8.0	37.078735

Tablo 28. Seyrelme metodu ile ortalama BOI_5 değerlerine göre KSUAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S_0-S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
2813.3	2813	0	0	97.23	-	0.00036	-	-
2813.3	2199	18	0.0125	134.2	0.002804	0.00046	80.0	362.7557
2813.3	1977	36	0.025	150.8	0.004638	0.00051	40.0	220.69436
2813.3	1827	54	0.0375	173.1	0.00698	0.00056	26.7	153.50874
2813.3	1715	72	0.05	208.7	0.010361	0.0006	20.0	107.35214
2813.3	1525	90	0.0625	235.1	0.01184	0.00068	16.0	90.038845
2813.3	1409	108	0.075	257.1	0.014153	0.00074	13.3	73.722274
2813.3	1270	126	0.0875	289.3	0.016555	0.00081	11.4	61.12158
2813.3	1131	144	0.1	317.4	0.019013	0.00092	10.0	53.485696
2813.3	1007	162	0.1125	355.8	0.022221	0.00102	8.9	45.87848
2813.3	864.3	180	0.125	400.8	0.025884	0.00116	8.0	39.530918

Tablo 29. Respirometrik metot ile ortalama BOI_5 değerlerine göre KSAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSAKM) (mg/L)	X.T/(S_0-S) gün	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
1231	1231	0	0	107.3	-	0.00081	-	-
1231	939	36	0.025	163.7	0.024371	0.00112	40.0	75.897716
1231	834	72	0.05	224.7	0.033436	0.00126	20.0	34.761422
1231	631	108	0.075	275.8	0.035296	0.0016	13.3	29.356501
1231	529	144	0.1	339.3	0.050359	0.00195	10.0	21.312
1231	452	180	0.125	427.2	0.06962	0.00231	8.0	14.828945

Tablo 30. Respirometrik metot ile ortalama BOI_5 değerlerine göre KSUAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S_0-S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
1230.8	1231	0	0	97.23	-	0.00081	-	-
1230.8	938.8	36	0.025	150.8	0.022472	0.00112	40.0	82.59835
1230.8	833.8	72	0.05	208.7	0.031029	0.00126	20.0	37.433478
1230.8	630.5	108	0.075	257.1	0.032908	0.0016	13.3	31.500568
1230.8	529.3	144	0.1	317.4	0.04712	0.00195	10.0	22.797195
1230.8	451.8	180	0.125	400.8	0.065326	0.00231	8.0	15.809876

Tablo 31. Ortalama KOI değerlerine göre KSAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSAKM) (mg/L)	X.T/(S_0-S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
4898.3	4898.3	0	0	107.3	-	0.00021	-	-
4898.3	3614.5	36	0.025	163.7	0.003208	0.00029	40.0	313.91088
4898.3	2924	72	0.05	224.7	0.005676	0.00035	20.0	177.02654
4898.3	2457.3	108	0.075	275.8	0.008493	0.00042	13.3	118.87343
4898.3	2031.8	144	0.1	339.3	0.011857	0.00052	10.0	84.651468
4898.3	1873.8	180	0.125	427.2	0.017785	0.00058	8.0	56.615364

Tablo 32. Ortalama KOI değerlerine göre KSUAKM tablosu

S_0 (mg/L)	S (mg/L)	T (dak)	T (gün)	X(KSUAKM) (mg/L)	X.T/(S_0-S) (gün)	1/S (mg/L) ⁻¹	1/T (gün ⁻¹)	(S_0-S)/X.T (gün ⁻¹)
4898.3	4898	0	0	97.23	-	0.00021	-	-
4898.3	3614	36	0.025	150.8	0.002953	0.00029	40.0	341.02274
4898.3	2924	72	0.05	208.7	0.005269	0.00035	20.0	190.75183
4898.3	2457	108	0.075	257.1	0.007917	0.00042	13.3	127.55085
4898.3	2032	144	0.1	317.4	0.01109	0.00052	10.0	90.512326
4898.3	1874	180	0.125	400.8	0.016685	0.00058	8.0	60.34817

4. TARTIŞMA

Aktif çamur tesisleri için ve laboratuvar ölçekli çalışmalar için tipik kinetik katsayılar Tablo 33 ve Tablo 34' de verilmiştir.

Tablo 33. Kinetik katsayıları (Wiesmann vd., 2007).

Kinetik Katsayılar	Birim	Tipik aktif çamur tesisi				Laboratuvar ölçekli tam karıştırmalı sürekli reaktör
		(Metcalf ve Eddy, 1991)	(Sundstrom ve Klei, 1979)	(Henze vd., 2000)	(Chow vd., 1979)	(Wiesmann vd., 2007)
k	gün ⁻¹	2-10	-	-	-	-
K _s	mg/l BOİ ₅	25-100	50-120	-	25-100	4.6-345
	mg/l KOİ	15-70	-	3-30	-	4.6-345
Y	mg KSUAKM / mg BOİ ₅	0.4-0.8	0.5-0.67	0.5-0.7	0.4-0.8	0.39-0.67
k _d	gün ⁻¹	0.025-0.075	0.1-0.2	0.1-0.2	0.025-0.075	0.00012-0.0003
μ _{max}	gün ⁻¹	-	9.6-13.2	4.0-8.0	0.8-8.0	0.16-0.8

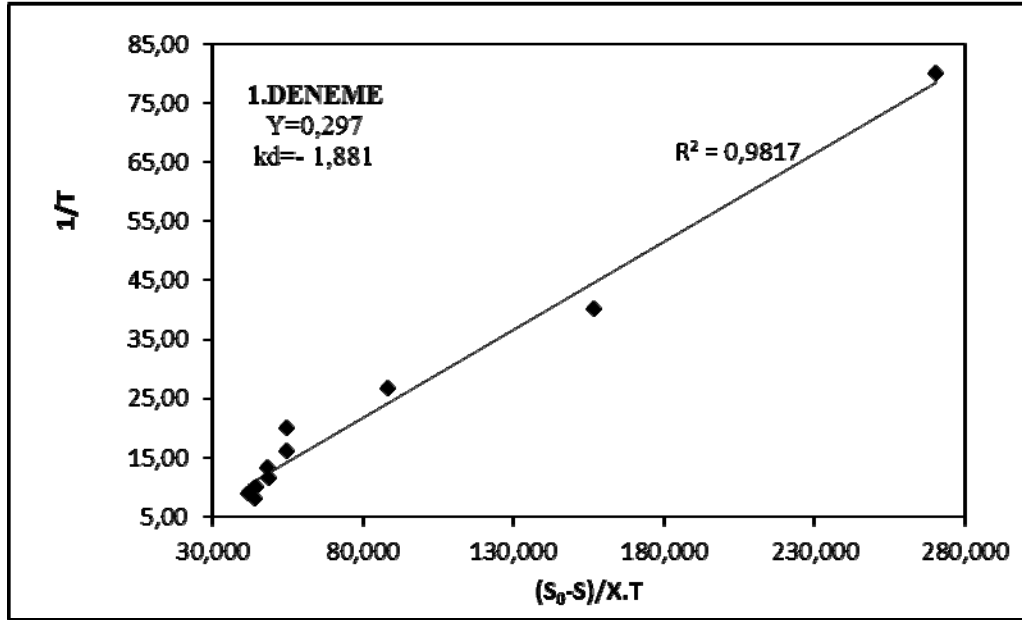
Kinetik katsayıların belirlenmesinde belirleme katsayısı olan R² değeri en düşük olan yöntem seyrelme metodu ile KSAKM' nin kullanıldığı BOİ₅ ölçümleridir. Tüm denemelerde KSUAKM değerlerinin KSAKM değerlerinin kullanılmasına göre daha yüksek R² değerleri elde edilmiştir. Bu nedenle literatürde yaygın olan KSUAKM kullanımının uygunluğu gözlenmiştir.

Respirometrik yöntemle BOİ₅ ölçümlerinde KSAKM ve KSUAKM' nin her ikisi için 4. deneme sonucunda elde edilen kinetik katsayıların R² değerlerinin düşük olduğu ve kinetik katsayıların tipik değerlerin dışında olduğu belirlenmiştir.

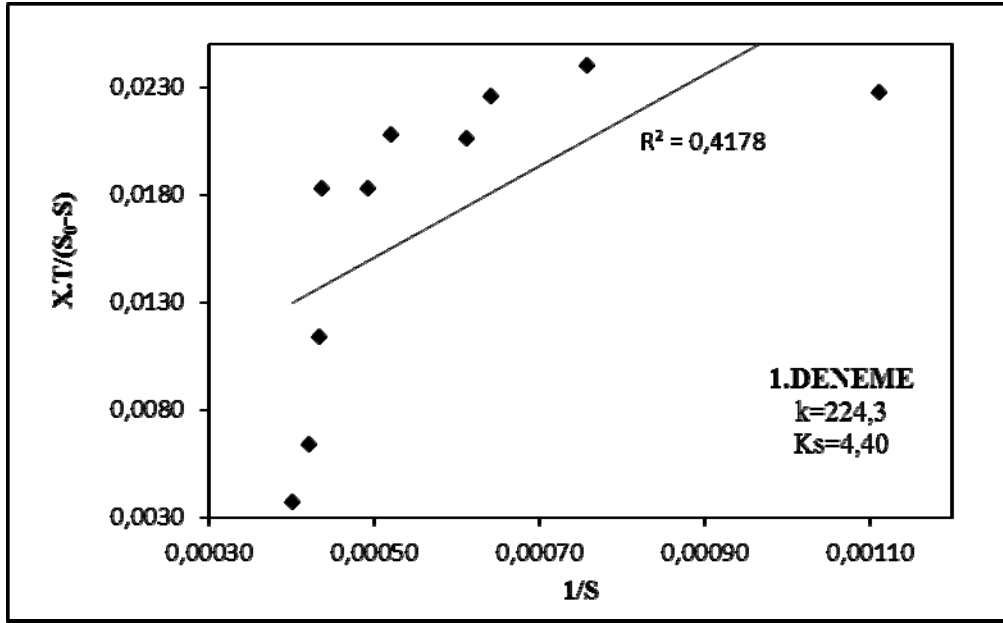
(K_s) ve (k) değerlerinin hesaplanmasına yardımcı olan $X.T / (S_o - S) - 1 / S$ grafiğinde en uygun doğrunun x eksenini kestiği noktadan eksenlerin kesim noktasına kadar olan kısım substratın parçalanamayan kısmını temsil eder (Benefield ve Randall, 1980). Bu durum k değerinin negatif olması anlamına gelir.

Parçalanamayan substrat olması k değerinin negatif olması anlamına gelir. Bu durumda en fazla parçalanamayan substrat oluşumu $KOİ'$ nin 2. 3. ve 4. denemelerinde gözlenmiştir. Ayrıca Respirometrik Yöntemle $BOİ_5$ ölçümlerinin 3. denemesinde de parçalanamayan substrat oluşumu gözlenmiştir.

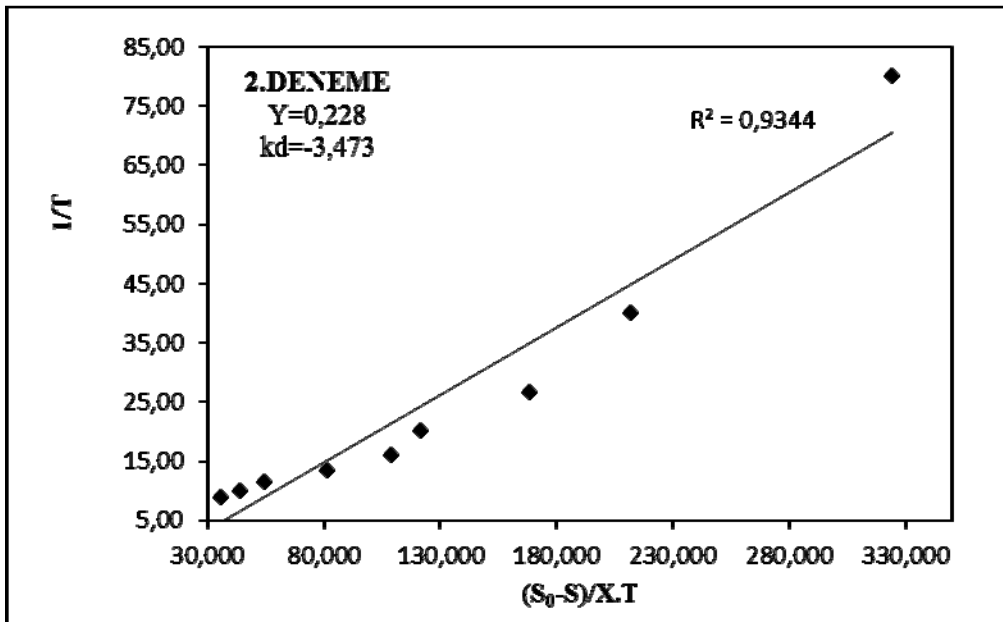
Kinetik katsayılarının belirlenmesinde en yüksek R^2 değerine $KOİ$ -KSUAKM denemelerinde rastlanmıştır. Bunu sırasıyla $KOİ$ -KSAKM, $BOİ_5$ -KSAKM, $BOİ_5$ -KSUAKM, $BOİ_r$ -KSUAKM, $BOİ_r$ -KSAKM denemeleri takip etmiştir. En düşük R^2 değerine KSAKM kullanılan respirometrik yöntemle $BOİ_5$ ölçümlerinde rastlanmıştır.



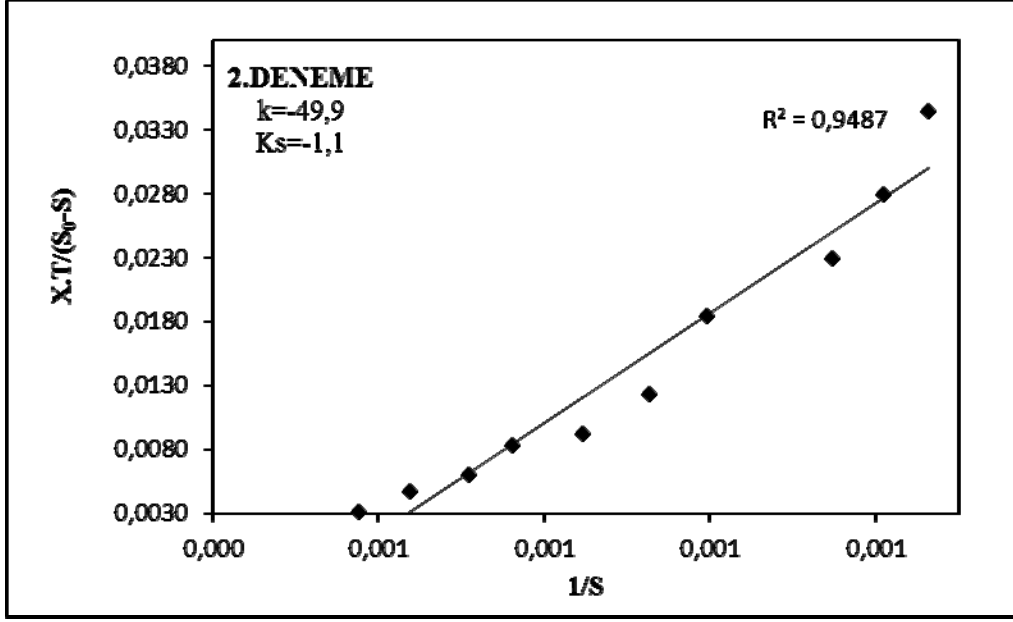
Şekil 11. Seyrelme metoduna göre $BOİ_5$ -KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1. deneme)



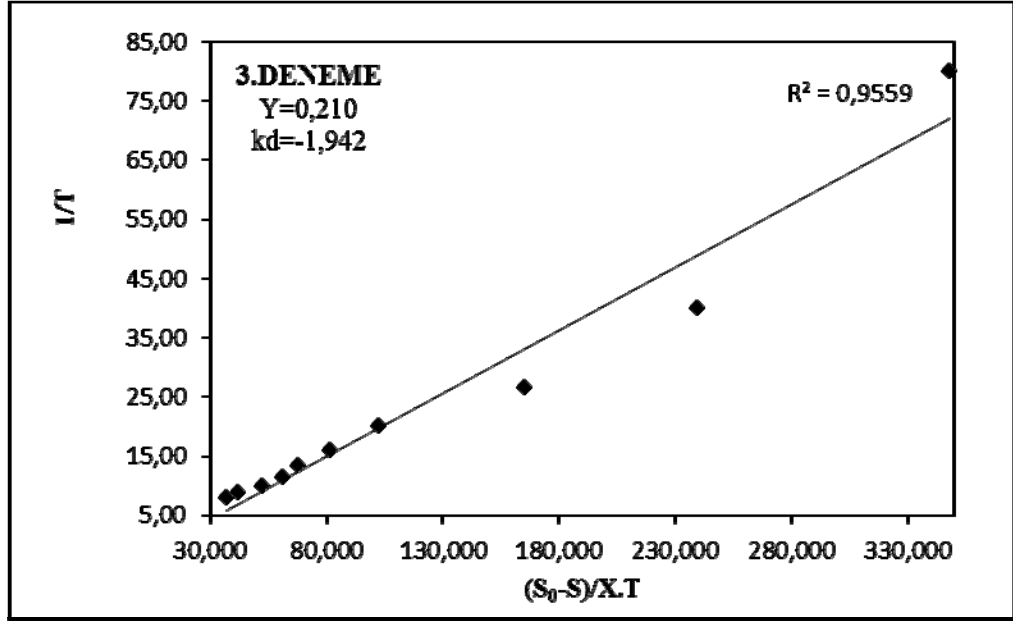
Şekil 12. Seyrelme metoduna göre BOI_5 -KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1. deneme)



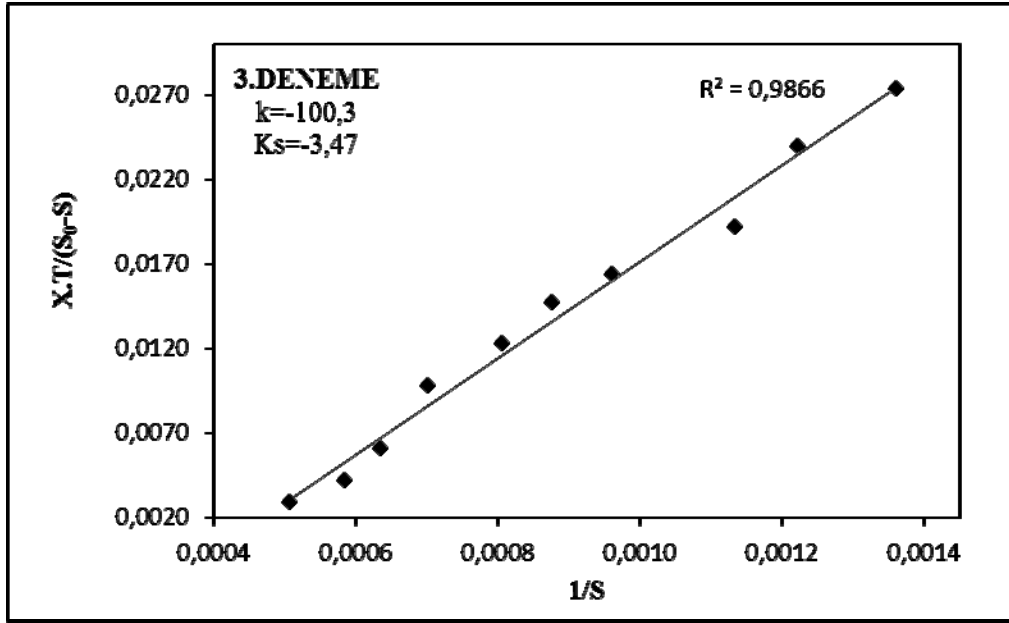
Şekil 13. Seyrelme metoduna göre BOI_5 -KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2. deneme)



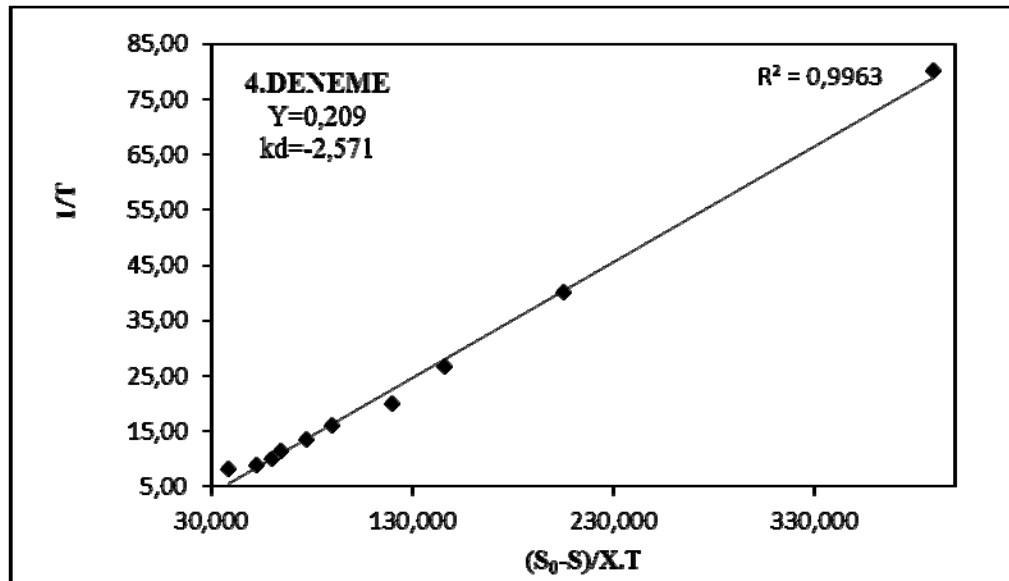
Şekil 14. Seyrelme metoduna göre BOİ₅-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2. deneme)



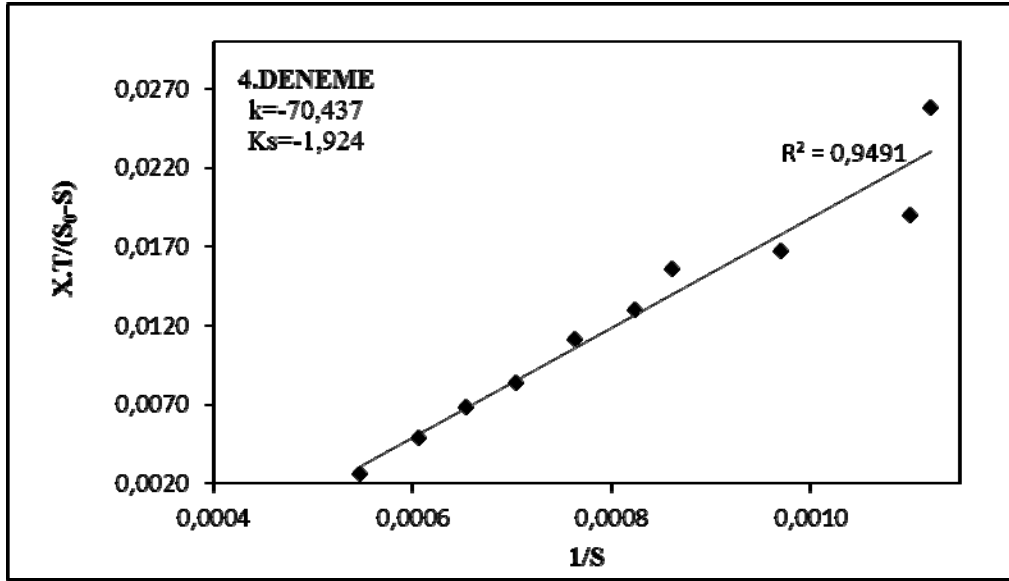
Şekil 15. Seyrelme metoduna göre BOİ₅-KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3. deneme)



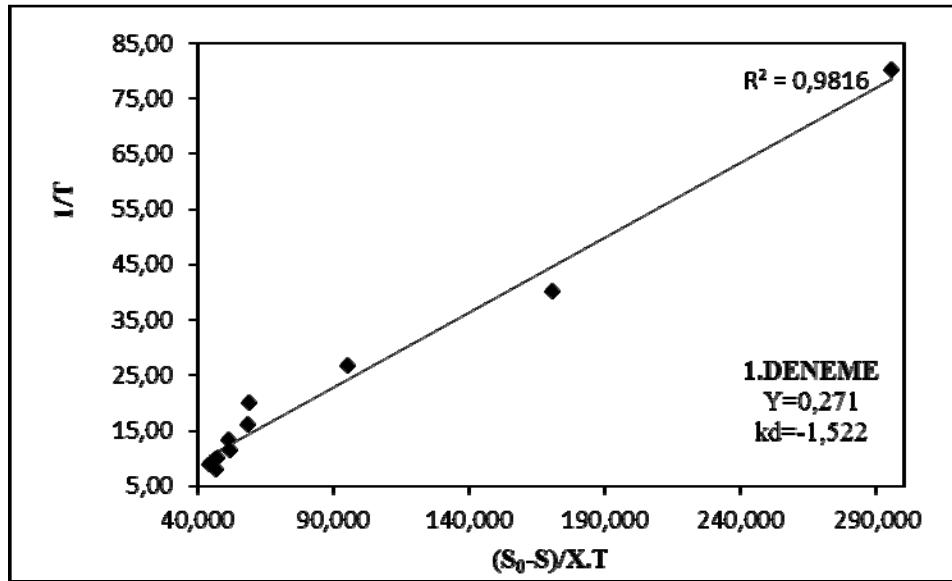
Şekil 16. Seyrelme metoduna göre BOİ₅-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3. deneme)



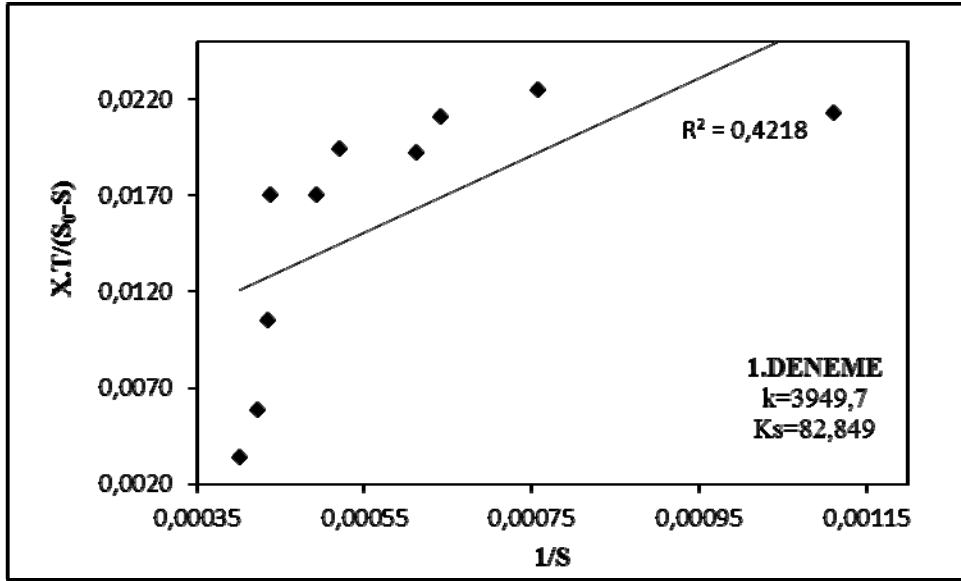
Şekil 17. Seyrelme metoduna göre BOİ₅-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4. deneme)



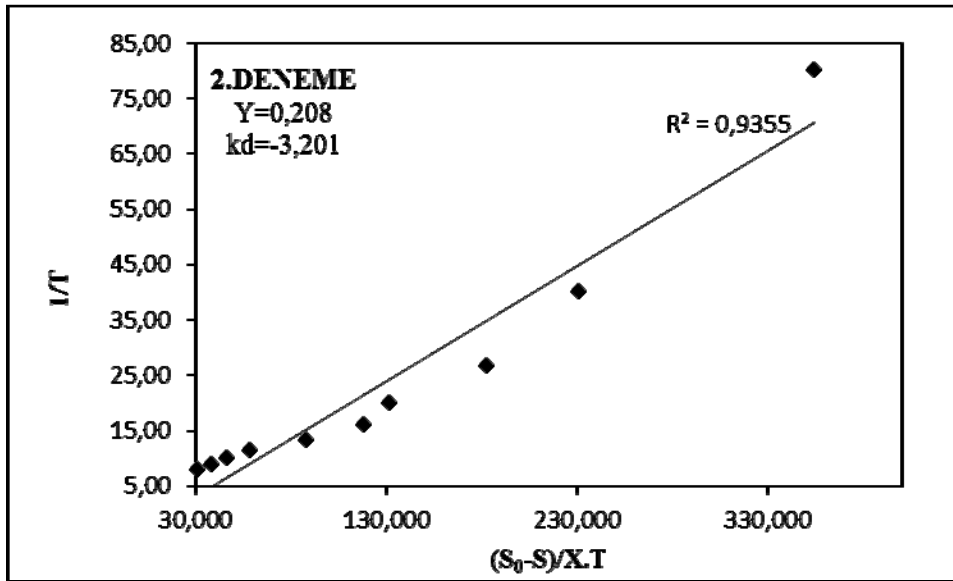
Şekil 18. Seyrelme metoduna göre BOİ₅-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4. deneme)



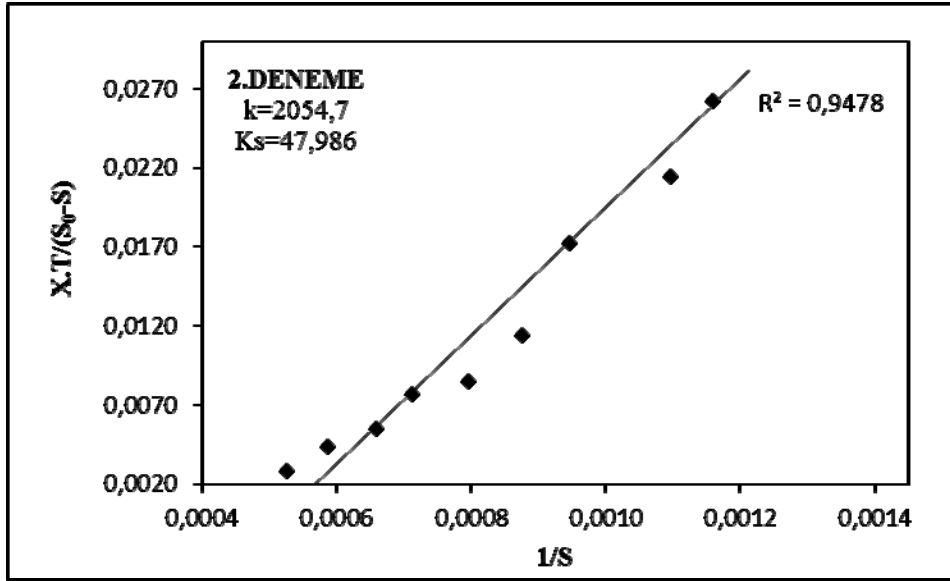
Şekil 19. Seyrelme metoduna göre BOİ₅-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1. deneme)



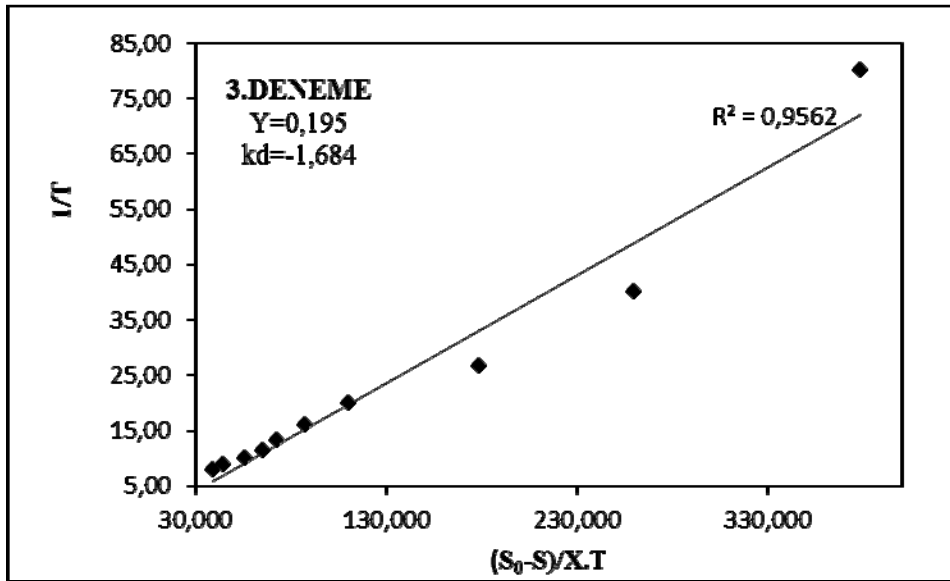
Şekil 20. Seyrelme metoduna göre BOI_5 -KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1. deneme)



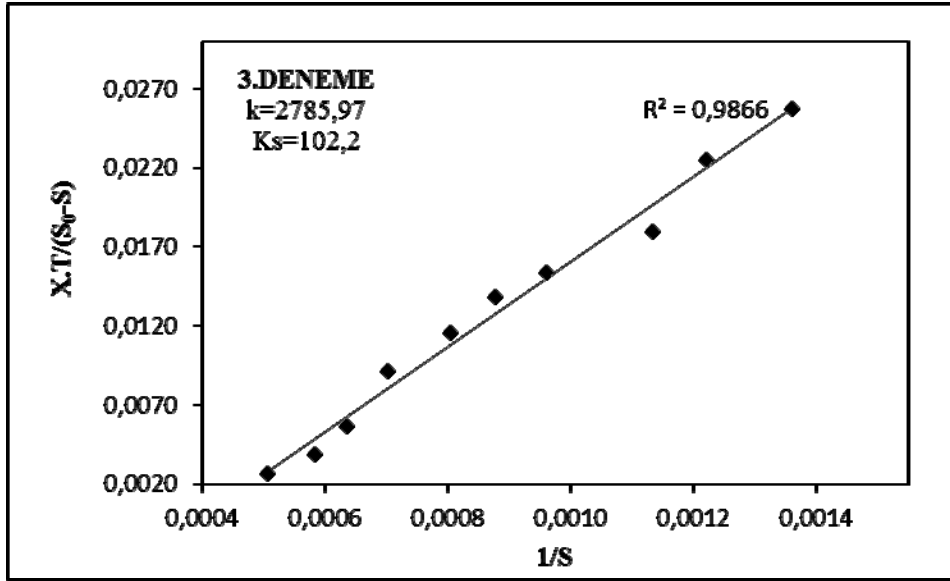
Şekil 21. Seyrelme metoduna göre BOI_5 -KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2. deneme)



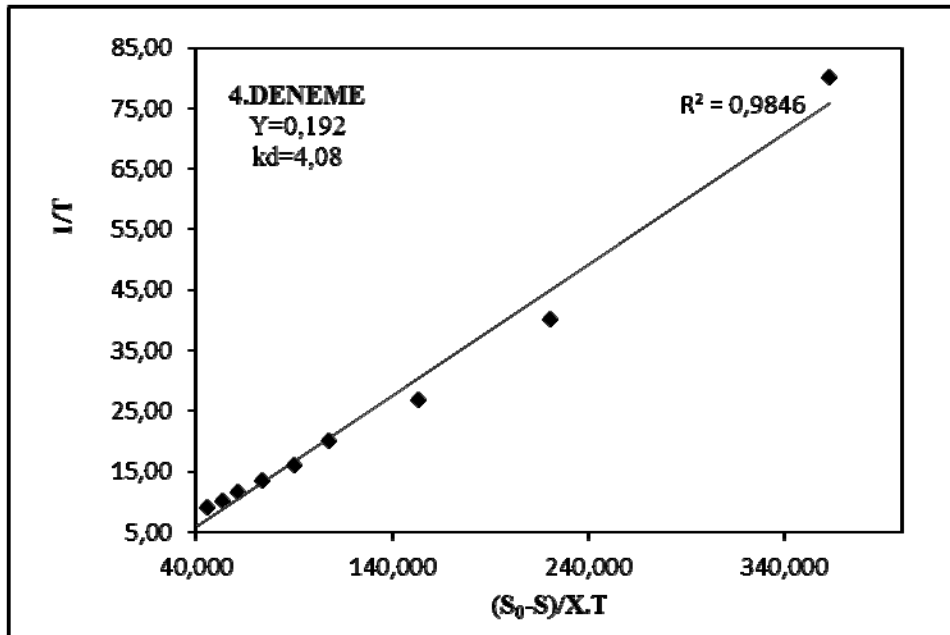
Şekil 22. Seyrelme metoduna göre BOİ₅-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2. deneme)



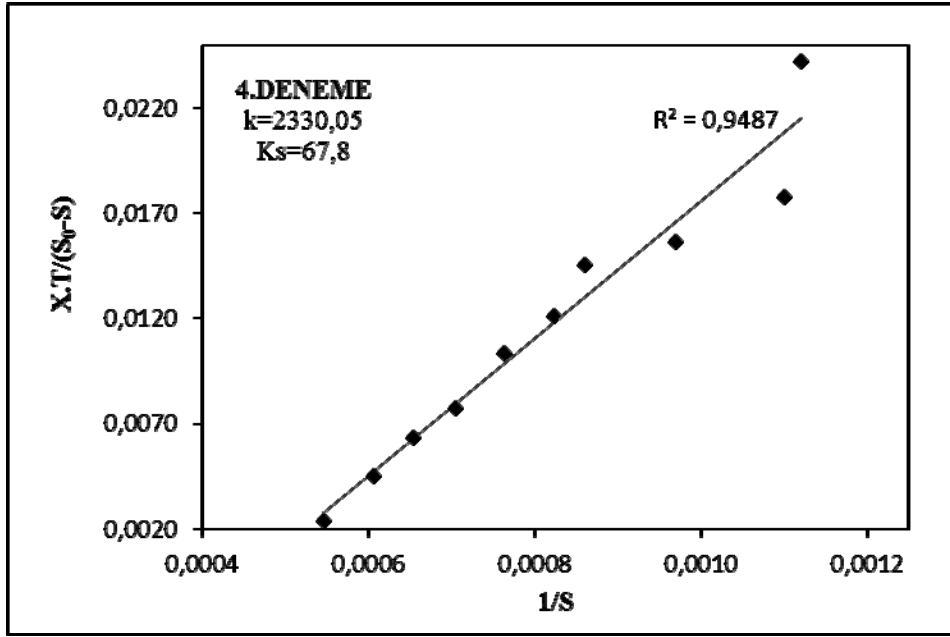
Şekil 23. Seyrelme metoduna göre BOİ₅-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3. deneme)



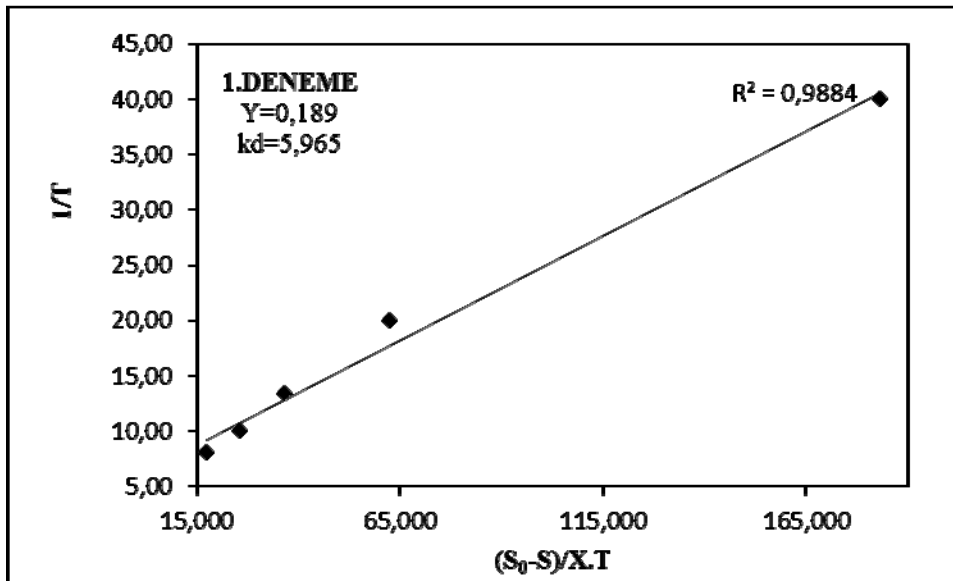
Şekil 24. Seyrelme metoduna göre BOİ₅-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3. deneme)



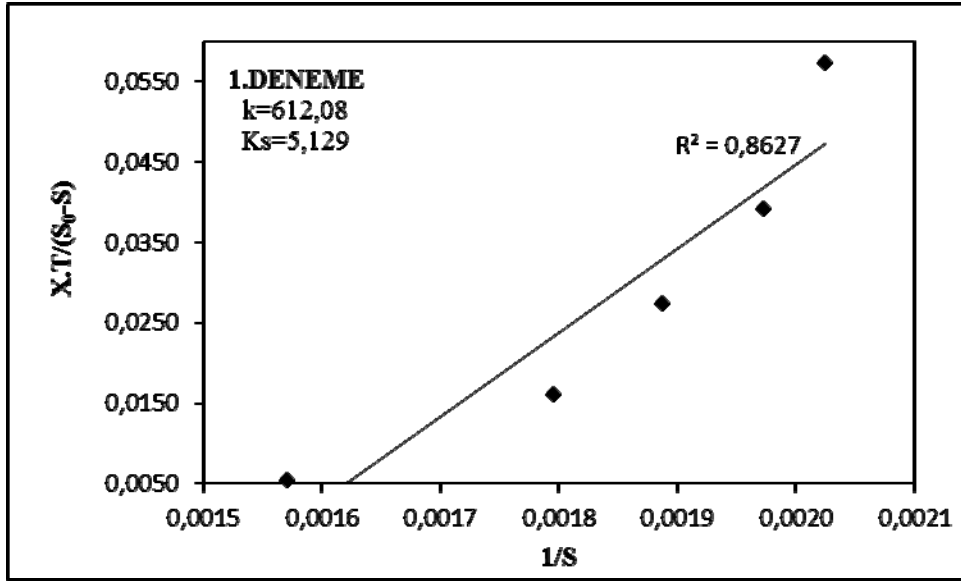
Şekil 25. Seyrelme metoduna göre BOİ₅-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4. deneme)



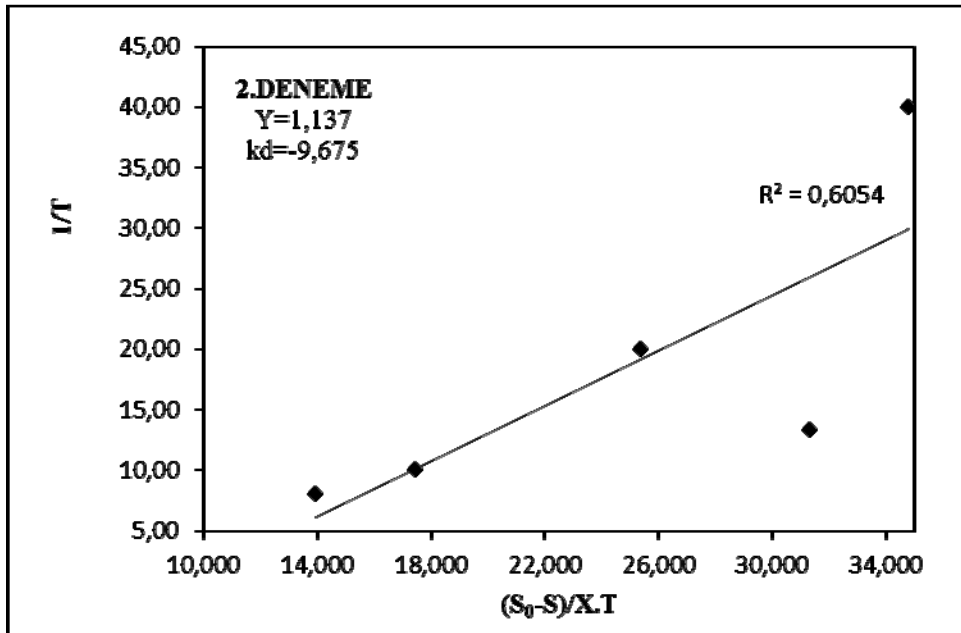
Şekil 26. Seyrelme metoduna göre BOİ₅-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4. deneme)



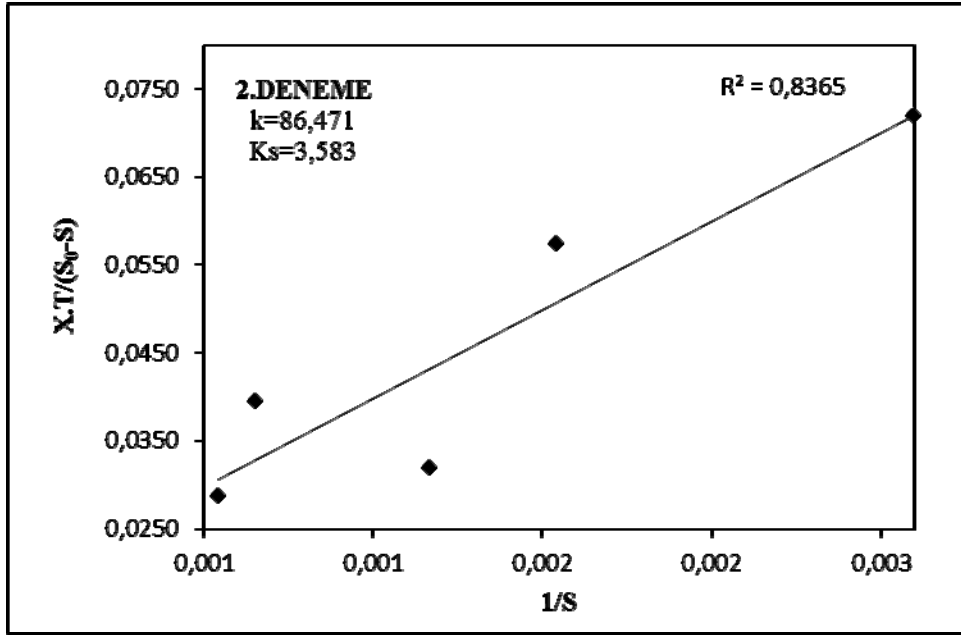
Şekil 27. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1. deneme)



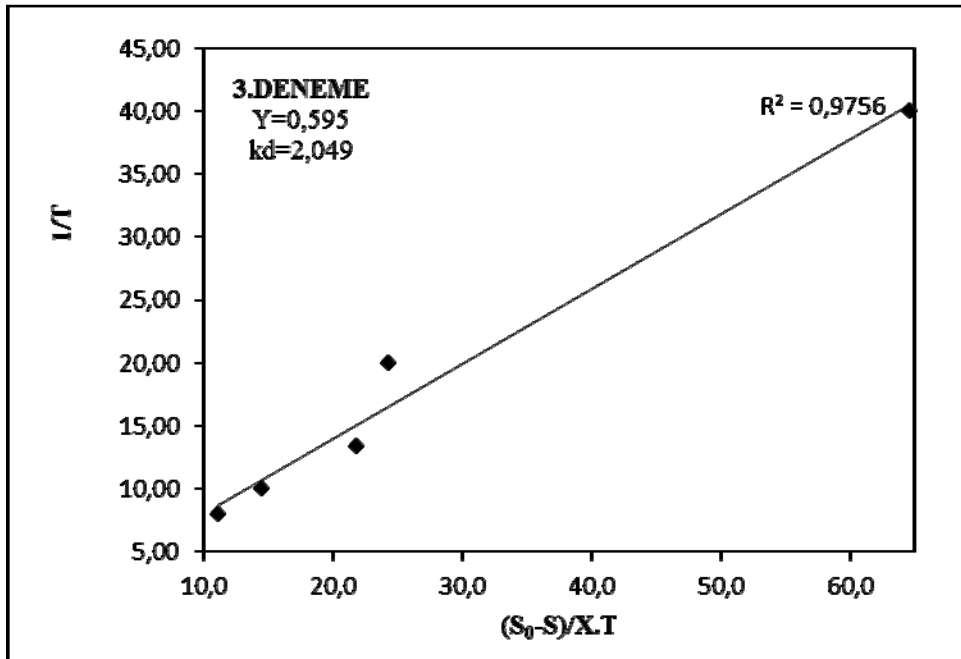
Şekil 28. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1. deneme)



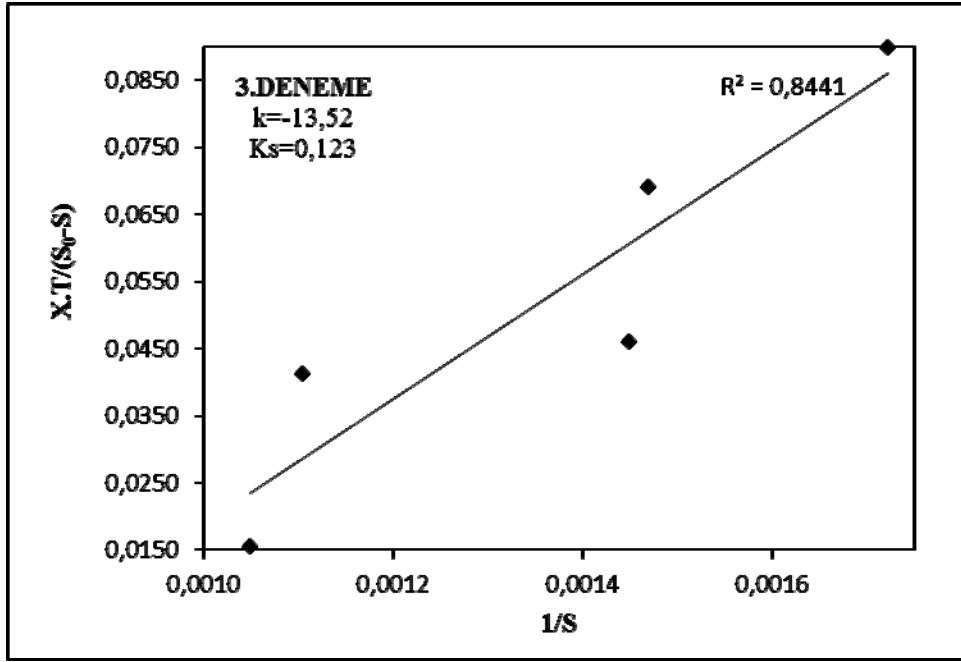
Şekil 29. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2. deneme)



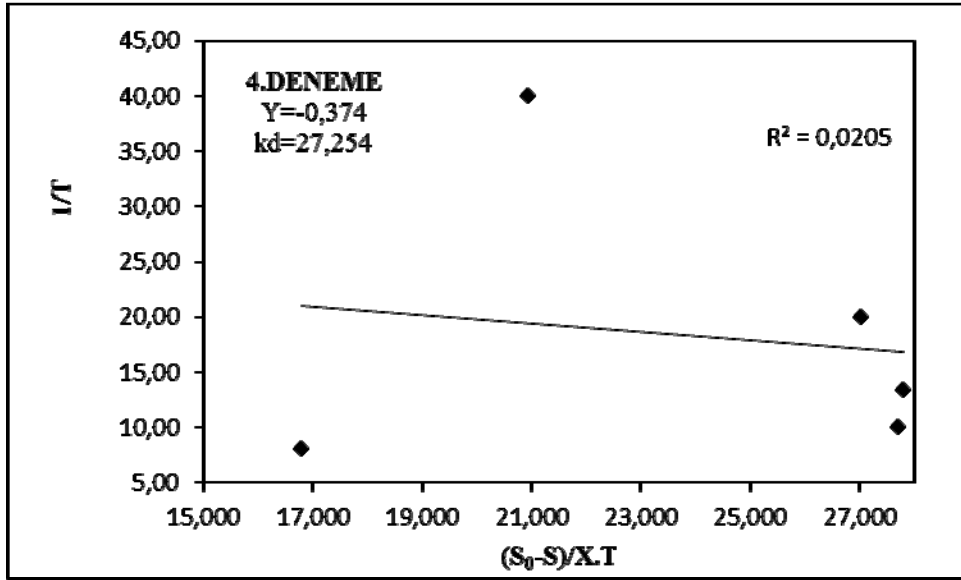
Şekil 30. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2. deneme)



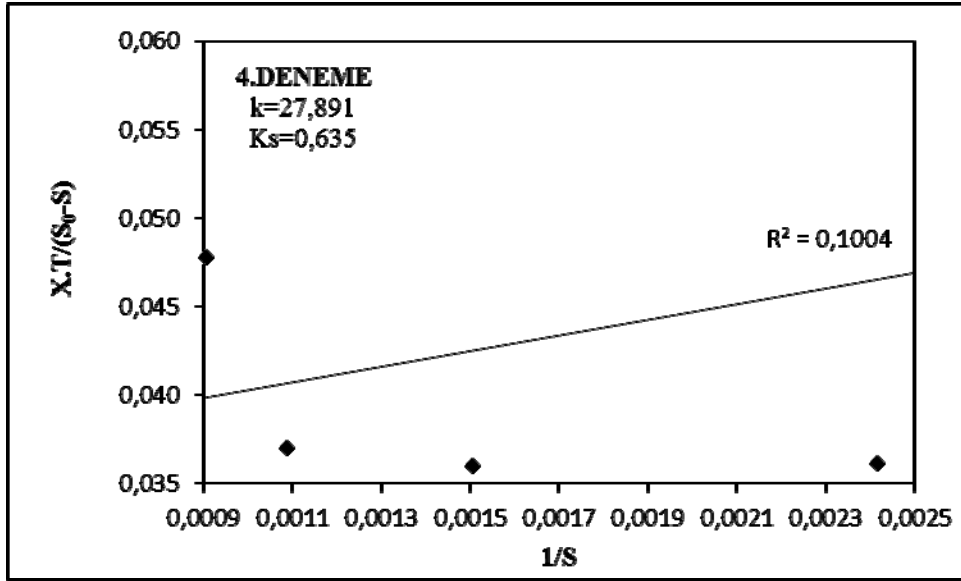
Şekil 31. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3. deneme)



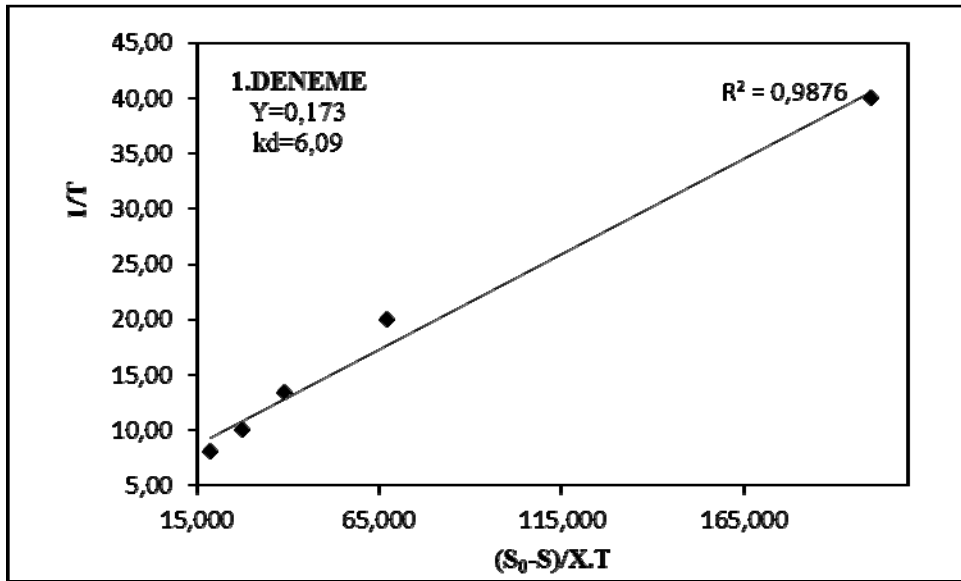
Şekil 32. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3. deneme)



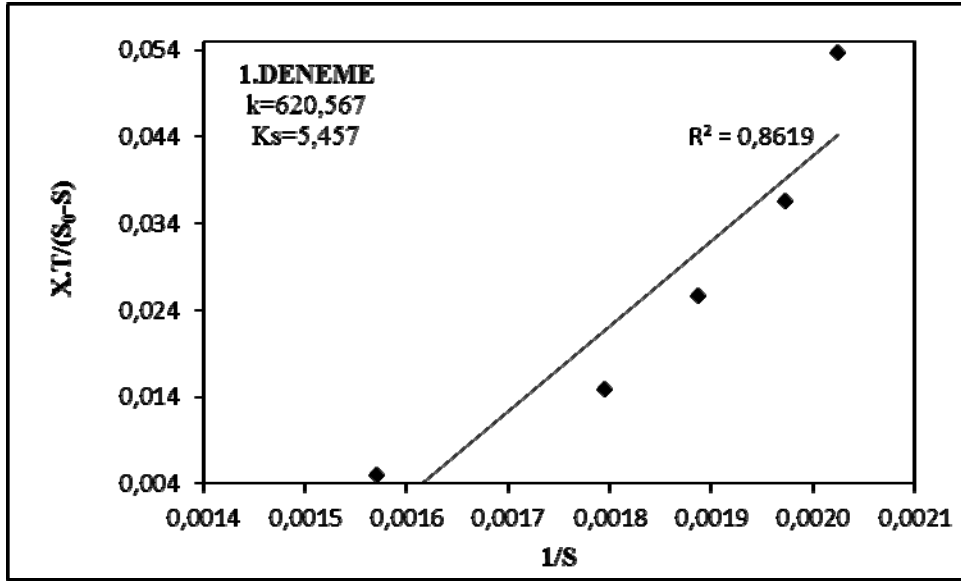
Şekil 33. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4. deneme)



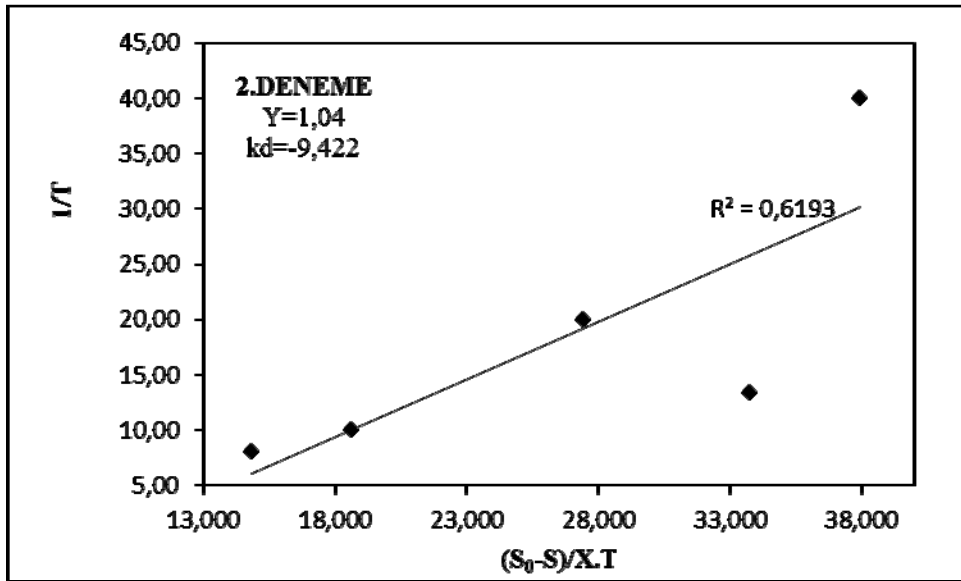
Şekil 34. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4. deneme)



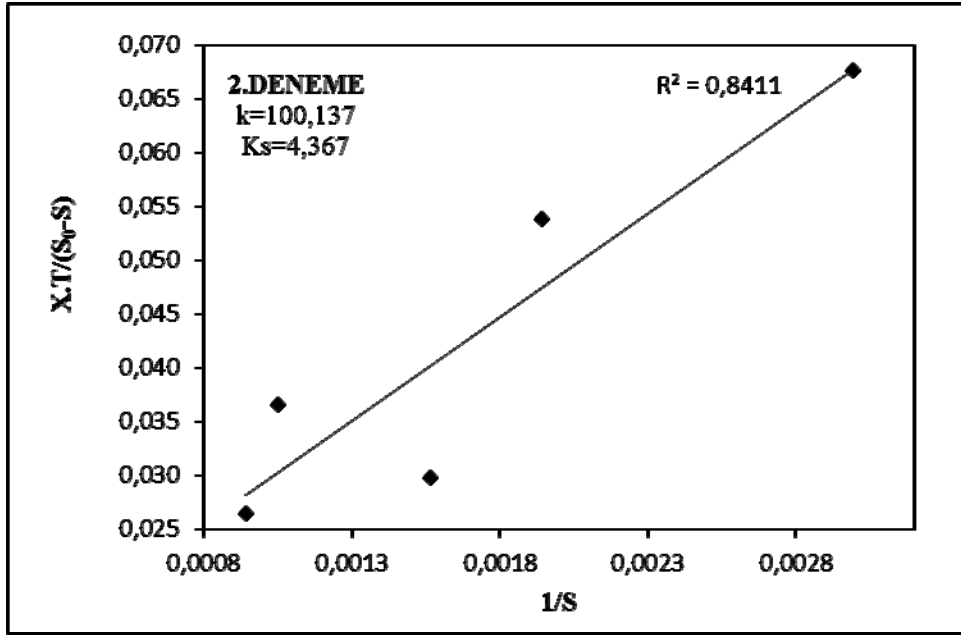
Şekil 35. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1. deneme)



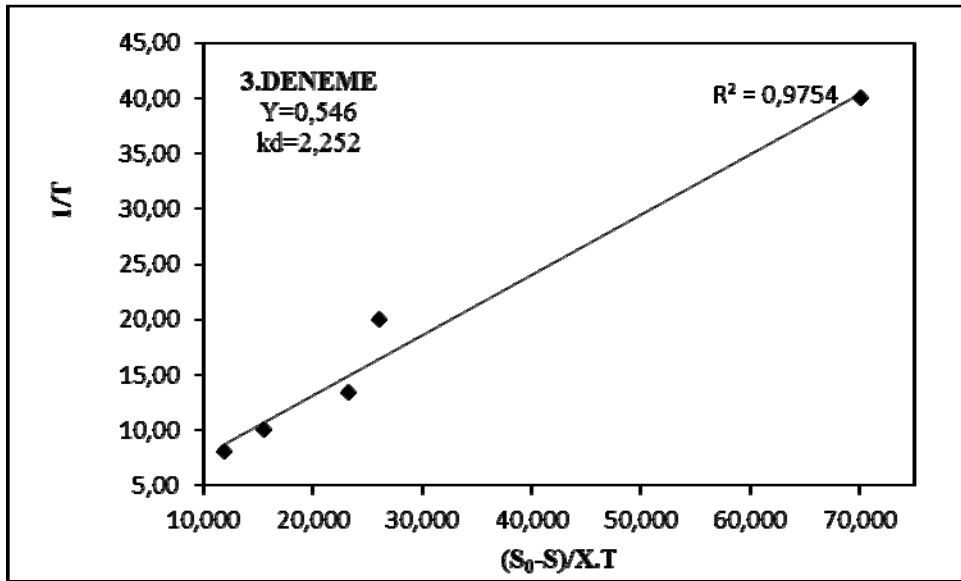
Şekil 36. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1. deneme)



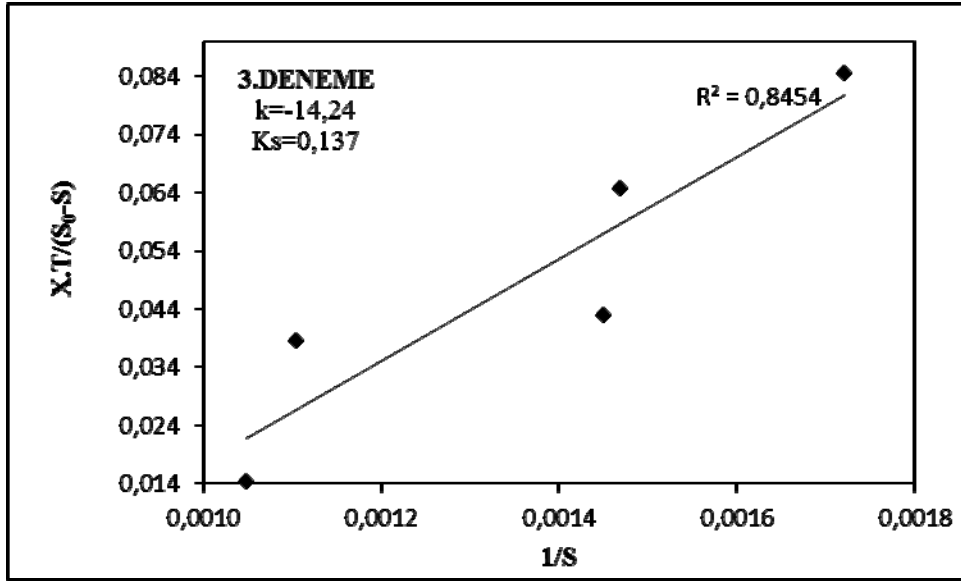
Şekil 37. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2. deneme)



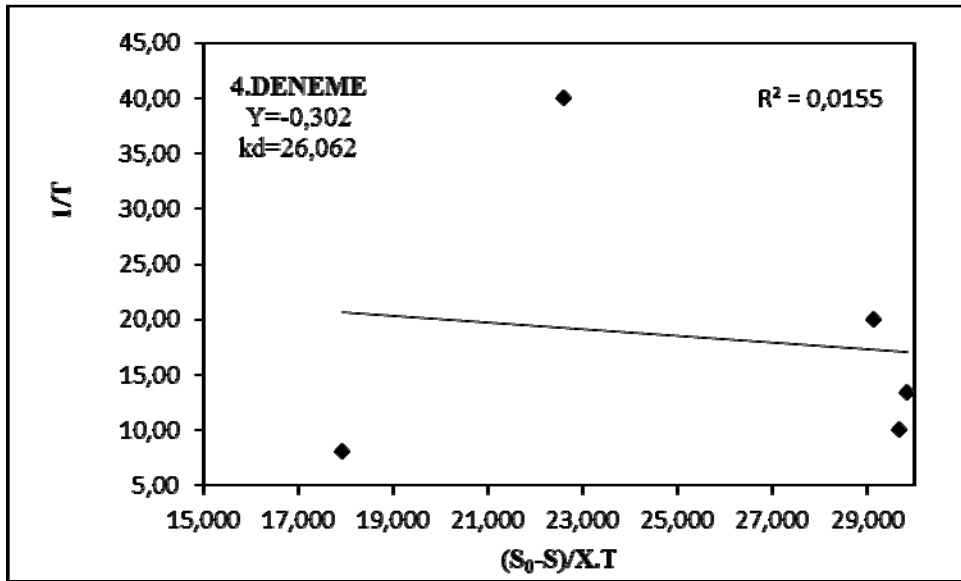
Şekil 38. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2. deneme)



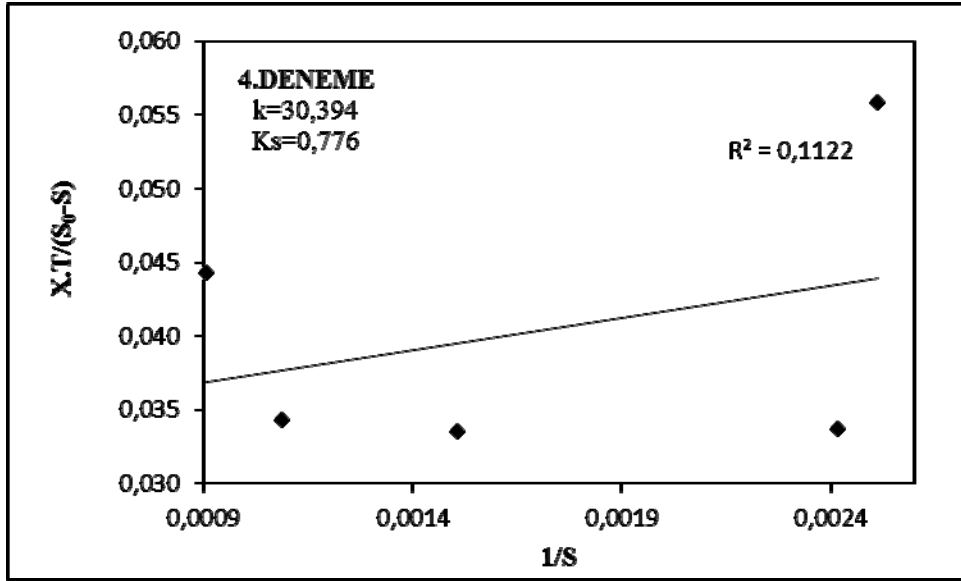
Şekil 39. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3. deneme)



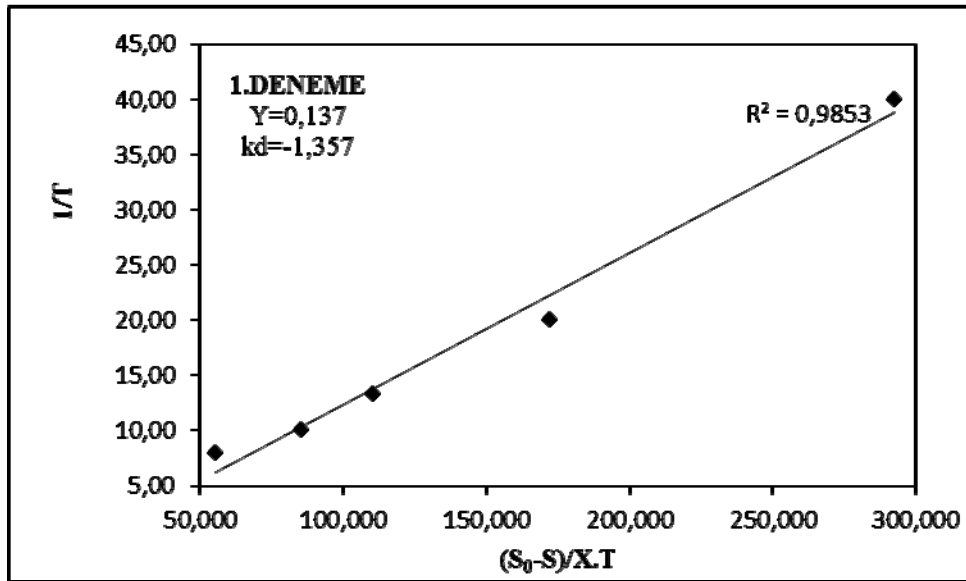
Şekil 40. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3. deneme)



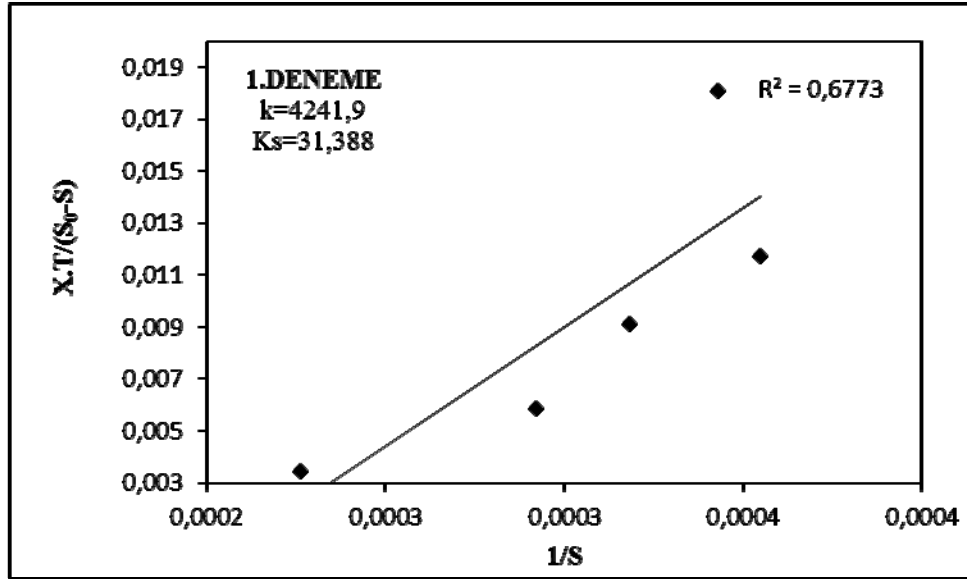
Şekil 41. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4. deneme)



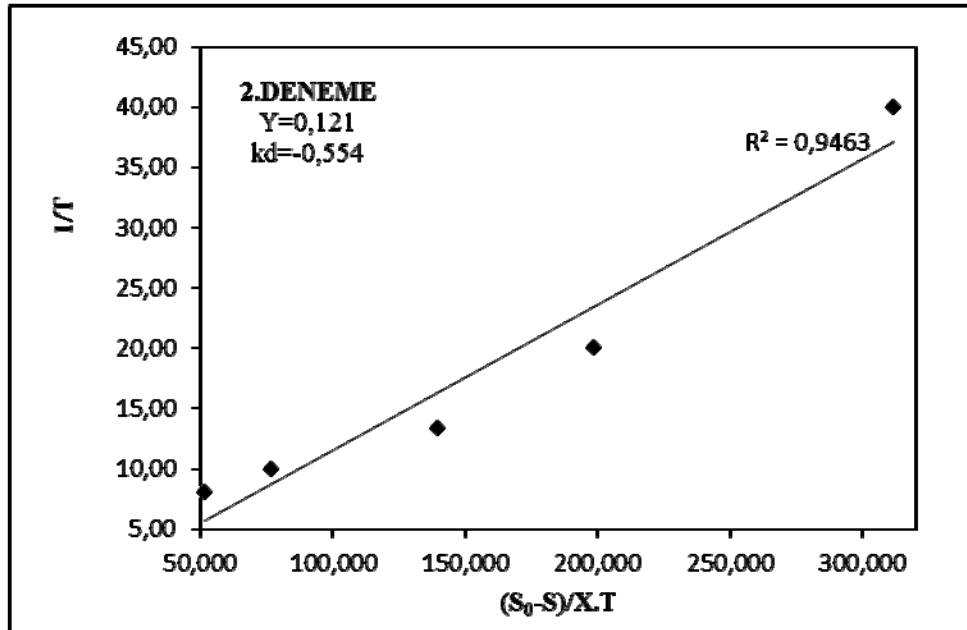
Şekil 42. Respirometrik metoda göre BOİ₅-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4. deneme)



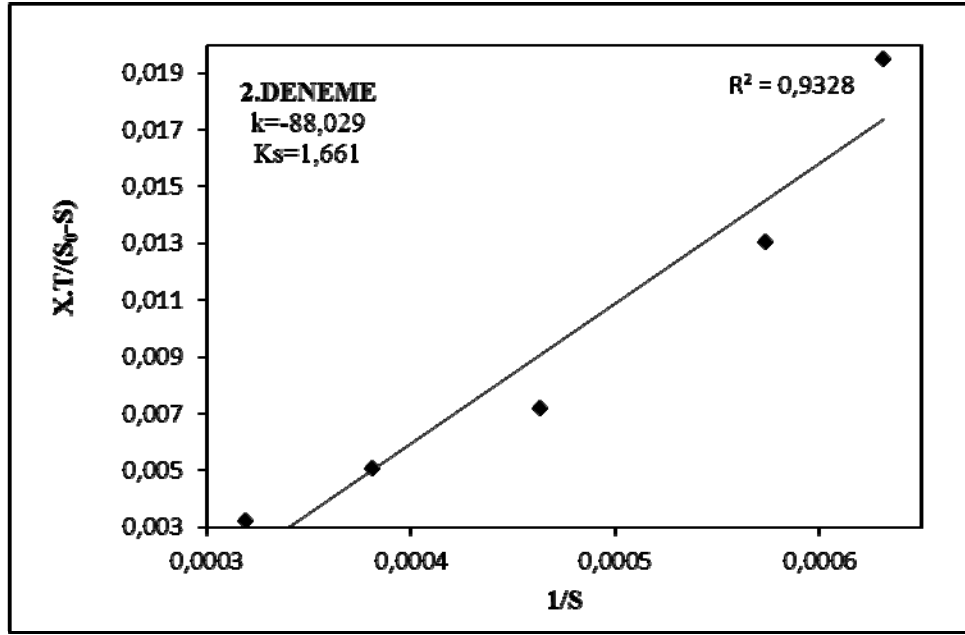
Şekil 43. KOİ-KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1. deneme)



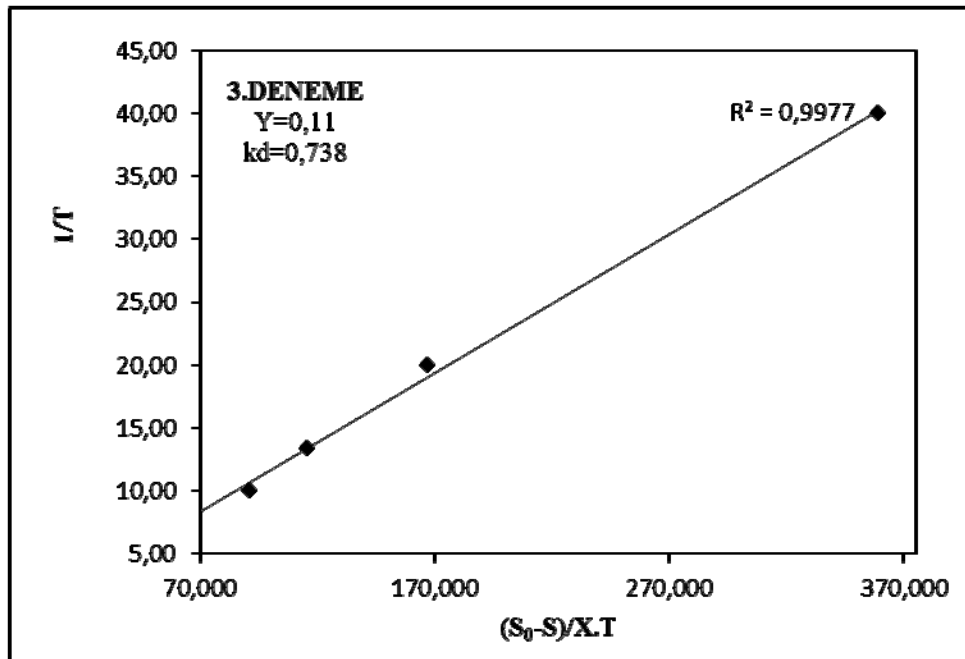
Şekil 44. KOİ-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1. deneme)



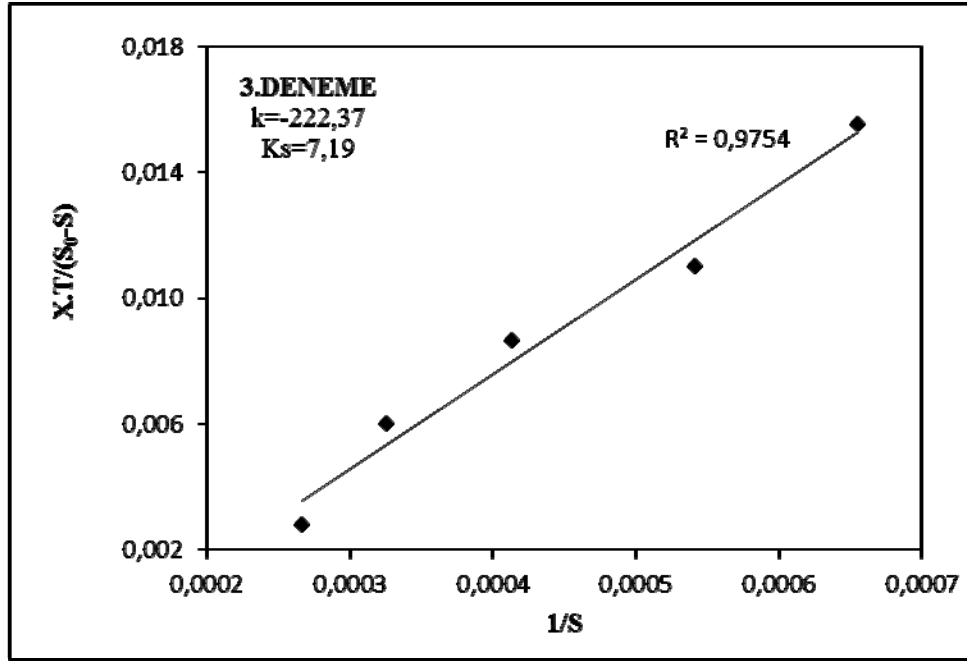
Şekil 45. KOİ-KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2. deneme)



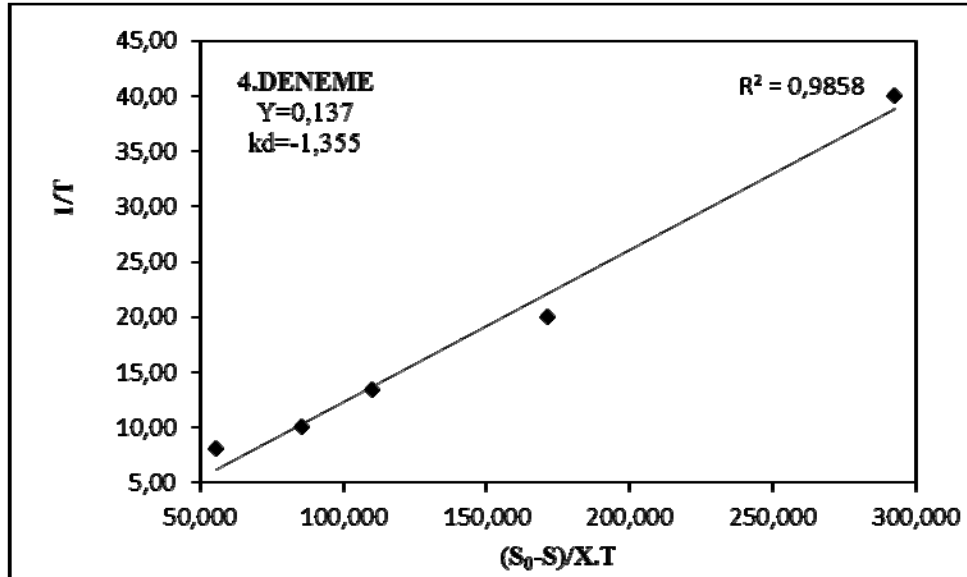
Şekil 46. KOİ-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2. deneme)



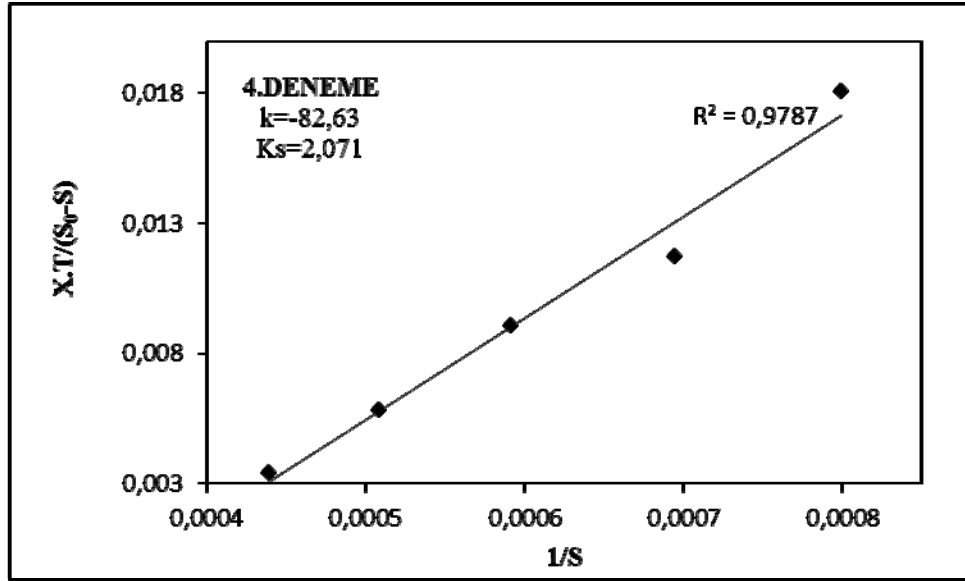
Şekil 47. KOİ-KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3. deneme)



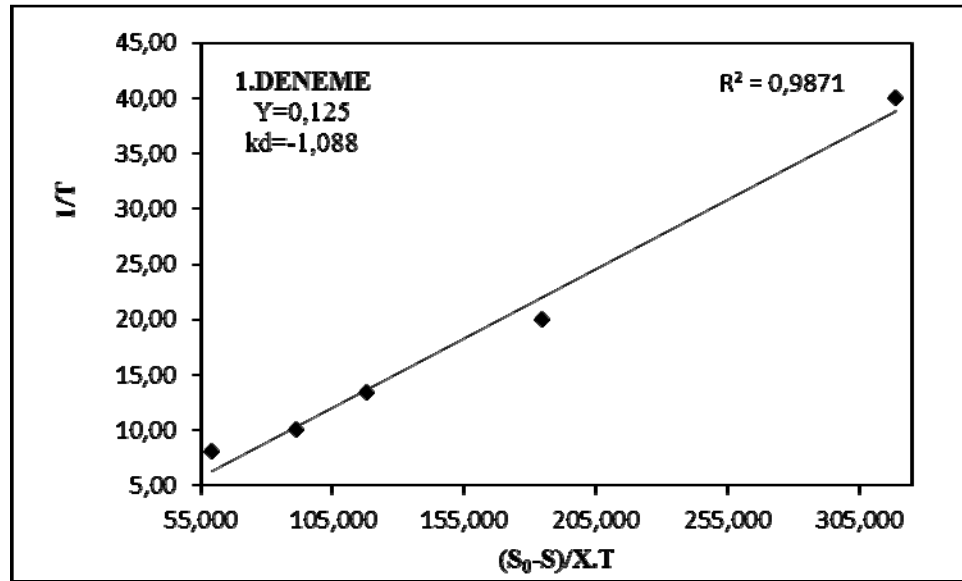
Şekil 48. KOİ-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3. deneme)



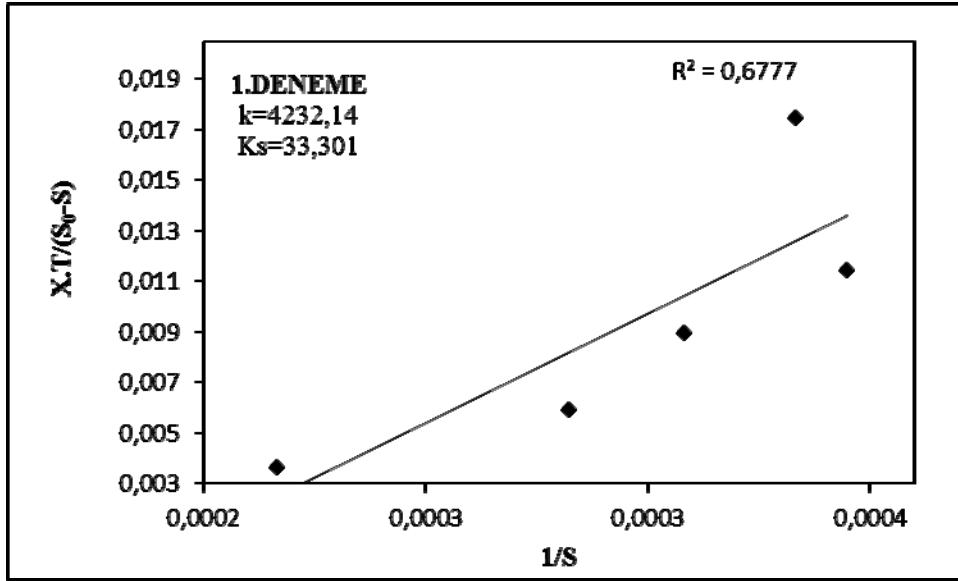
Şekil 49. KOİ-KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4. deneme)



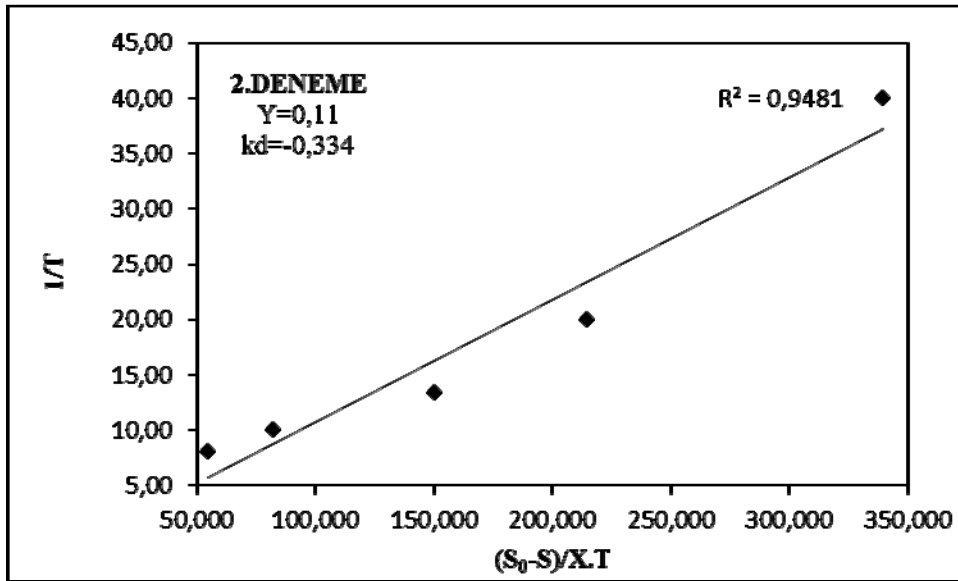
Şekil 50. KOİ-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4. deneme)



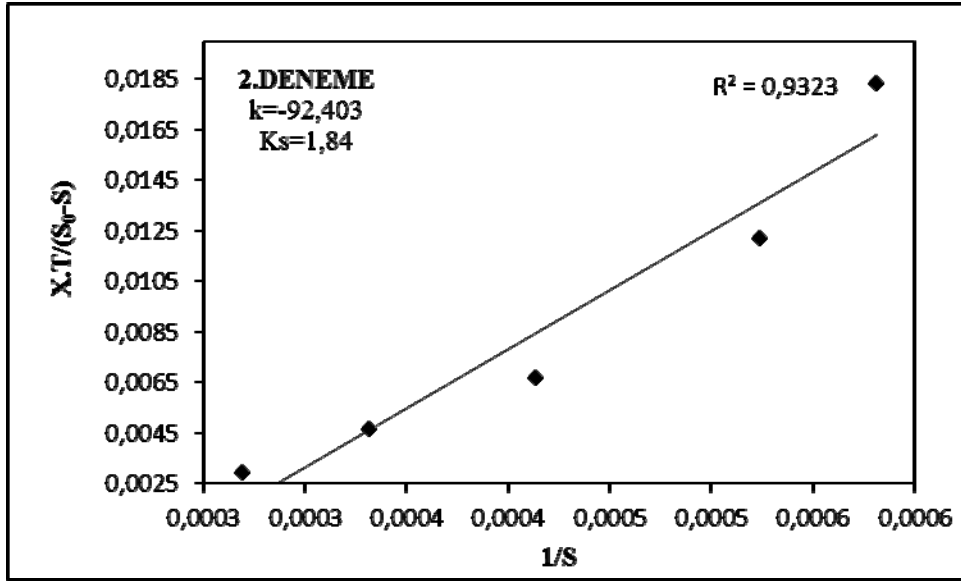
Şekil 51. KOİ-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1. deneme)



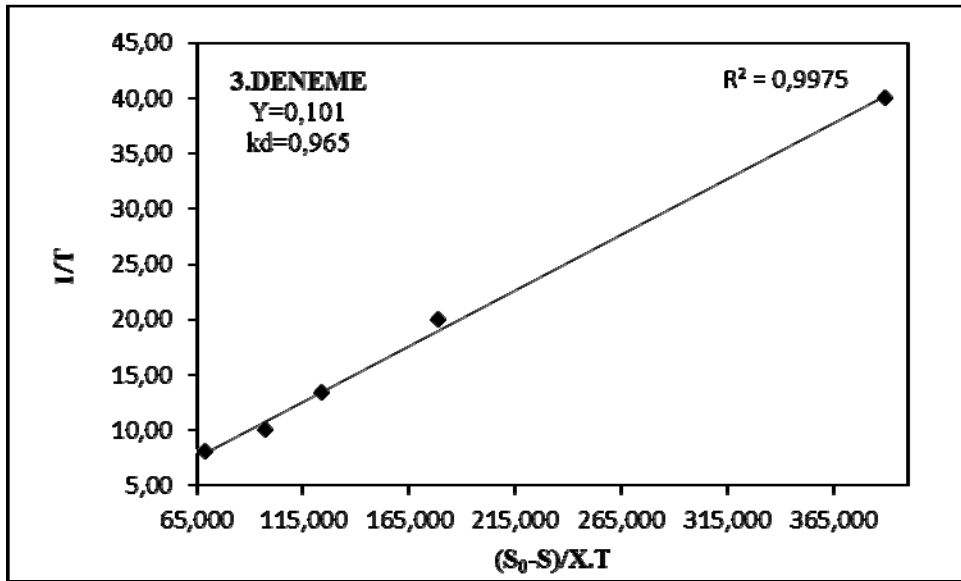
Şekil 52. KOİ-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (1. deneme)



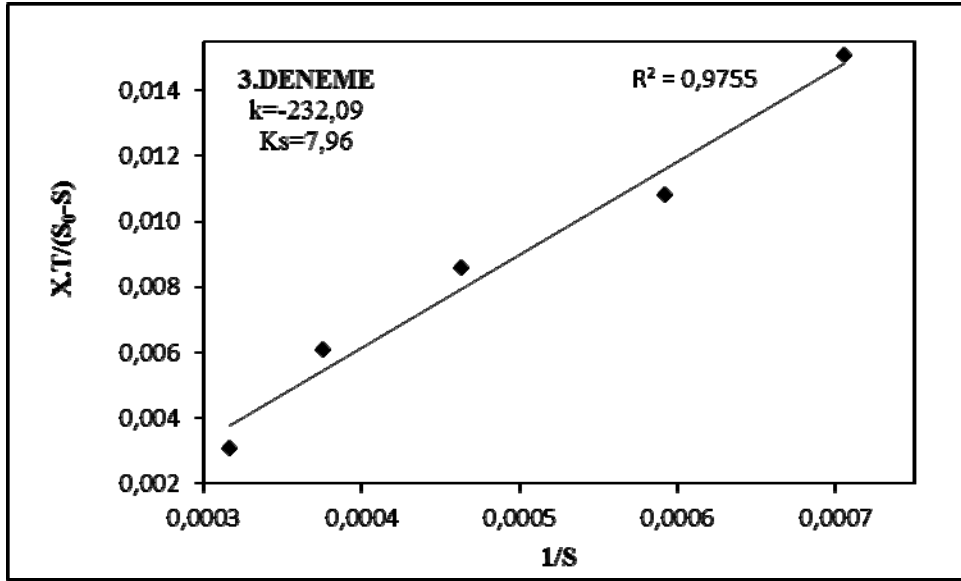
Şekil 53. KOİ-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2. deneme)



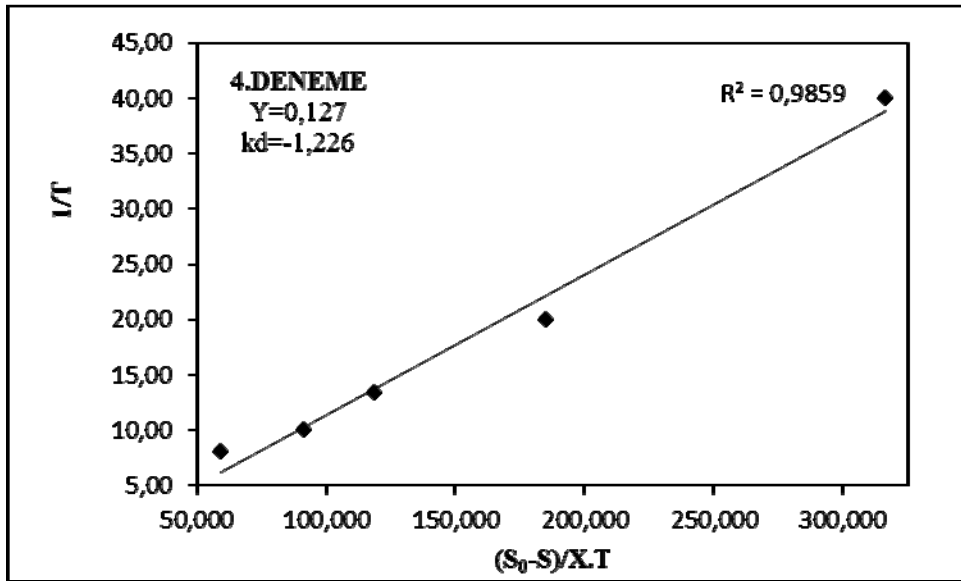
Şekil 54. KOİ-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (2. deneme)



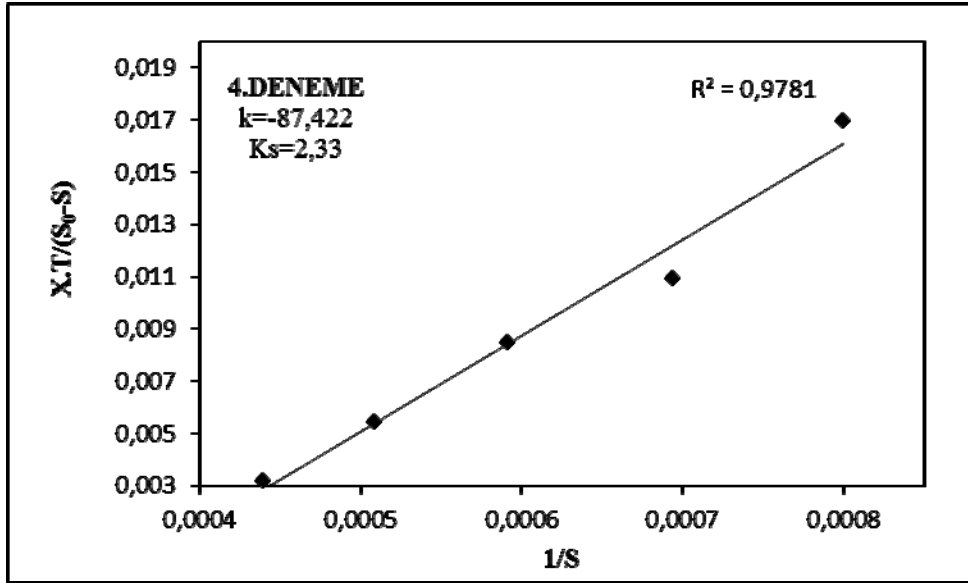
Şekil 55. KOİ-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3. deneme)



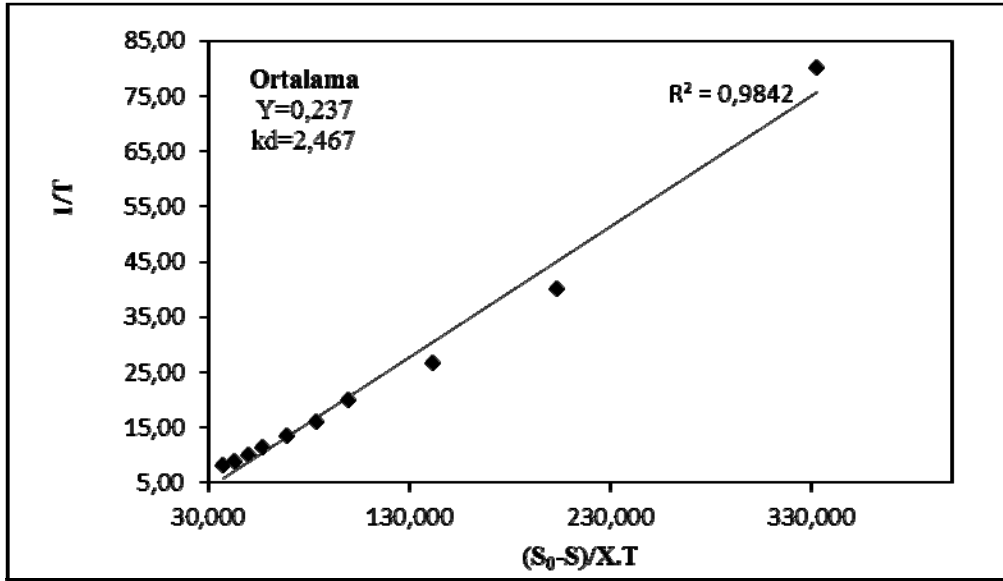
Şekil 56. KOİ-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (3. deneme)



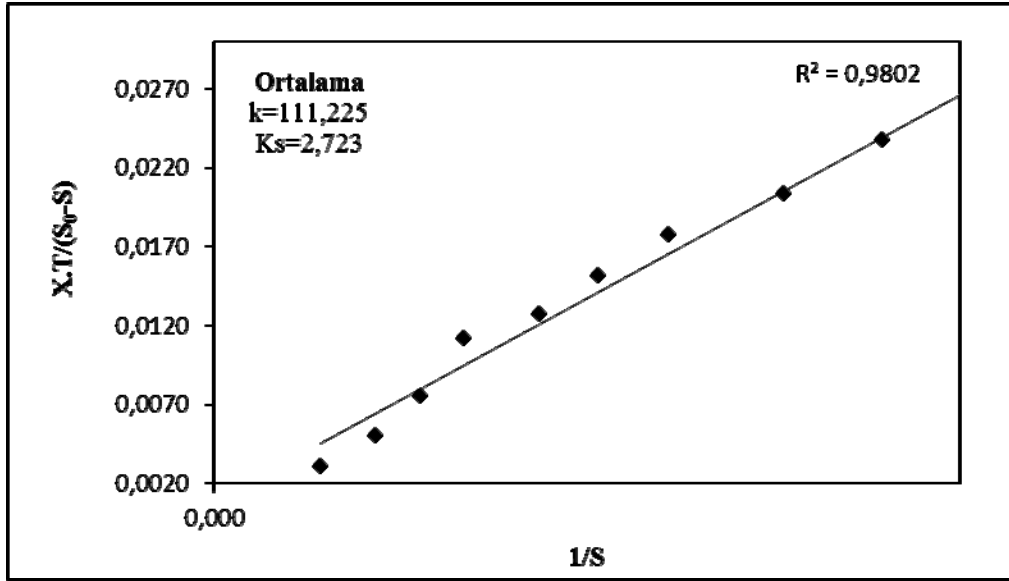
Şekil 57. KOİ-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4. deneme)



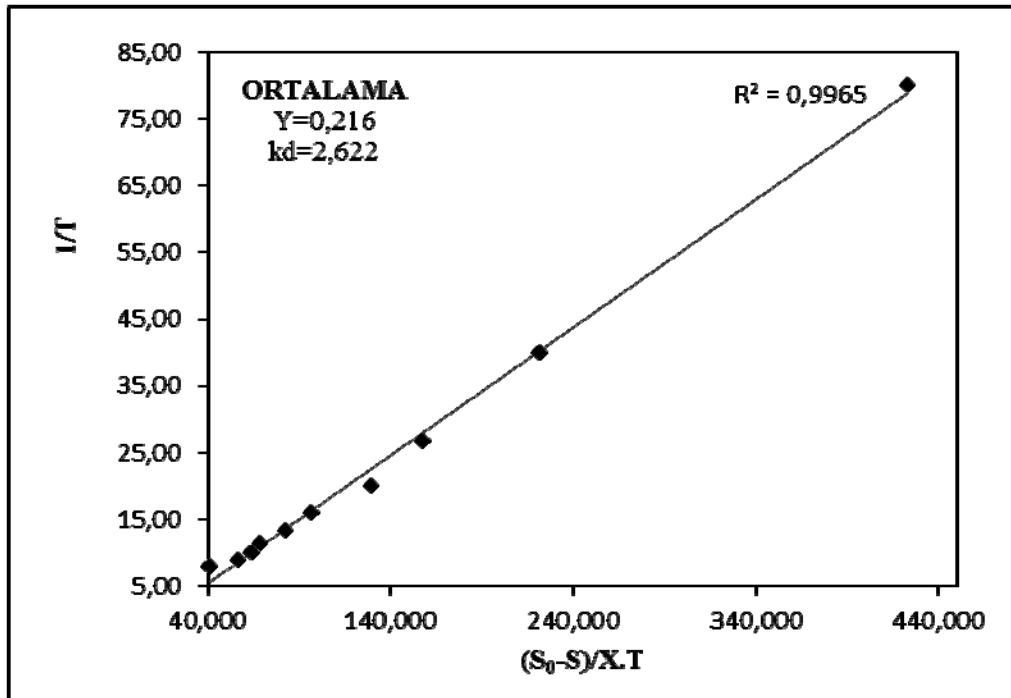
Şekil 58. KOİ-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi (4. deneme)



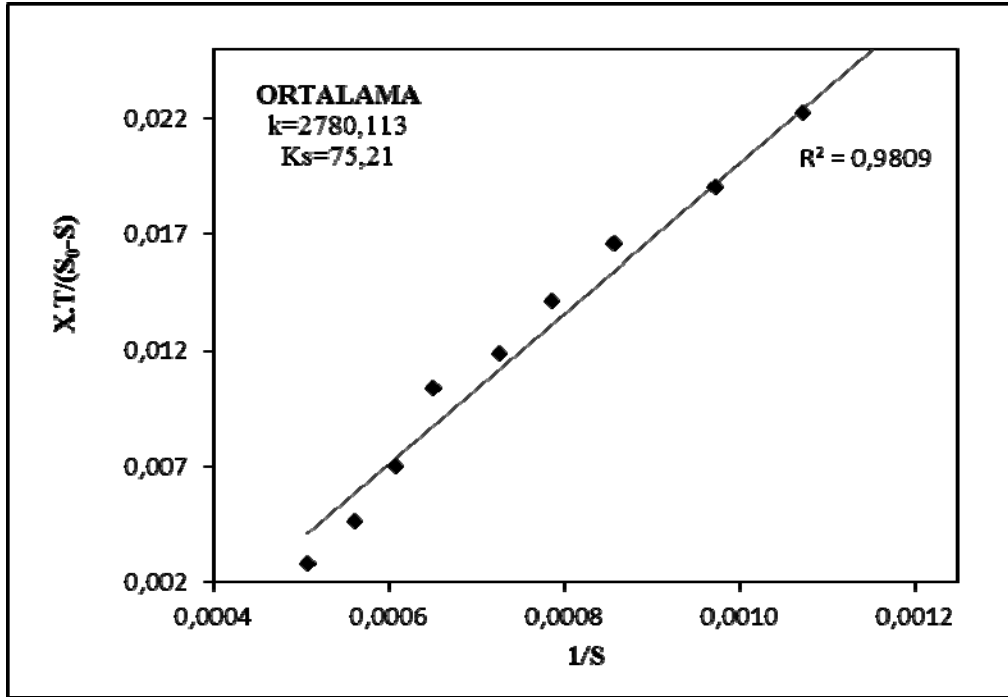
Şekil 59. Seyrelme metoduna göre ortalama BOİ₅-KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi



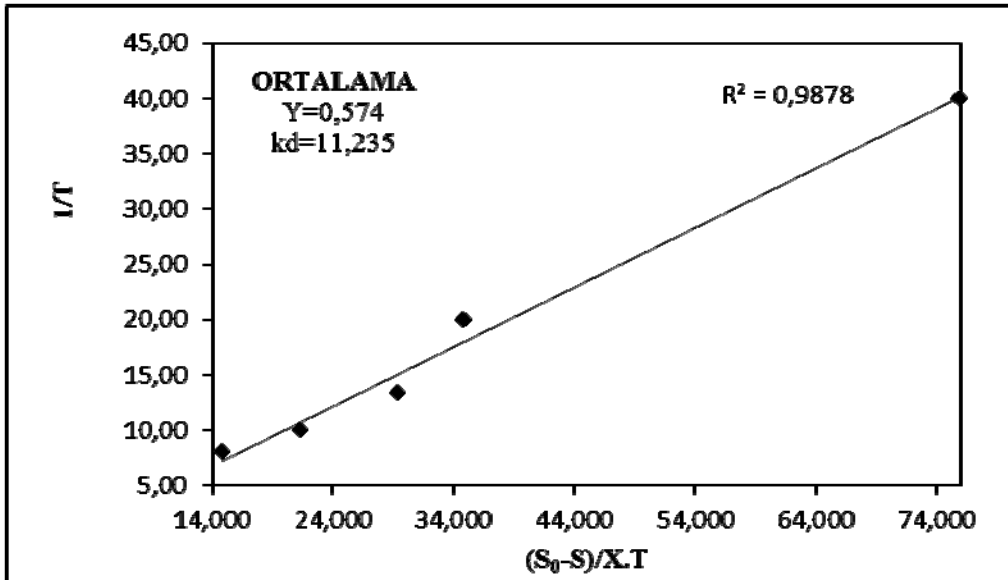
Şekil 60. Seyrelme metoduna göre ortalama BOI₅-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi



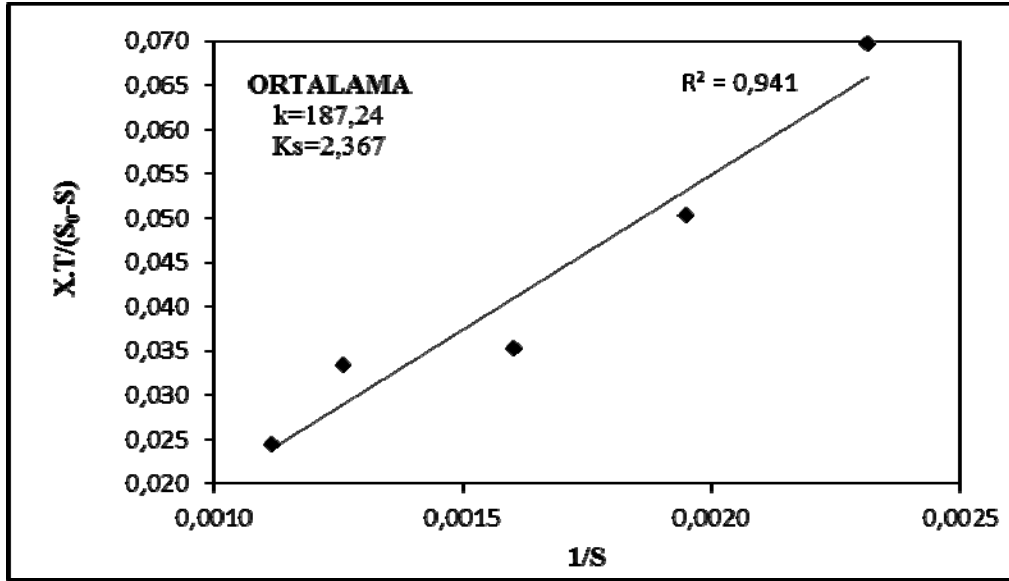
Şekil 61. Seyrelme metoduna göre ortalama BOI₅-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi



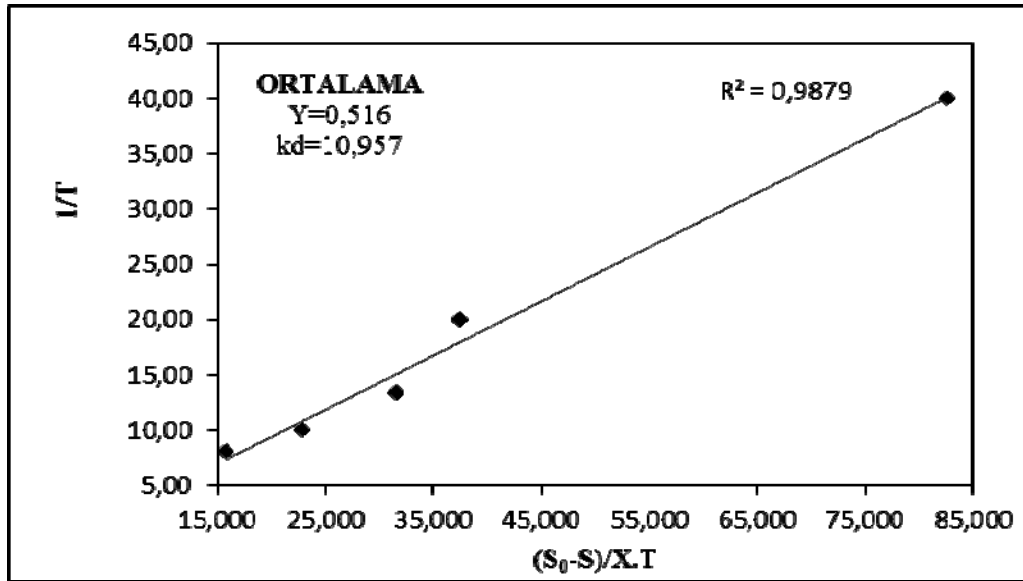
Şekil 62. Seyrelme metoduna göre ortalama BOİ₅-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi



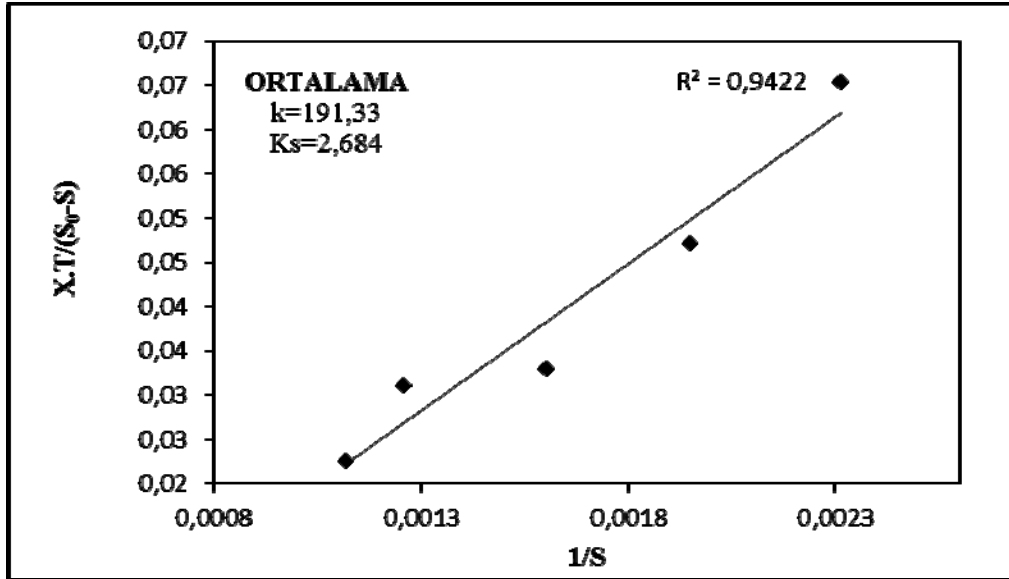
Şekil 63. Respirometrik metoda göre ortalama BOİ₅-KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi



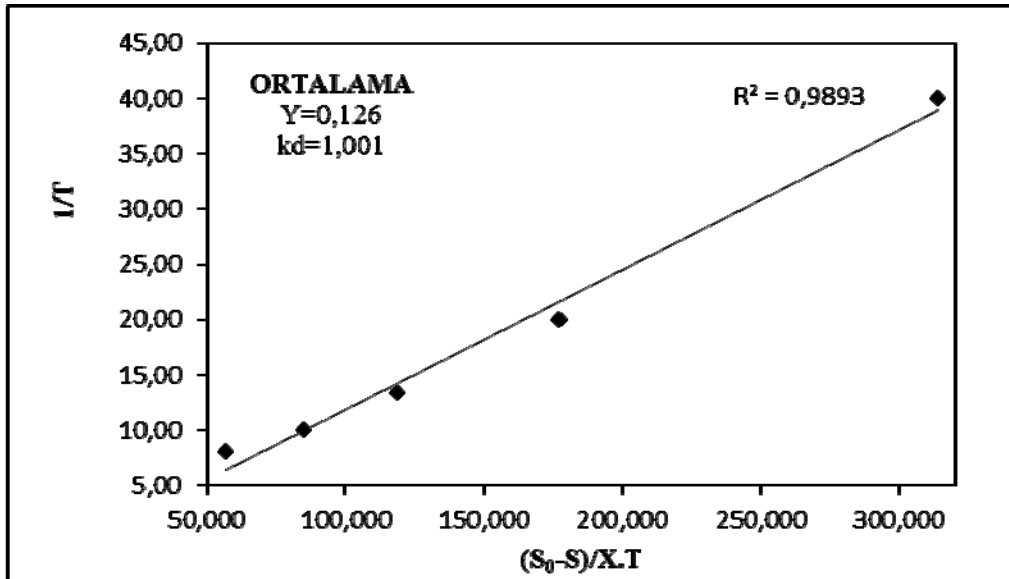
Şekil 64. Respirometrik metoda göre ortalama BOI₅-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi



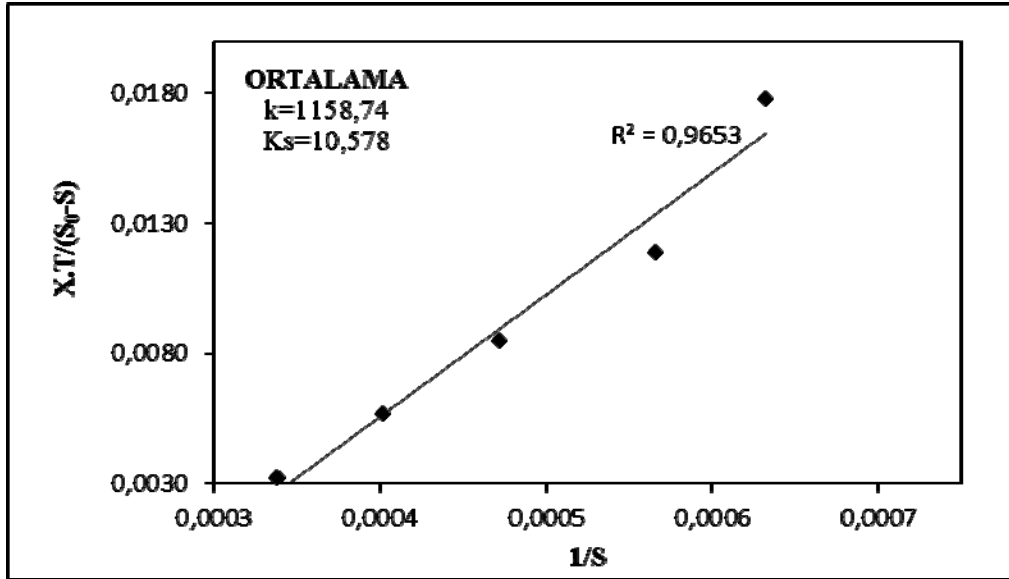
Şekil 65. Respirometrik metoda göre ortalama BOI₅-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi



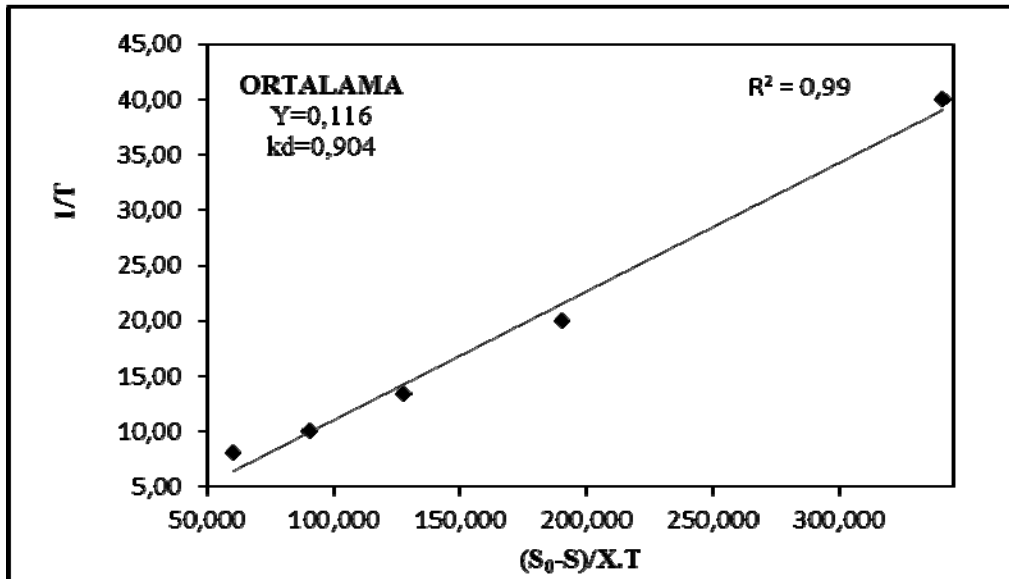
Şekil 66. Respirometrik metoda göre ortalama BOİ₅-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi



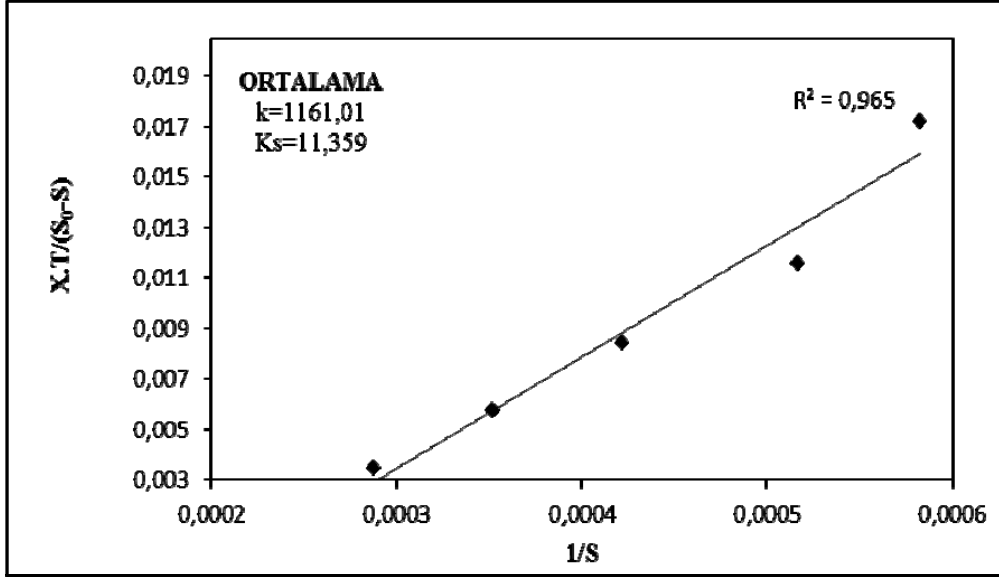
Şekil 67. Ortalama KOİ-KSAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi



Şekil 68. Ortalama KOİ-KSAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi



Şekil 69. Ortalama KOİ-KSUAKM için (Y) ve (k_d) kinetik katsayılarının belirlenmesi



Şekil 70. Ortalama KOİ-KSUAKM için (K_s) ve (k) kinetik katsayılarının belirlenmesi

Hesaplanan kinetik katsayılara ait veriler Tablo 35 ile Tablo 40 arasında verilmiştir.

Tablo 35. Seyrelme metoduna göre BOI_5 için hesaplanan kinetik katsayılar

BOİ ₅ - KSAKM	k (gün ⁻¹)	Ks (mg/l)	R ² (%)	k _d (gün ⁻¹)	Y	R ² (%)	μ _m (gün ⁻¹)
1.Deneme	224.2668	4.40353	0.417808	1.80886257	0.297411	0.981658	66.69949
2.Deneme	49.86578	1.09886	0.948689	3.473207759	0.228234	0.934352	11.38108
3.Deneme	100.332	3.46690	0.986552	1.941813842	0.212385	0.95593	21.30898
4.Deneme	70.43711	1.92439	0.949109	2.570862449	0.209098	0.996287	14.72828
Ortalama	111.225	2.723	0.825	2.467	0.237	0.967	28.529

Tablo 36. Seyrelme metoduna göre BOI_5 için hesaplanan kinetik katsayılar

BOİ- KSUAKM	k (gün⁻¹)	Ks (mg/l)	R² (%)	k_d (gün⁻¹)	Y	R² (%)	μ_m (gün⁻¹)
1.Deneme	3949.751	82.84926	0.421821	1.5225	0.270788	0.981623	1069.546
2.Deneme	2054.682	47.98595	0.94778	3.20156	0.208332	0.935508	428.0563
3.Deneme	2785.967	102.2139	0.986625	1.68418	0.194684	0.956244	542.3845
4.Deneme	2330.052	67.80057	0.948706	4.081556	0.192146	0.996455	447.7101
Ortalama	2780.113	75.212	0.826	2.622	0.216	0.967	621.924

Tablo 37. Respirometrik metoda göre BOI_5 için hesaplanan kinetik katsayılar

BOİ_R- KSAKM	k (gün⁻¹)	Ks (mg/l)	R² (%)	k_d (gün⁻¹)	Y	R² (%)	μ_m (gün⁻¹)
1.Deneme	621.0797	5.12863	0.86267	5.964994	0.189042	0.988368	117.4104
2.Deneme	86.47116	3.583474	0.836462	9.6749	1.137518	0.605364	98.3625
3.Deneme	13.5209	0.122778	0.844094	2.049119	0.595266	0.975599	8.04851
4.Deneme	27.89115	0.634877	0.100447	27.25424	0.3738	0.020458	10.4257
Ortalama	187.240	2.367	0.661	11.235	0.574	0.647	58.562

Tablo 38. Respirometrik metoda göre BOI_5 için hesaplanan kinetik katsayılar

BOİ_R- KSUAKM	k (gün⁻¹)	Ks (mg/l)	R² (%)	k_d (gün⁻¹)	Y	R² (%)	μ_m (gün⁻¹)
1.Deneme	620.567	5.456971	0.861859	6.0903	0.172875	0.987626	107.2808
2.Deneme	100.1372	4.367421	0.841106	9.42291	1.045344	0.619311	104.6778
3.Deneme	14.2423	0.137268	0.845359	2.251793	0.545641	0.975437	7.77119
4.Deneme	30.39444	0.775628	0.112217	26.06217	0.3017	0.01553	9.170149
Ortalama	191.330	2.684	0.665	10.957	0.516	0.649	57.225

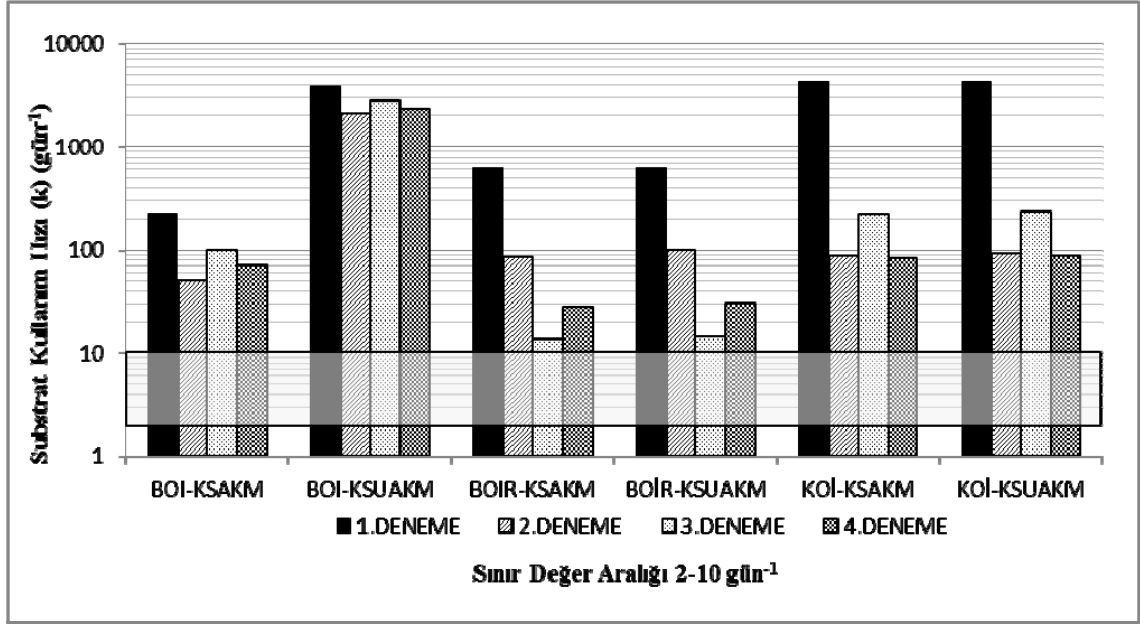
Tablo 39. KOİ için hesaplanan kinetik katsayılar

KOİ- KSAKM	k (gün ⁻¹)	Ks (mg/l)	R ² (%)	k _d (gün ⁻¹)	Y	R ² (%)	μ _m (gün ⁻¹)
1.Deneme	4241.909	31.38804	0.677268	1.35685	0.13717	0.985342	581.8618
2.Deneme	88.0287	1.661083	0.93281	0.55403	0.120957	0.946277	10.6477
3.Deneme	222.375	7.191211	0.975384	0.738487	0.110062	0.997699	24.4752
4.Deneme	82.6393	2.071581	0.978744	1.35484	0.137264	0.985832	11.3434
Ortalama	1158.74	10.578	0.891	1.001	0.126	0.979	157.08

Tablo 40. KOİ için hesaplanan kinetik katsayılar

KOİ- KSUAKM	k (gün ⁻¹)	Ks (mg/l)	R ² (%)	k _d (gün ⁻¹)	Y	R ² (%)	μ _m (gün ⁻¹)
1.Deneme	4232.14	33.30122	0.67773	1.08804	0.125315	0.987062	530.3505
2.Deneme	92.4026	1.845462	0.932314	0.3379	0.110592	0.948106	10.219
3.Deneme	232.092	7.959055	0.975515	0.965323	0.100866	0.997496	234101
4.Deneme	87.4218	2.330212	0.9781	1.2259	0.126621	0.985869	11.0694
Ortalama	1161.01	11.359	0.891	0.904	0.116	0.980	143.762

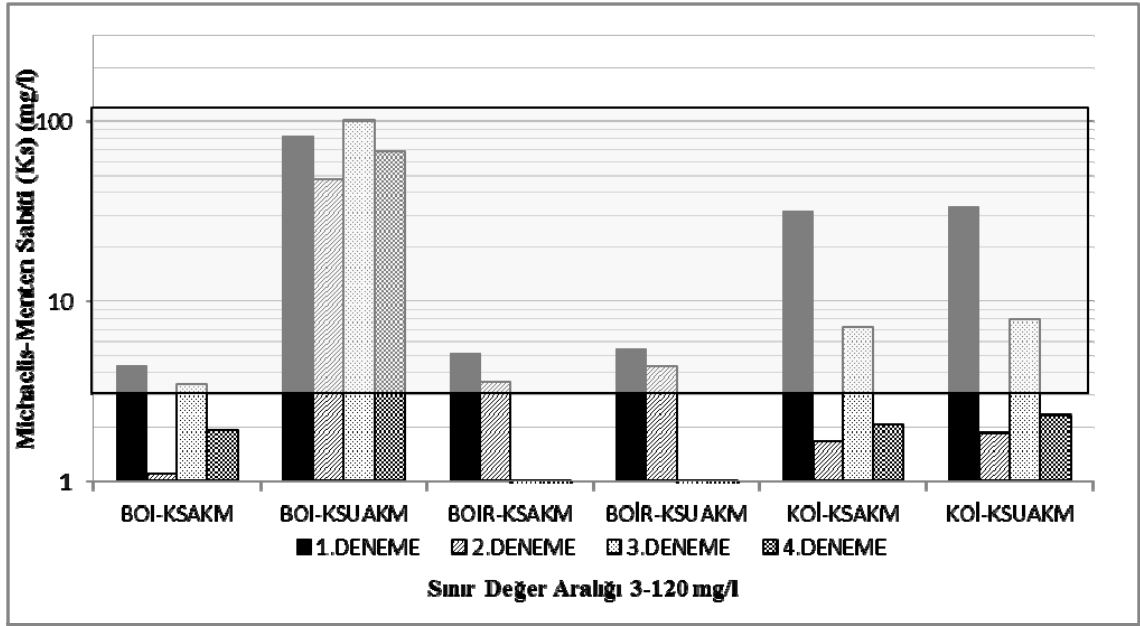
Substrat Kullanım Hızı (k); Tipik olarak k değeri BOİ₅ veya KOİ için 2-10 arasında değişir. Bazı kaynaklarda ise bu değer 20 gün⁻¹ e kadar çıkmaktadır. $S \geq K_s$ olduğu bu çalışmada (k) değeri mikroorganizma konsantrasyonu (X) ile doğrusal ve ters orantılı bir ilişki vardır (Soyupak, 1987; Samsunlu, 2006). Substrat kullanım hızının yüksek olması atıksudaki glikoz miktarının yüksek olması ile açıklanabilir (Soyupak, 1987). Şekil 71' de görüldüğü gibi tüm denemelerde substrat olarak BOİ₅, BOİ_R ve KOİ ölçümleri ile substrat kullanım hızı sınır değerlerin üzerinde çıkmıştır. Tüm denemelerde tipik değerlere yakın sonuçlar respirometrik yöntemle ölçülen BOİ₅ değerlerinde ortaya çıkmıştır.



Şekil 71. Substrat kullanım hızı(k) karşılaştırması

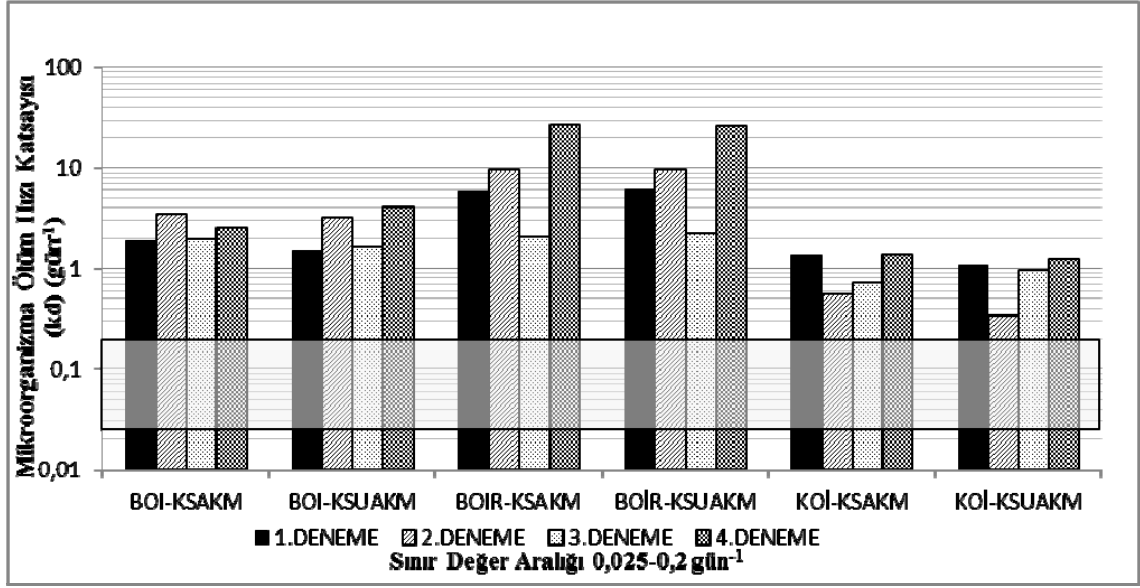
Michaelis-Mentes Sabiti (K_s); Genel olan K_s organizmaların substrat ile olan ilişkisinin bir ölçüsüdür (Türker, 2005). Enzim-substrat (ES) kompleksinin ayrışma sabiti olarak da tanımlanan (K_s), yüksek değerlere ulaştığında kolay ayrılan enzim-substrat (ES) kompleksi meydana gelirken, düşük değerlere ulaştığında daha kararlı ES kompleksi ortaya çıkar (Kargı, 1995). Rekabetli engellemede substrata benzer moleküller substrat ve engelleyici enzimin aktif kısmına bağlanmak için rekabet ederler. Bu engellemede (rekabetli inhibasyonda) K_s değeri artar ve tepkime hızı düşer. Ancak kullanılan substrattaki glikoz miktarı arttıkça K_s de azalma gözlenir (Soyupak, 1987).

Bekletme süresinin kısa olduğu bu çalışmada Şekil 72' de görüldüğü gibi K_s değeri hızlı çoğalan kültürlerin baskın olmasından dolayı yüksek çıkmıştır. Özellikle seyrelme metoduyla BOI_5 ölçümlerinde kabul edilebilir değer aralığında çıkarken, diğer yöntemlerde K_s değeri sınır değerlerin altındadır. Yüksek K_s değeri yüksek üreme hızları (μ) nın olmasını da açıklamaktadır.



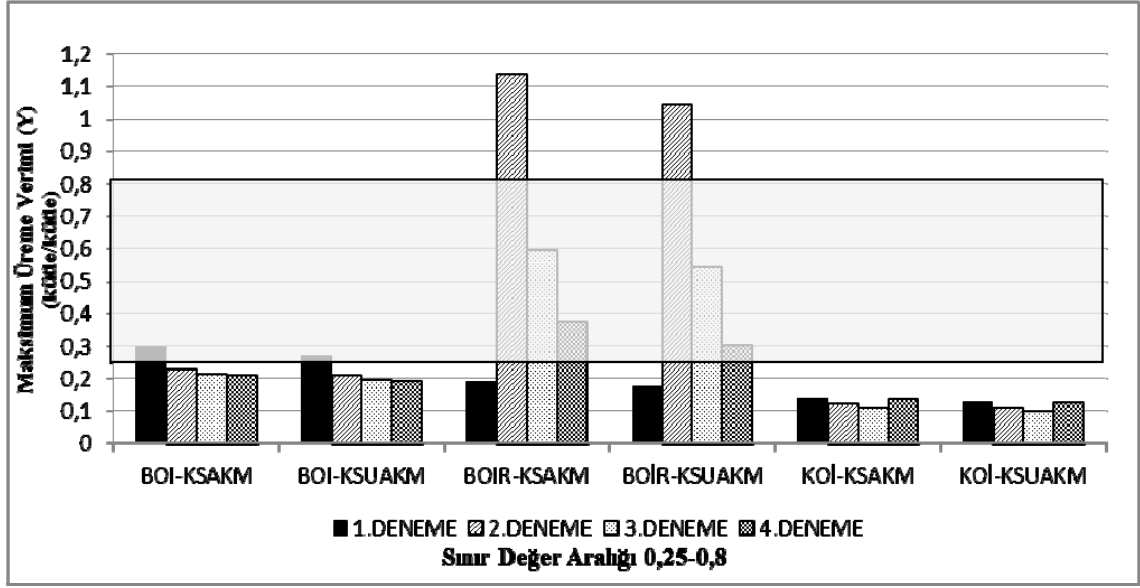
Şekil 72. Michaelis-Menten sabiti (K_s) karşılaştırması

Mikroorganizma Ölüm Hızı Katsayısı (k_d); Mikroorganizma miktarı (X) ile ilişkili olup içsel solunumun olduğu ölüm safhasında X miktarının azalması ile artar. Biyokülte azalması içsel solunum olarak ifade edilir. Net büyüme hızı da (μ) mikroorganizma ölüm hızından etkilenir (Samsun, 2006). Şekil 73' de görüldüğü üzere mikroorganizma ölüm hızı katsayısı (k_d) bütün ölçüm metodları için tavsiye edilen sınır değerlerin çok üstünde belirlenmiştir. X değerinde hızlı düşüşten dolayı içsel solunumla k_d değerinde artış gözlenmiştir.



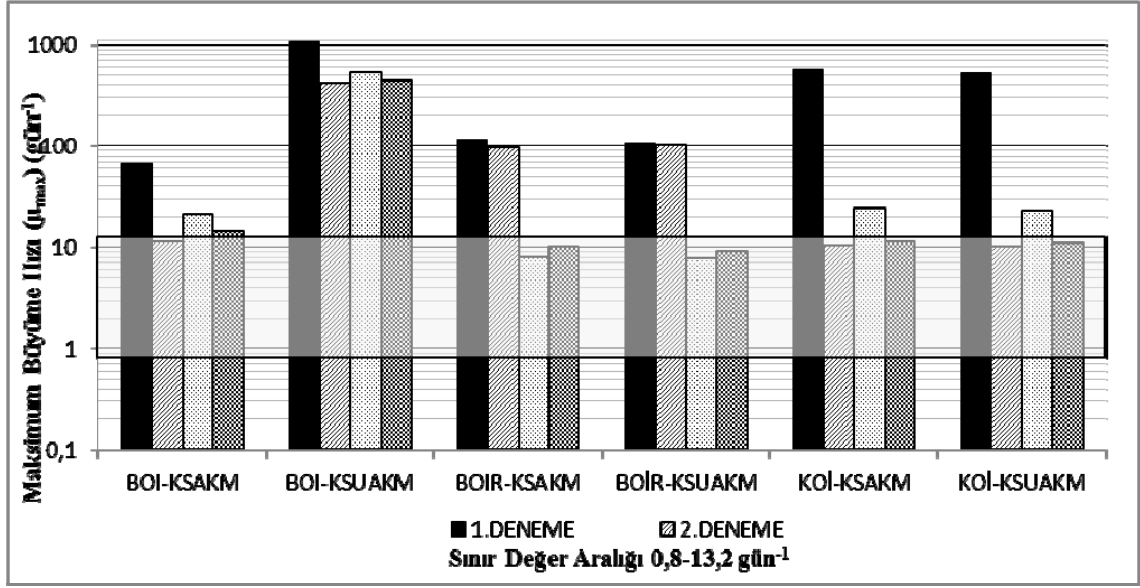
Şekil 73. Mikroorganizma ölüm hızı (kd) karşılaştırması

Maksimum Üreme Verimi (Y); Havalandırmanın iyi olduğu ve karbonun tek sınırlayıcı faktör olduğu saf kültürler için Y değeri 0,3-0,6 arasında değişir (Soyupak, 1987). Maksimum üreme hızı (Y), karbon ve besi maddesinin yükseltgenme ve indirgenme durumuna, gıda maddesinin polimerizasyonu derecesine, metabolizmaya ve organik büyüme hızına bağlıdır (Samsunlu, 2006). Respirometrik yöntemle BOİ₅ ölçümlerinin gerçekleştirildiği 3. ve 4. denemelerde kabul edilebilir değerlere ulaşılmıştır. Ancak diğer yöntemlerin tamamında sınır değerlerin altında veya üzerinde çıkmıştır (Şekil 74).



Şekil 74. Maksimum üreme verimi (Y) karşılaştırması

Maksimum Üreme Hızı (μ_{max}); Büyüme hızı (μ) substrat konsantrasyonuna (S) ve Michaelis-Menten katsayısına (K_s) bağlı olduğundan, K_s nin varsayılan değerden düşük olması durumunda mikroorganizma büyüme grafiğinde eğri dikleşir (Türker, 2005; Samsunlu, 2006). K_s nin tipik değerden yüksek olması durumunda spesifik üreme hızı (μ) azalır (Orhon ve Artan, 1994). Düşük substrat derişimlerinde üreme hızı substrat derişimiyle artar ve maksimuma ulaşır. Substrat derişimi daha da arttıkça üreme hızı azalmaya başlar. Bu olay substrat inhibisyonu olarak bilinir (Türker, 2005). Şekil 75' de görüldüğü gibi respirometrik yöntemle BOI_5 ölçümlerinde kabul edilebilir sınır değerlere ulaşılırken, diğer yöntemlerde üreme hızları artarak sınır değerlerin üzerine çıkmıştır. K_s değerlerinin diğer metotlar için BOI_r ye göre yüksek olması da üreme hızlarının yüksek olmasını açıklamaktadır.



Şekil 75. Maksimum üreme hızı (μ_{max}) karşılaştırması

BOİ deneyi 5 günden sonra devam ettirilirse, hücreler tamamen parçalanacak ve nihai BOİ değeri ilk KOİ değerine ulaşacaktır. Bu nedenle yaygın olarak BOİ ile KOİ arasında $BOİ=0,65 \times KOİ$ ilişkisi vardır (Soyupak, 1987). Denemelerde elde edilen $BOİ_5$, $BOİ_R$ ve KOİ değerleri arasında ilişki SPSS v16.0 istatistik yazılımı yardımıyla incelenmiştir. “Curve Estimation” yöntemi ile en uygun eğri uydurulması amaçlanmış ancak her bir denemede farklı eğri türlerinde yüksek korelasyon gerçekleştiği için kıyaslama yapabilmek için tüm denemelerde lineer denklem sistemi ($Y=aX+b$) ile ilişkilendirilmiştir. Böylece parametrelerin birbiriyle ilişkileri doğrusal olarak belirlenmiş ve katsayılar Tablo 41’ de verilmiştir. Tablo 41’ de görüldüğü gibi her denemeye ait ilişki değerleri verilmiştir. Korelasyon katsayıları (R) değerinin 1’e yakın olduğu ve P katsayısının 0.05 den küçük olduğu durumlarda iki değişken arasındaki ilişkinin kuvvetli olduğu sonucuna varılır. Buna göre $BOİ_5$ - $BOİ_R$ ilişkisi en yüksek olan deneme 3. denemedir. $BOİ_5$ -KOİ ilişkisi en yüksek olan deneme 4.denemedir. $BOİ_R$ -KOİ ilişkisi en yüksek olan deneme 3.denemedir. Genel ortamalara bakıldığından en yüksek ilişki $BOİ_5$ -KOİ arasında 0.986 düzeyinde olmuştur. Bu ilişkiye ait doğrusal denklem katsayıları Tablo 41, Tablo 43, Tablo 44 ve Tablo 45’ de verilmiştir. En düşük ilişki düzeyi $BOİ_5$ - $BOİ_R$ için 1. denemede gerçekleşmiştir.

Tablo 41. Deneme sonuçlarına göre BOİ₅-BOİ_R-KOİ arasındaki lineer ilişkiler

Deneme	İlişki	R (1)	F (2)	P (3)	a (4)	b (5)
1	BOİ ₅ -BOİ _R	0.554	4.971	0.090	1.678	870.037
	BOİ ₅ -KOİ	0.726	10.587	0.031	0.578	-139.759
	BOİ _R -KOİ	0.831	19.731	0.011	0.274	-342.877
2	BOİ ₅ -BOİ _R	0.752	12.149	0.025	2.047	-3.015
	BOİ ₅ -KOİ	0.952	659.686	0.0001	0.556	-129.414
	BOİ _R -KOİ	0.804	16.400	0.015	0.212	11.031
3	BOİ ₅ -BOİ _R	0.910	40.36	0.003	3.716	-1511.616
	BOİ ₅ -KOİ	0.994	665.055	0.0001	0.559	-135.532
	BOİ _R -KOİ	0.939	61.290	0.001	0.140	402.990
4	BOİ ₅ -BOİ _R	0.783	14.427	0.019	1.838	162.738
	BOİ ₅ -KOİ	1.000	118.60	0.0001	0.701	-1.136
	BOİ _R -KOİ	0.783	14.463	0.019	0.299	96.634
Ortalama	BOİ ₅ -BOİ _R	0.978	178.13	0.0001	2.638	-323.352
	BOİ ₅ -KOİ	0.986	273.317	0.0001	0.605	-144.329
	BOİ _R -KOİ	0.961	99.434	0.001	0.224	83.728

ACIKLAMA
BOİ₅: 5 günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı
BOİ_R: 5 günlük respirometre ile ölçülen biyokimyasal oksijen ihtiyacı
KOİ : Kimyasal oksijen ihtiyacı
(1) : Korelasyon katsayısı
(2) : F dağılım katsayısı
(3) : Pearson Önem Katsayısı
(4) ve (5) : Lineer denklem sistemi katsayısı olup $Y=aX+ b$ şeklindeki doğrusal denklemi ifade eder.

Bu çalışmada olduğu gibi, düşük aktif çamur konsantrasyonu ve hızlı reaktör yüklemesinden dolayı giderim verimleri düşük olup, % 40 ile 70 arasındadır (Eckenfelder vd., 1972). BOİ₅, BOİ_R ve KOİ' e ait giderimler Tablo 42' de özetlenmiştir. Buna göre, tüm denemelerin ortalamalarına göre BOİ₅-KSUAKM için giderim verimi % 69.23, BOİ_R-KSUAKM için % 64.23 ve KOİ-KSUAKM için % 62.26 olarak belirlenmiştir. BOİ₅-KSUAKM giderimi en yüksek % 73.36 ile 3. denemede gerçekleşmiştir. BOİ_R-KSUAKM giderimi en yüksek % 71.91 ile 2. denemede gerçekleşmiştir. KOİ-KSUAKM giderimi en yüksek % 70.84 ile 3. denemede gerçekleşmiştir. Sonuç olarak substrat giderimleri % 46.88 ile % 73.36 arasında değişmiştir.

Tablo 42. Substrat giderim verimleri

Deneme	BOİ ₅ -KSUAKM E (%)	BOİ _R -KSUAKM E (%)	KOİ-KSUAKM E (%)
1	69.44	62.20	46.88
2	67.49	71.91	64.73
3	73.36	55.42	70.84
4	66.63	67.40	66.61
Ortalama	69.25	69.23	62.26

Substrat giderimlerinin zamana bağlı grafikleri KSUAKM için Şekil 77 ile Şekil 90 arasında verilmiş olup, KSUAKM için giderim verimlerini en iyi tanımlayan denklem sistemleri SPSS yazılımı yardımıyla çözümlenmiş ve Tablo 43, Tablo 44 ve Tablo 45’ de özetlenmiştir.

Tablo 43. Seyrelme metodu ile zamana karşılık BOİ₅ değerleri

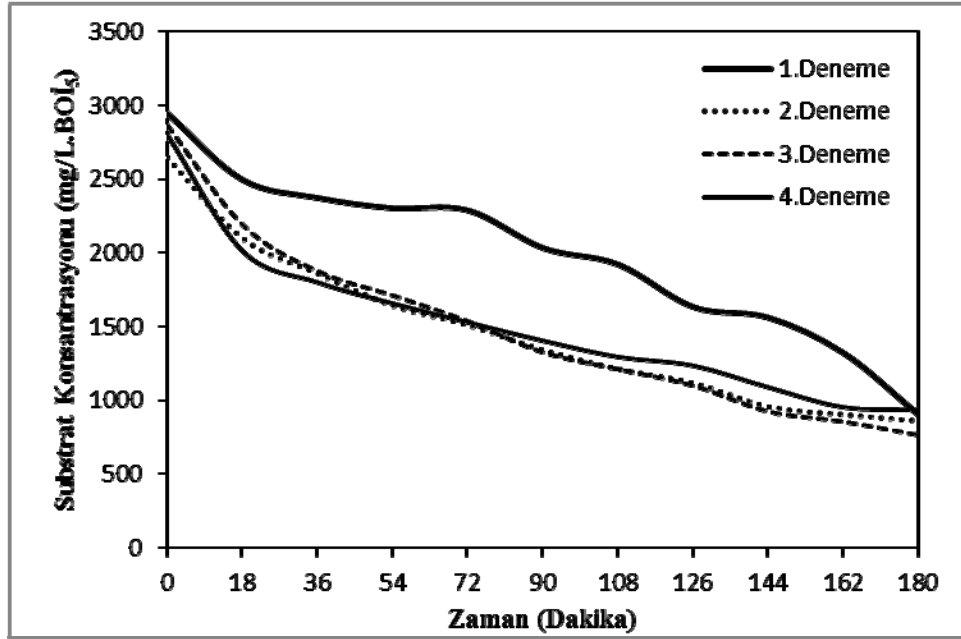
Deneme	BOİ ₅ Giderim İlişkisi	Korelasyon Katsayısı (R)
1	$BOİ = 49,455 + 0,305.T + 0,00000003441.T^3$	0,980
2	$BOİ = 373,09 - 0,281.T + 0,00005318.T^3$	0,995
3	$BOİ = 330,429 - 0,233.T + 0,0000000413.T^3$	0,998
4	$BOİ = 359,864 - 0,197.T - 0,00001635.T^2 + 0,00000001459.T^3$	0,998
Ortalama	$BOİ = 249,392 - 0,02.T - 0,00008998.T^2 + 0,00000002332.T^3$	0,999

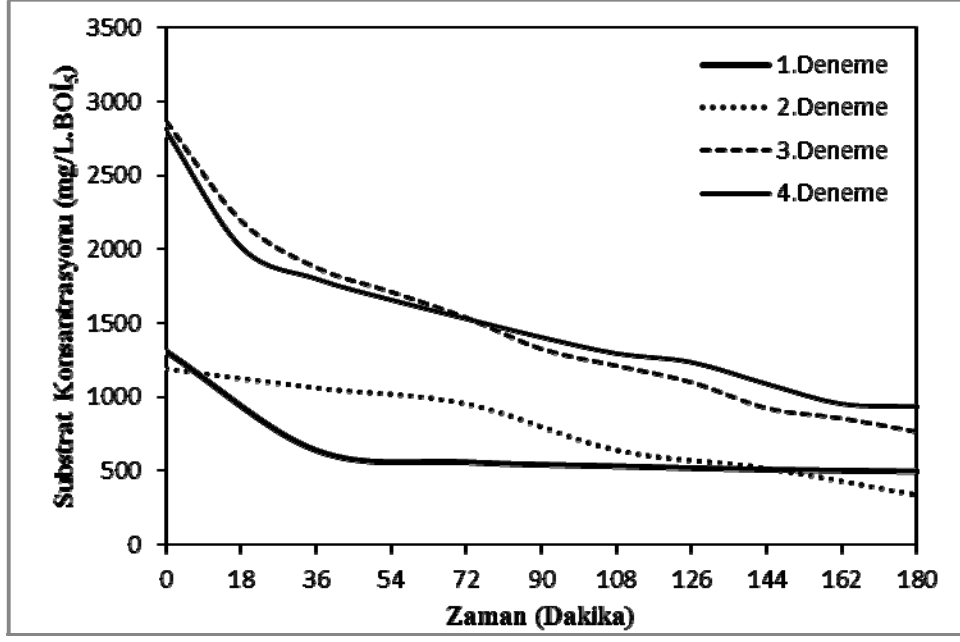
Tablo 44. Respirometrik metod ile zamana karşılık BOİ₅ değerleri

Deneme	BOİ _R Giderim İlişkisi	Korelasyon Katsayısı (R)
1	$BOİ = 994,173 - 2,255.T + 0,001.T^2$	0,946
2	$BOİ = 345,363 - 0,712.T + 0,001.T^2 - 0,0000003602.T^3$	0,992
3	$BOİ = -161,493 + 198290,373.\frac{1}{T}$	0,963
4	$BOİ = 225,921 - 0,158.T - 0,00000001674.T^3$	0,968
Ortalama	$BOİ = 1262,668 - 178,05.Ln(T)$	0,991

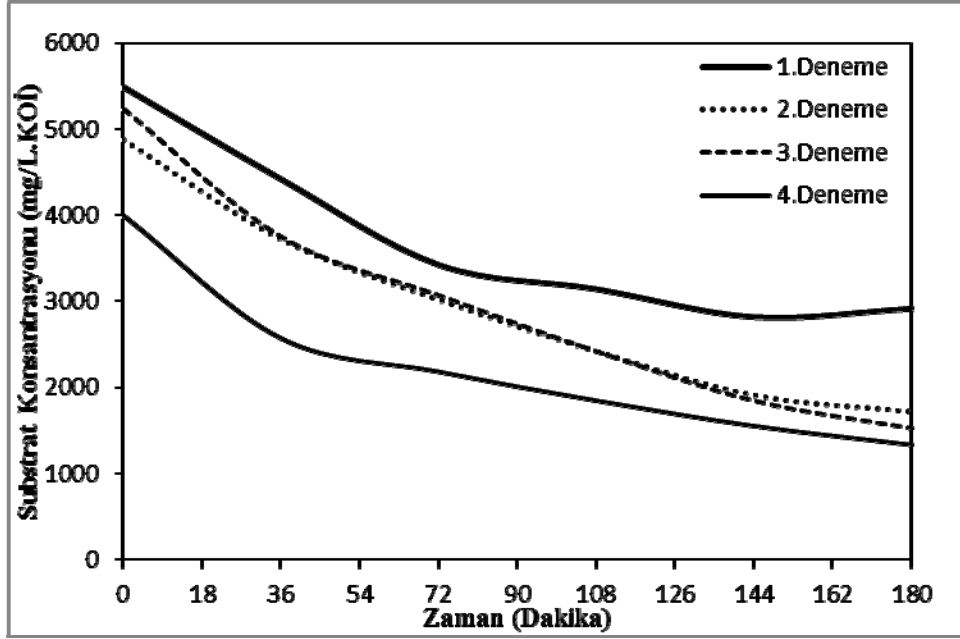
Tablo 45. Zamana karşılık KOİ değerleri

Deneme	KOİ Giderim İlişkisi	Korelasyon Katsayısı (R)
1	$KOİ = 714,122 - 0,269.T + 0,00002599.T^2$	0,909
2	$KOİ = -87,176 + 457579,830.\frac{1}{T}$	0,991
3	$KOİ = 351,566 - 0,140.T + 0,00001811.T^2 - 0,0000000007945.T^3$	0,998
4	$KOİ = 446,35 - 0,245.T + 0,00003337.T^2$	1,000
Ortalama	$KOİ = 446,344 - 0,182.T + 0,00001867.T^2$	0,991

Şekil 76. Seyrelme yöntemine göre BOİ₅ giderimleri

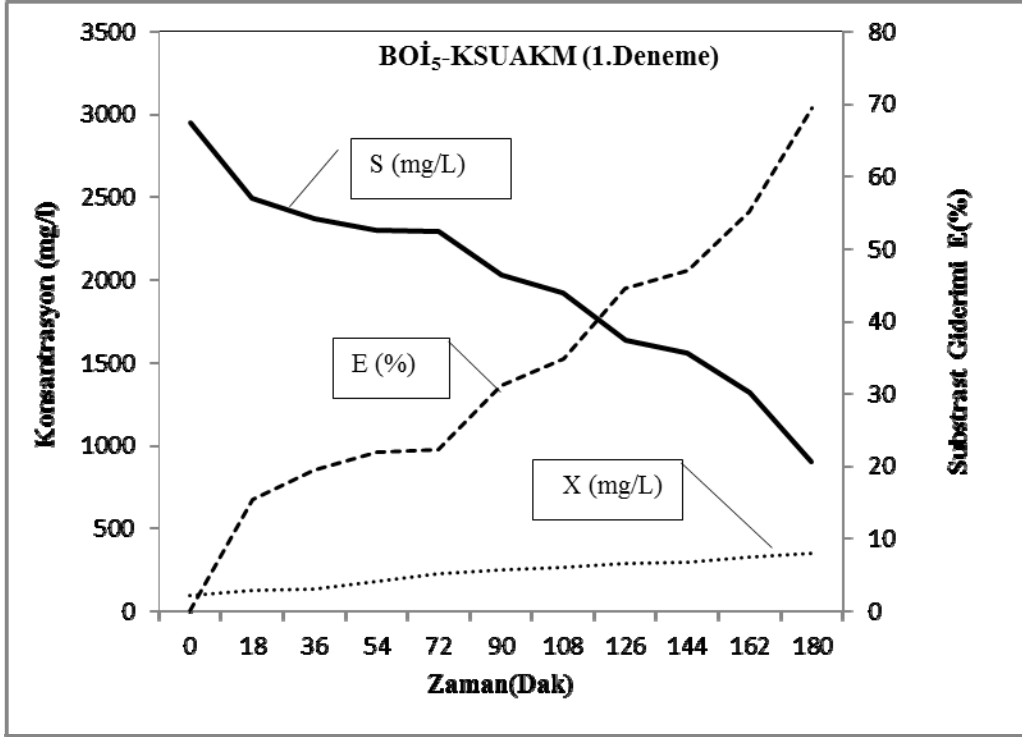


Şekil 77. Respirometrik yöntemine göre BOI₅ giderimleri

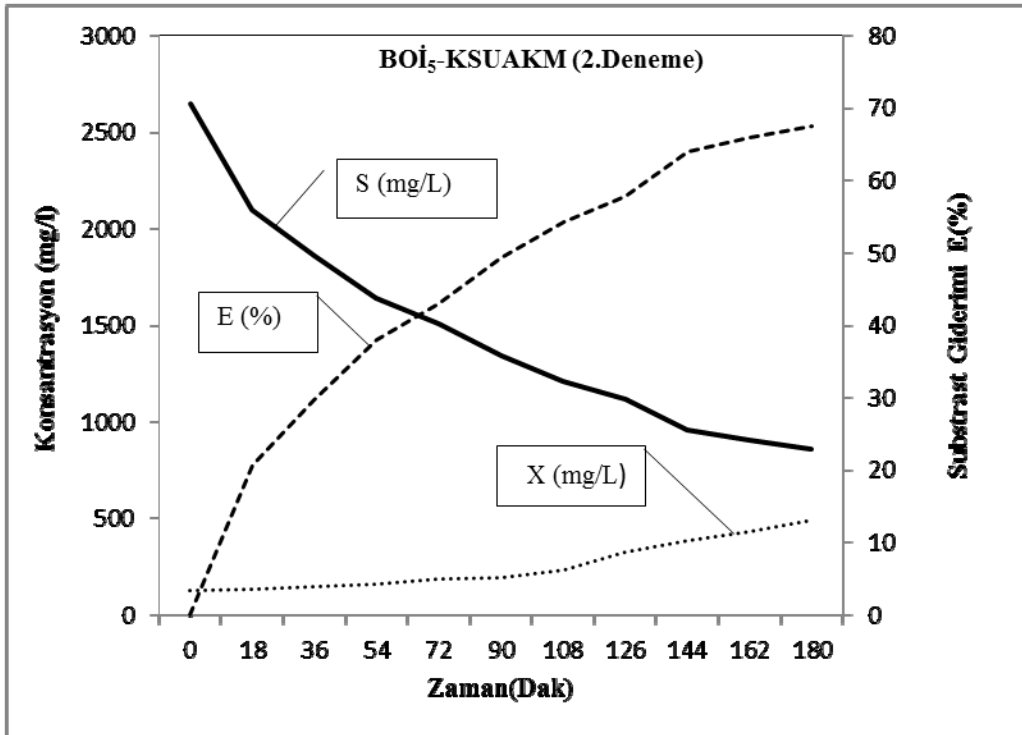


Şekil 78. KOİ giderimleri

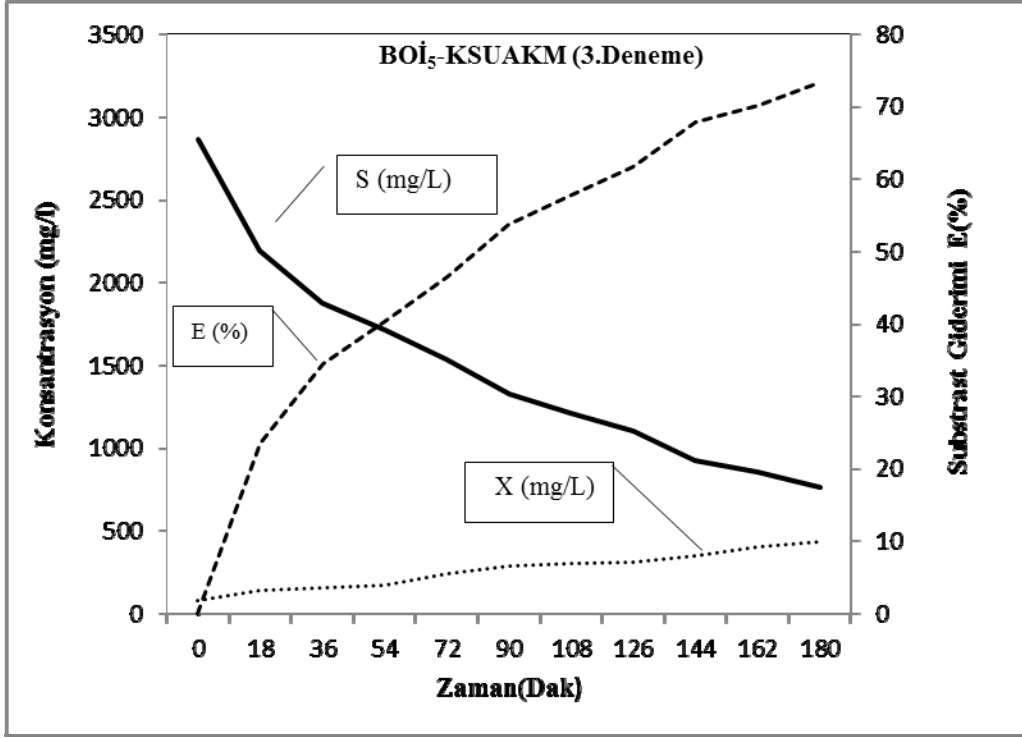
Substrat ve KSUAKM miktarlarına bağlı olarak 4 deneme için ayrı ayrı giderim verimleri Şekil 79' dan Şekil 90' a kadar verilmiştir.



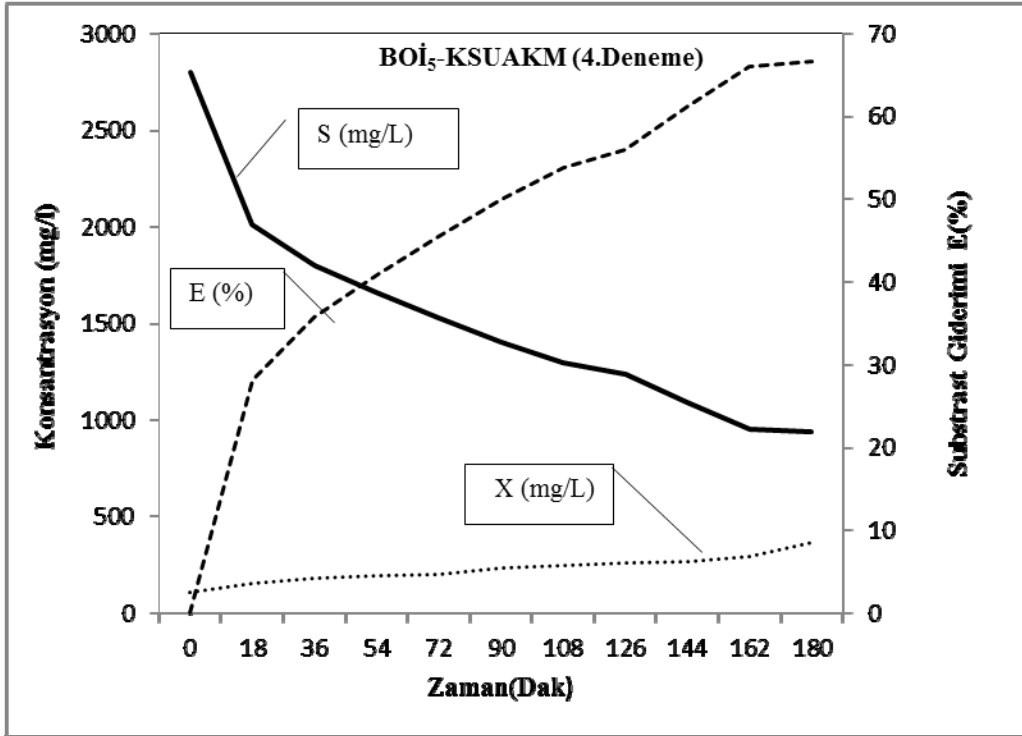
Şekil 79. Çıkış KSUAKM ve BOİ₅ giderim verimi (1. deneme)



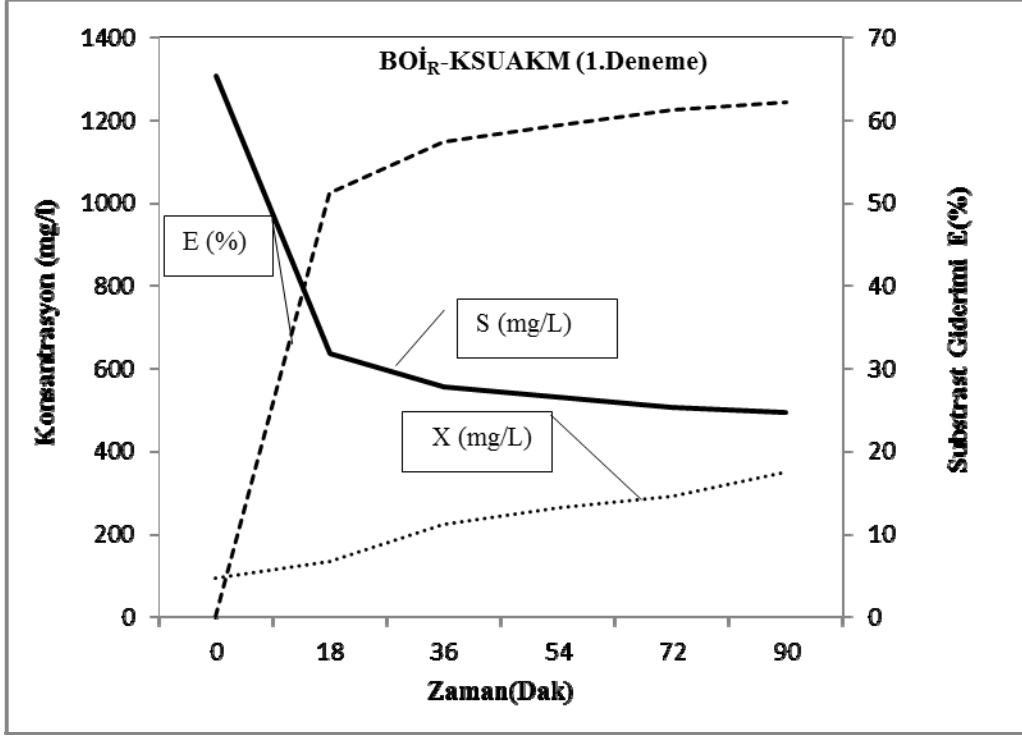
Şekil 80. Çıkış KSUAKM ve BOİ₅ giderim verimi (2. deneme)



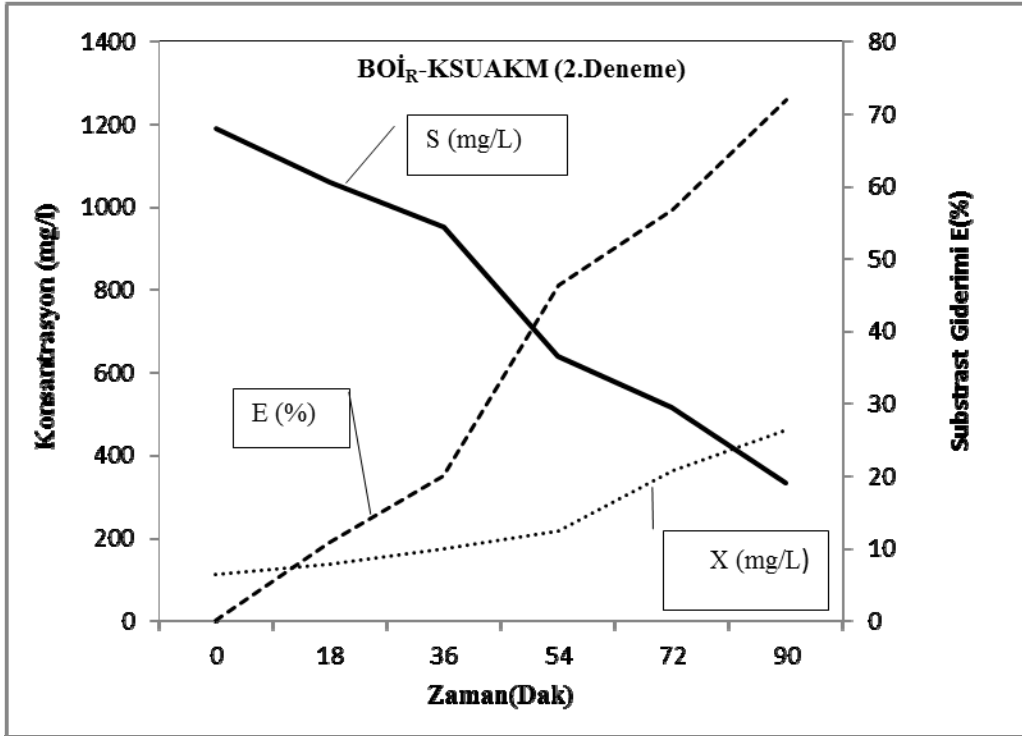
Şekil 81. Çıkış KSUAKM ve BOİ₅ giderim verimi (3. deneme)



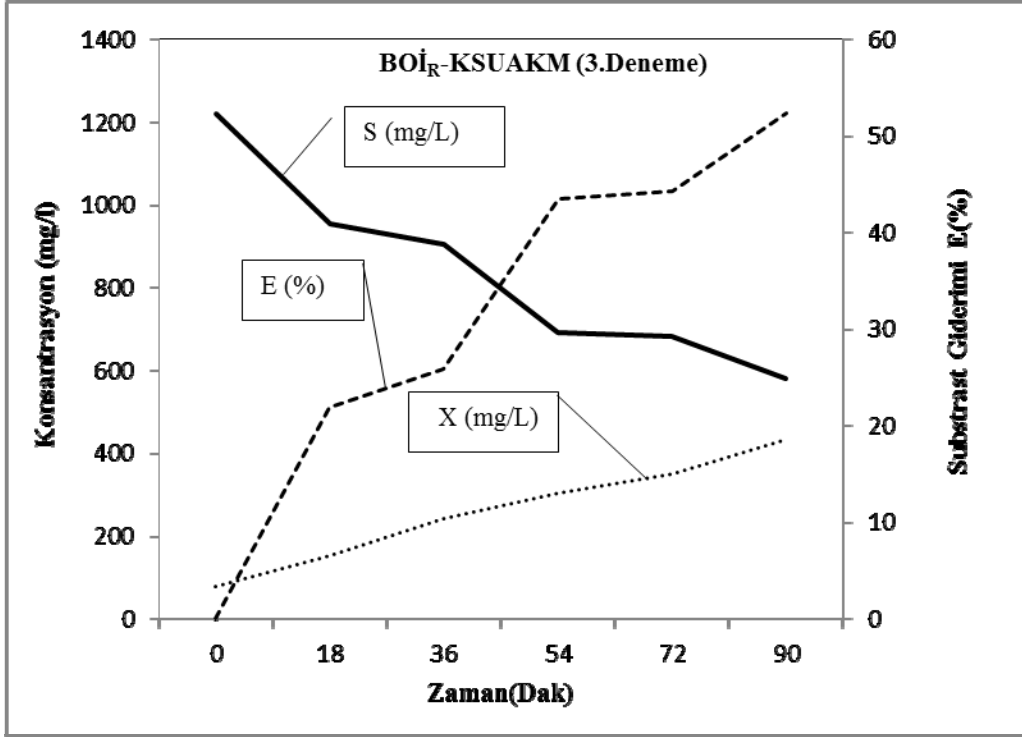
Şekil 82. Çıkış KSUAKM ve BOİ₅ giderim verimi (4. deneme)



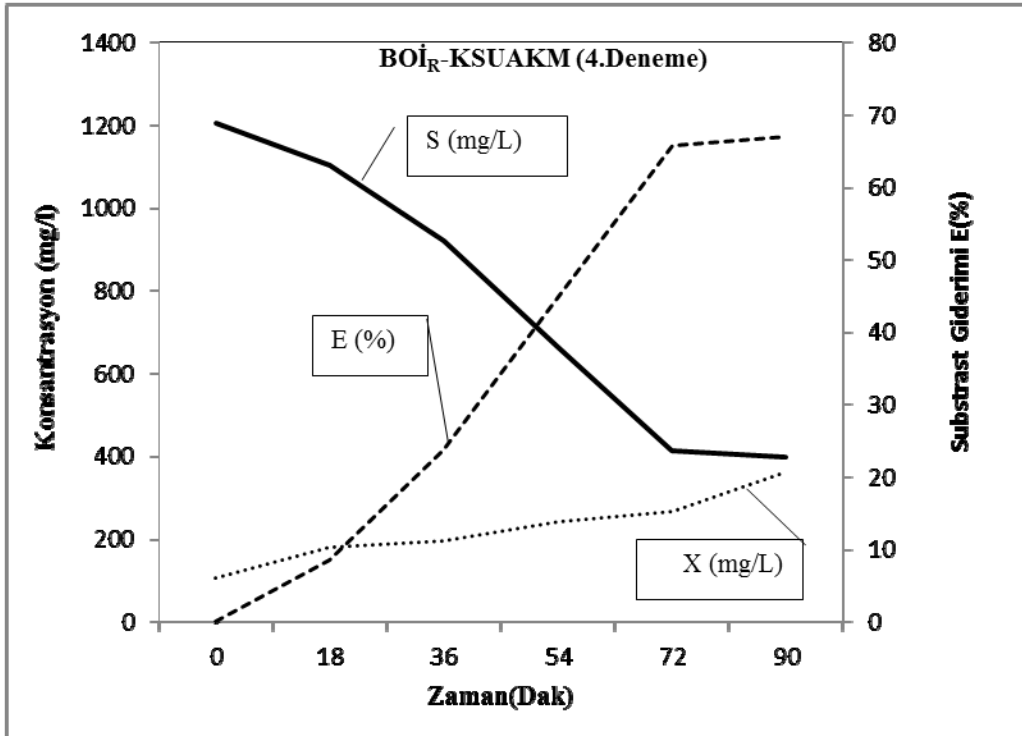
Şekil 83. Çıkış KSUAKM ve BOİ_R giderim verimi (1. deneme)



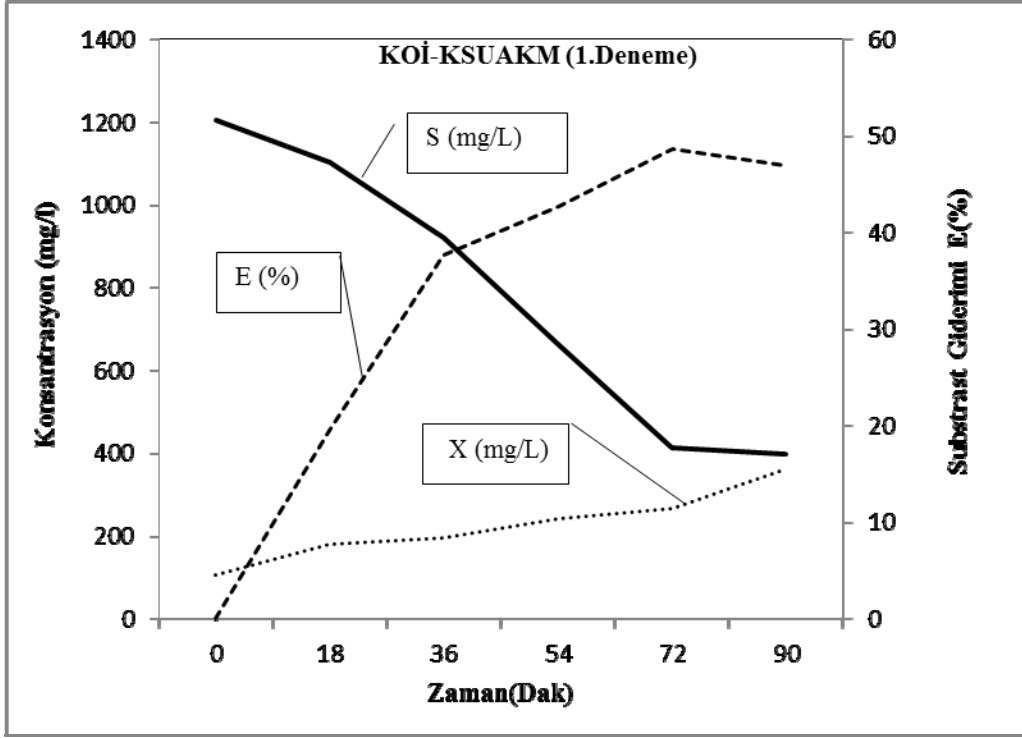
Şekil 84. Çıkış KSUAKM ve BOİ_R giderim verimi (2. deneme)



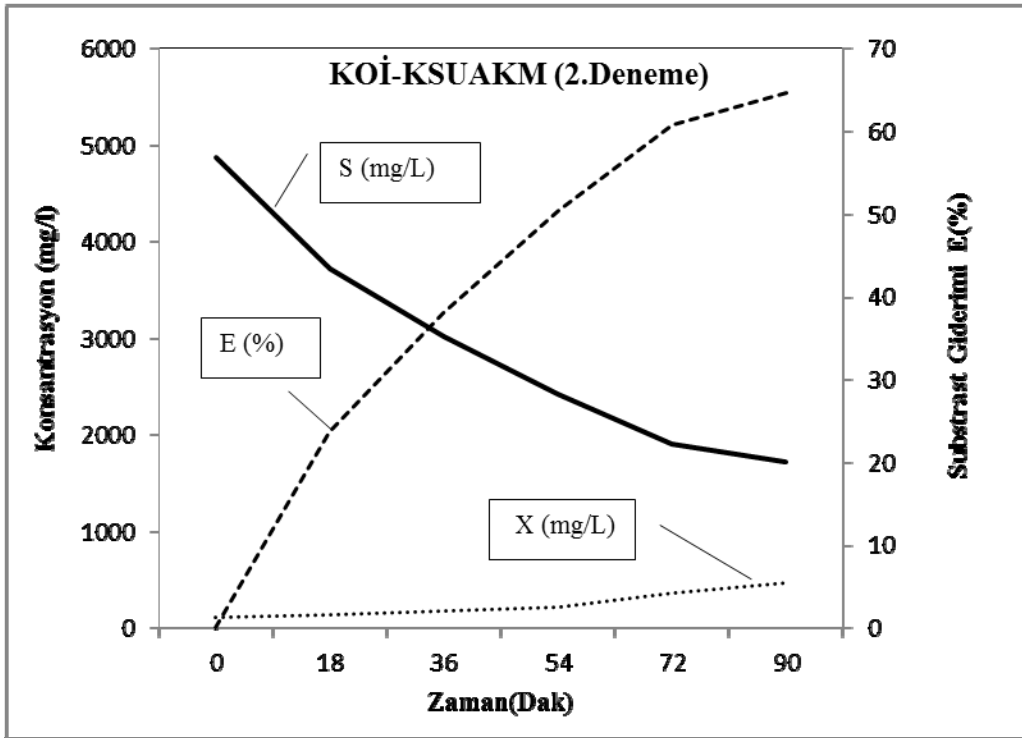
Şekil 85. Çıkış KSUAKM ve BOİ_R giderim verimi (3. deneme)



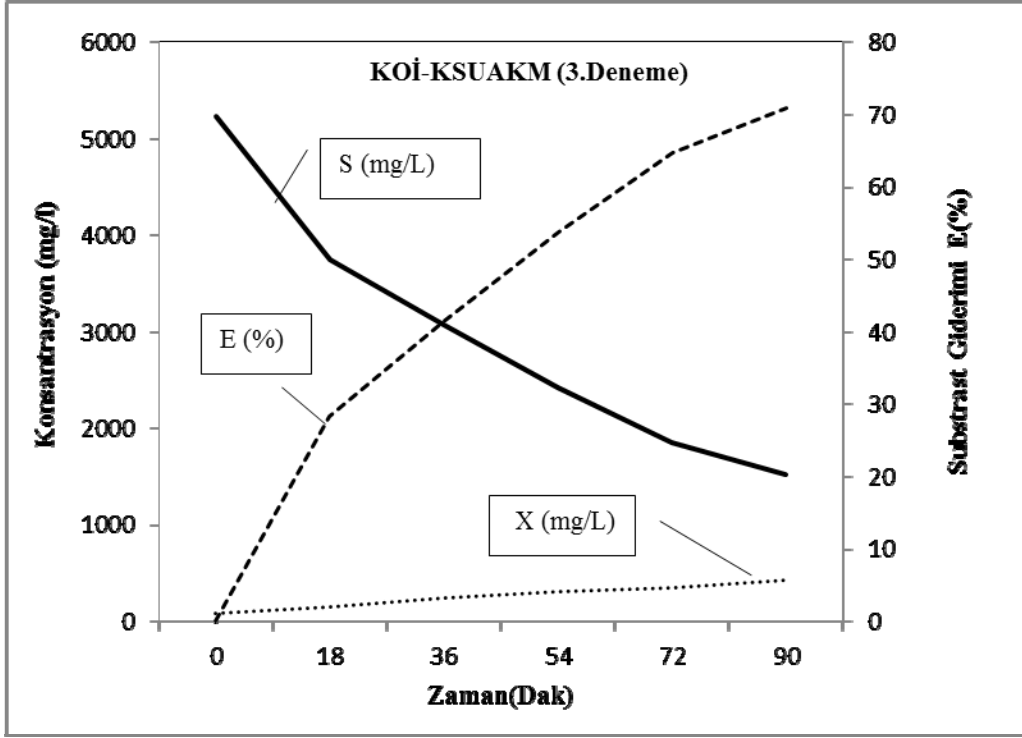
Şekil 86. Çıkış KSUAKM ve BOİ_R giderim verimi (4. deneme)



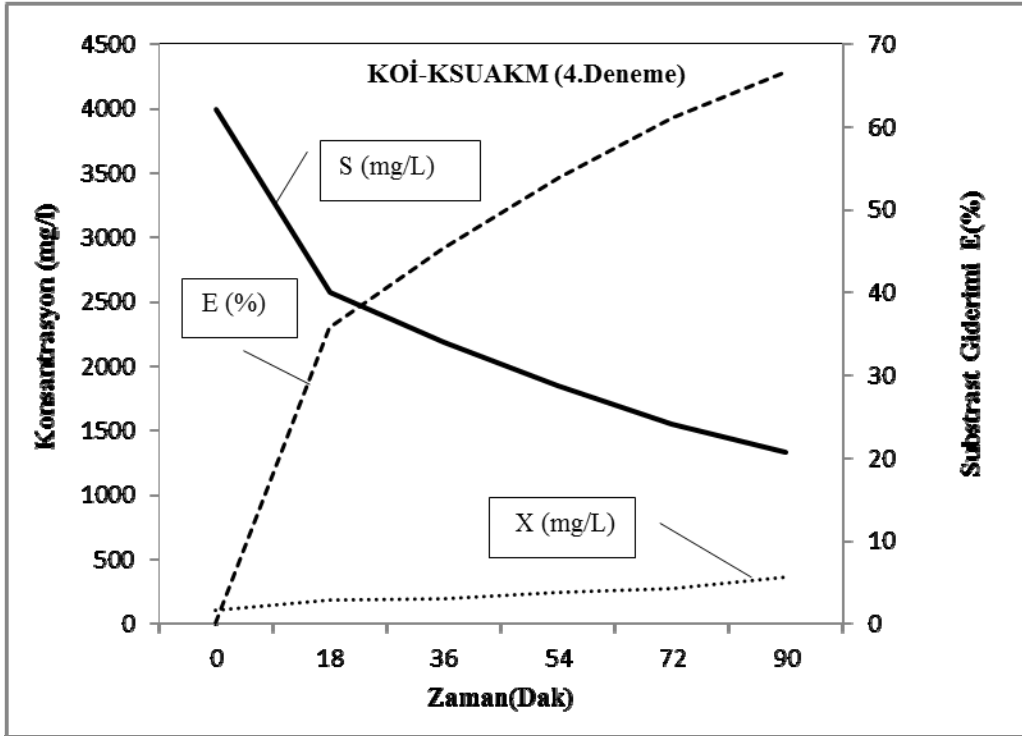
Şekil 87. Çıkış KSUAKM ve KOİ giderim verimi (1. deneme)



Şekil 88. Çıkış KSUAKM ve KOİ giderim verimi (2. deneme)



Şekil 89. Çıkış KSUAKM ve KOİ giderim verimi (3. deneme)



Şekil 90. Çıkış KSUAKM ve KOİ giderim verimi (4. deneme)

5. SONUÇLAR

Bu çalışma da seyrelme metodu ve respirometrik metot ile ölçülen BOI_5 değerlerinin ve buna bağlı kinetik katsayıların karşılaştırılması gerçekleştirilmiş ayrıca substrat olarak BOI_5 yerine KOI kullanıldığında karşılaştırmalı giderim verimleri ve kinetik katsayılar hesaplanmıştır. Çalışmada biyokütle olarak KSAKM ve KSUAKM' nin ayrı ayrı çözümü yapılmıştır. Çalışmaya ait sonuçlar aşağıda verilmektedir;

1. Üç farklı yöntem için yapılan denemelerde giderim verimleri % 46.88 ile % 73.36 arasında değişmiştir. Düşük aktif çamur konsantrasyonu ve hızlı reaktör yüklemesi nedeni ile sistemde beklenen yüksek verim elde edilememiştir. Dört denemenin ortalama değerlerine göre en yüksek giderim verimi seyrelme metodu ile % 69.23 olarak gerçekleşmiştir. En düşük giderim verimi ise ortalama değerlerine göre % 62.26 ile KOI ile yapılan hesaplamalarda gerçekleşmiştir.
2. Üç farklı yöntemle elde edilen değerler birbirleri ile istatistiksel olarak ilişkilendirildiklerinde seyrelme metoduyla BOI_5 ile KOI ölçümleri arasında $R^2=0.986$ değeriyle gerçekleşmiştir. En düşük ilişki $R^2=0.961$ ile respirometrik yöntemle ölçülen BOI_5 ile KOI arasında bulunmuştur. Tüm denemelerdeki doğrusal ilişkilere ait denklem katsayıları Tablo 2' de' gösterilmiştir.
3. Buna göre BOI_5-BOI_R ilişkisi en yüksek olan deneme 3. denemedir. BOI_5-KOI ilişkisi en yüksek olan deneme 4. denemedir. BOI_R-KOI ilişkisi en yüksek olan deneme 3.denemedir. Genel ortamalara bakıldığından en yüksek ilişki BOI_5-KOI arasında 0.986 düzeyinde olmuştur. En düşük ilişki düzeyi BOI_5-BOI_R için 1.denemede gerçekleşmiştir.
4. Üç farklı yönteme göre kinetik katsayılar dört deneme için ayrı ayrı hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Buna göre substrat kullanım hızı (k), tüm denemelerde beklenen sınır değerlerin çok üstünde çıkmış en uygun k değeri respirometrik yöntemde gerçekleşmiştir. Substrat kullanım hızının yüksekliği atıksudaki glikozun yüksekliği ile açıklanmıştır. Dört denemenin ortalamaları dikkate alındığında tipik değer aralığına en yakın çalışma seyrelme metoduyla mikroorganizma konsantrasyonu olarak KSAKM kullanılması durumunda $k=111.225 \text{ gün}^{-1}$ olarak

belirlenmiştir. Ancak 1. denemede elde edilen değerlerin çok yüksek olmasından dolayı dikkate alınmayarak diğer üç denemenin ortalamaları dikkate alındığında; respirometrik yöntemle BOI_5 ölçümlerinin KSAKM için uygulandığı durumda 42.63 gün^{-1} değeriyle tipik değerlere yakın sonuç elde edilmiştir. KSAKM için substrat kullanım hızları KSUAKM' ye göre daha düşük belirlenmiştir.

5. Michaelis-Mentes Sabiti (K_s) seyrelme metoduyla KSUAKM ölçümlerinde uygun aralıklarda belirlenirken, respirometrik yöntemle yapılan denemelerde K_s değerlerinde düşüş gözlenmiştir.
6. Mikroorganizma Ölüm Hızı Katsayısı (k_d) tüm denemelerde beklenen değerlerin üstünde çıkmıştır. Özellikle respirometrik yöntemde en yüksek değerlere ulaşmıştır. Mikroorganizma (X) konsantrasyonundaki ani azalma ile sistemde içsel solunumun meydana geldiği ve bu nedenle k_d değerinin yükseldiği tahmin edilmektedir.
7. Maksimum Üreme Hızı (Y) sadece respirometrik yöntemde tavsiye edilen değerler arasında olup diğer yöntemlerde düşük çıkmıştır.
8. Maksimum Üreme Hızı (μ_{max}) ölüm hızı katsayısına (k_d) bağlı olarak respirometrik yöntemde düşük çıkmış ve sınır değerlere yakın değerler olmuştur. Diğer yöntemlerde üreme hızları daha yüksektir.

6. KAYNAKLAR

- Akal, S., K., 2007. Glukozla Beslenen Kesikli Reaktörde Organik Yüklemenin Ayrışma Kinetiği ve Kalıcı Ürün Oluşumu Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alley, R., E., 2007. Water Quality Control Handbook, McGraw Hill, USA, 338 s.
- Anderson, B., C., 1989. Improvements in the Aerobic Digestion of Waste Activated Sludge Through Chemical Control of Mixed Lique pH: Pilot-Scale Investigations, PhD Thesis, The University of British Columbia, Canada.
- Arceivala, S., J., 2002. Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Editör, Balman, A., H. ve Balman, V., Tata McGraw-Hill Company, Yeni Delhi.
- Artan, N., 1988. Aktif Çamurda Çözünmüş Kalıcı Ürün Oluşumu Modeli, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- A.P.H.A, A.W.W.A ve W.E.F, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, USA.
- Benefield, L., D. ve Randall, C.,W., 1980. Biological Process Design for Wastewater Treatment, Prentice-Hall Inc, New Jersey.
- Berkün, M., 1974. Respirometric Measurement of Biochemical Oxygen Demand, PhD Thesis, University of Birmingham, Department of Civil Engineering, İngiltere.
- Berkün, M., 2006. Atıksu Arıtma ve Deniz Deşarjı Yapıları, Seçkin Yayın, Ankara.
- Berkün, M., 2009. Effects of Carbon Dioxide Deficiency and Metal Toxicity on Biological Oxygen Demand, Water and Environment Journal, 25, 1, 67-73.
- Bitton, G., 2005. Wastewater Microbiology, Editör, Mitchell R., John Wiley and Sons Inc., USA.
- Cech, J., S., Chudoba, J., ve Grau, P., 1984. Determination of Kinetic Constants of Activated Sludge Microorganisms Water Science & Technology, 17, 259-272.
- Chow, V., T., Eliassan, R. Ve Linsley, R. K., 1979. Wastewater Engineering, McGraw-Hill, New York.

- Chudoba, J., Nemeč, M. ve Nemečová, B., 1968. Residual Organic Matter in Activated Sludge Process Effluents II: Degradation of Saccharides and Fatty Acids Under Continuous Conditions, Sci. Pop. Inst. Chem. Technology, Prague, F13, 45-63.
- Dricks, K., Pind, P., F., 1999. Mosbaek, H. and Henze, M., Yield determination by respirometry-The Possible Influence of Storage under Aerobic Conditions in Activated Sludge, Water SA, 25, 1, 69-74.
- Eckenfelder, W., W., Goddman, J., B. ve Englande, A., J., 1972. Scale-up of Biological Wastewater Treatment Reactors, Advances in Biochemical Engineering, Editör, Ghose, T., K., Fiechter, A. ve Blakebrough, N., Springer-Verlag, Berlin, 1972.
- Eckenfelder, W., W., 1980. Principles of Water Quality Management, CBI Publishing Company Inc, Boston.
- Gerardi, M., H., 2002. Settleability Problems and Loss of Solids in the Activated Sludge Process, John Wiley and Sons Inc., Kanada.
- Grady, C., P., L., Daigger, G., T. ve Lim, H., C., 1999. Biological Wastewater Treatment, Marcel Dekker Inc., New York.
- Haydar, S. ve Aziz, J., A., 2009. Kinetic Coefficients for the Biological Treatment of Tannery Wastewater Using Activated Sludge Process, Pak. J. Engg & Appl. 5, 39-43.
- Helle, S., 1999. A Respirometric Investigation of the Activated Sludge treatment of BKME During Steady State and Transient Operating Conditions, PhD Thesis, The University of British Columbia, Kanada.
- Henze, M., Grady, C., Guyer., W. ve Arvin, E., 1995. Wasterwater Treatment Biological and Chemical Processes, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin.
- Henze, M., Gujer, W., Mino, T. ve Van Loosdrecht, M., 2000. Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report, 9, The International Water Association (IWA) Technical Report, Londra.
- İ.B, U.N.D.P, W.H.O, 1989. Atıksu Arıtma Tesisleri Proses-İşletme-Bakım El Kitabı, Ankara.
- Juang, D., F. ve Hwu, C., S., 2003. Agar-plated Bacteria Found in the Activated Sludge of Lab-Scale SBR and CFSTR Systems, Bioresource Technology, 89, 75-79.

- Kargı, F., 1995. Çevre Mühendisliğinde Bioprosesler, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayını, 234, İzmir.
- Kestioğlu, K., 2001. Atıksu Arıtımında Biyokimyasal Prosesler-Cilt I, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayını, 170, Bursa.
- Koers, A., 1967. Studies of the Control and Operation of the Aerobic Digestion Process Applied to Waste Activated Sludges at Low Temperatures, PhD Thesis, The University of British Columbia, Kanada.
- Makinia, J., ve Wells, S., A., 2000. A General Model of the Activated Sludge Reactor with Dispersive Flow-1. Model Development and Parameter Estimation, Water Research, 34, 16, 3987-3996.
- Mardani, S., Mirbagheri, A., Amin, M., M. ve Ghasemian, M., 2011. Determination of Biokinetic Coefficients for Activated Sludge Processes on Municipal Wastewater, Iran J. Environ. Health. Sci. Eng., 8, 1, 25-34.
- Metcalf ve Eddy, 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, McGraw- Hill Publishing, New York.
- Orhon, D. ve Artan, N., 1994. Modelling of Activated Sludge Systems, Technomic Publishinh Co. Inc., USA.
- Rozich, A.F. ve Gaudy, A.F., 1992. Design and Operation of Activated Sludge Processes Using Respirometry, Lewis Publishers, Michigan.
- Samsunlu, A., 2006. Atıksuların Arıtılması, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Sin, G. ve Gökçay, C., F., 1999. Evsel Atıksuların İleri Karakterizasyonu ve Biyokinetik Parametrelerin Belirlenmesi, 3. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Kasım, İzmir, Bildiriler Kitabı: 1-13.
- Soyupak, S., 1987. Biyolojik Arıtma ve Biyolojik Arıtma Sistemleri, ODTÜ Yayını, Ankara.
- Spellman, F., R., 2000. Spellman's Standard Handbook for Wastewater Operators, CRC Press, USA.
- Sundstrom, D., W. ve Klei, H., E., 1979. Wastewater Treatment, Prentice-Hall, New Jersey.

- Şengül, F. ve Türkman A., 1988. Su ve Atıksu Analizleri, TMMOB Çevre Müh. Odası Yayını, İzmir.
- Toprak, H., 2004. Atıksu Arıtma Sistemleri Tasarım Esasları Cilt II, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayını, 241, İzmir.
- Türker, M., 2005. Bioreaksiyon Mühendisliği, Su Vakfı Yayını, İstanbul, 2005
- Wang, L., K., Shamas, N., K. ve Hung, Y., T., 2009. Advanced Biological Treatment Processes, Humana Press, USA.
- W.E.F, 2008. Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants, Editör, Nelson, M., D., Volume I: Management and Support Systems, Water Environment Federation, USA.
- Wiesmann, U., Choi, I., S. ve Dombrowski, E., M., 2007, Fundamentals of Biological Wastewater Treatment, Wiley-VCH GmbH Co. Almanya.
- Williamson, K., J. ve Mc Carty, P., L., 1975. Rapid Measurement of Monod Half-Velocity Coefficients for Bacterial Kinetics, Biotechnology and Bioengineering, XVII, 915-924.
- W.P.C.F, 1991. Wastewater Treatment Plant Design, Water Pollution Control Federation, Manual Practice, 8, USA.
- Yetiş, Ü., 1988. Effect of Ni(II) and Cr(VI) on Activated Sludge, PhD Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Yetiş, Ü., Demirer, G., N. ve Gökçay, C., F., 1999. Effect of Chromium(VI) on the Biomass Yield of Activated Sludge, Enzyme and Microbial Technology, 25, 48-54.
- Young, J., C., 1976. Baumann, E. R., The Electrolytic Respirometer, Engineering Research Institute, ERI-76223, USA.
- Van Den Broeck, R., M., R., Van Impe, J., F., M. ve Smets, I., Y., M., 2009. Assessment of Activated Sludge Stability in Lab-Scale Experiments, Journal of Biotechnology, 141, 147-154.

7. EKLER

EK 1. Seyrelme Metodu İle BOİ Analizi

Yöntem

SW-5210-B (APHA, AWWA, WEF, 1999)

Kullanılan Cihazlar

HANNA HI 9146-10 (Şekil.4.b), Nüve En055 İnkübatör

Kullanılan Çözeltiler

Fosfat Tampon çözeltisi: 8.5 g KH_2PO_4 , 21.75 g K_2HPO_4 , 33.4 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ve 1.7 g NH_4Cl 500 ml saf suda çözülür ve 1 ml' ye seyreltilir. pH ayarlamaya bağlı olmaksızın 7.2 olmalıdır.

Magnezyum Sülfat Çözeltisi: 22.5 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ destile suda çözülür ve 1000 ml' ye seyreltilir.

Kalsiyum Klorür Çözeltisi: 27.5 g CaCl_2 destile suda çözülür ve 1000 ml' ye seyreltilir.

Ferri Klorür Çözeltisi: 0.25 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ destile suda çözülür ve 1000 ml' ye seyreltilir.

Mangan Sülfat Çözeltisi: 364 g $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ destile suda çözülür, filtre edilir ve 1000 ml' ye seyreltilir.

Alkali-İyodür-Azodür Çözeltisi: 500 g NaOH ve 135 g NaI destile suda çözünür ve 1000 ml'ye seyreltilir. 40 ml saf suda çözünmüş 10 g NaN_3 buna ilave edilir.

EK-1' in devamı

Nişasta Çözeltisi: 100 ml sıcak destile suda, 2 g analitik saflıkta çözünebilir, nişasta ve koruyucu olarak 0.2 g salisilik asit çözülür.

Sodyum Tiyosülfat Çözeltisi: 6.205 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ destile suda çözülür. 1.5 ml 6N NaOH ya da 0.4 g katı NaOH eklenir ve 100 ml' ye seyreltilir.

Konsantre Sülfirik Asit

Deneyin Yapılışı

Örnek (gerekli ise seyreltme oranları uygulanarak) BOİ şişesine konur. 1 ml MnSO_4 çözeltisi ve bunu takiben 1 ml alkali-iyodür-azodür çözeltisi ilave edilir. şişe birkaç defa alt-üst ederek karıştırılır. Yeterli miktarda çökelek olduğunda ve manganhidroksit çökeleğinin üzerindeki üst sıvı berraklaştığında çözeltiliye 1 ml derişik H_2SO_4 eklenir ve çökelek tamamen çözünene kadar şişe yine alt-üst edilir. Bundan 200 ml ölçülerek 0.0021 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ çözeltisi ile açık saman rengine kadar titre edilir. Birkaç damla nişasta çözeltisi eklenir ve oluşan renk kaybolana kadar titrasyona devam edilir. 200 ml örneğin titrasyonu için; 1 ml 0.0021 M $\text{Na}_2\text{S}_3\text{O}_2$ 1 mg çözünmüş O_2/L ' ye eşdeğerdir. Buradan örneğin başlangıç çözünmüş oksijen değeri belirlenir. Hazırlanan BOİ şişesinin bir eşi, 20 ± 1 °C' de beş gün boyunca inkübe edilir. Beş günlük inkübasyon periyodu sonunda final çözünmüş oksijen konsantrasyonu aynı yöntemle tayin edilir ve aşağıdaki formül yardımıyla BOİ hesaplanır;

$$BOİ_5(\text{mg} / \text{l}) = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

Burada;

D_1 : Başlangıç çözünmüş oksijen konsantrasyonu, mg/L

D_2 : Beş günlük inkübasyondan sonra çözünmüş oksijen konsantrasyonu, mg/L

P: Kullanılan örneğin yüzdesi

EK - 2. Respirometrik Yöntemi İle BOİ Analizi

Yöntem

SW-5210-D (APHA, AWWA, WEF, 1999)

Kullanılan Cihazlar

Lovibond Oxi-Direct Respirometre,

Deneyin Yapılışı

Bir behere atık su numunesi alınarak, pH ı kontrol edilir. pH nın 6.5-7.5 arasında olması gerekmektedir. Örneğin pH ı, yüksekse 1mol/l seyreltik H₂SO₄ eklenerek, düşükse 1mol/l NaOH eklenerek pH düşürülür yada yükseltilir. Numunenin nitrifikasyonunu önlemek için nitrifikasyon inhibitörü olarak ATH (allylthiourea) çözeltisi eklenir. Manyetik çubuğun yerleştirildiği şişeye örnek ilave edilir ve sızdırmaz contaya 3-4 damla KOH çözeltisi eklenerek şişenin ağzı sıkıca kapatılır. Cihaza yerleştirilerek cihaz çalıştırılır ve beş gün sonunda okuma değeri kaydedilir.

EK - 3. Spektrofotometrik Yöntemle KOİ Analizi

Yöntem

SW-5220-D (APHA, AWWA, WEF, 1999)

Kullanılan Cihazlar

Merck Pharo 100 Spektrofotometre, Merck TR420 Sindirme Reaktörü, Merck Hazır Kit,

Deneyin Yapılışı

Hazır kit küvetinin içine numune konularak kapağı sıkıca kapatılır. Hızlıca küvet içeriği karıştırılır. Küvet 120 dk için ayarlanmış reaktörde 148 °C de ısıtılır. İki saat sonra termoreaktörden sıcak küvet çıkarılır ve tüp rafında soğumaya bırakılır. 10 dakika beklenir ve hücre döndürerek karıştırılır ve oda sıcaklığında soğumayı tamamlaması için rafa koyun (soğuma süresi en az 30 dakika). Soğuduktan sonra spektrofotometrede örneğin ölçümü yapılır.

EK – 4. KSAKM Analizi**Yöntem**

SW-2540-D (APHA, AWWA, WEF, 1999)

Kullanılan Cihazlar

Spectrum Vakum Filtre Seti, Etüv

Deneyin Yapılışı

İyi karıştırılmış örnek sabit ağırlıklı cam-fiber filtreden süzülür ve arta kalan maddelerle birlikte tartılarak 103-105 °C da kurutulur. Su numunesinin, 0.45 µm gözenekli filtre kağıdından vakum pompası ile filtre edilir. Daha önce sabit tartıma getirilmiş filtre kağıdı üzerinde kalan maddelerle birlikte 103-105 °C da bir saat kurutulduktan sonra tekrar tartılır. Bu iki tartım arasındaki fark askıda katı madde konsantrasyonunu verir.

$$\text{mg/L; Askıda katı madde} = \frac{(A - B) \times 1000}{(\text{ml Numune hacmi})}$$

Burada;

A: Filtre ağırlığı + kurutulan madde (mg)

B: Filtre ağırlığı (mg)

EK -5. KSUAKM Analizi**Yöntem**

SW-2540-E (APHA, AWWA, WEF, 1999)

Kullanılan Cihazlar

Spectrum Vakum Filtre Seti, Naber 2804 Kül fırını

Deneyin Yapılışı

Toplam askıda katı deneyinden sonra filtre kağıdı ve içinde kalan maddeler bir kap içinde 15-20 dk süre ile 550 ± 50 °C da fırında tutulur ve kap ve içindekiler tekrar tartılır. Bu kısım organik maddenin bir ifadesi olarak kullanılır.

$$\text{mg/l; Uçucu askıda katı madde} = \frac{(B - C) \times 1000}{(\text{ml numune hacmi})}$$

Burada;

B: kap + yakmadan önce içindeki madde ağırlığı, mg

C: kap + yakmadan sonra içindeki madde ağırlığı, mg

ÖZGEÇMİŞ

Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR 1980 yılında Trabzon' da doğdu. 1997 yılında Trabzon Lisesinden mezun olarak 1998 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2004-2005 yılları arasında 1 yıllık İngilizce hazırlık döneminden sonra 2005 yılında mezun olduğu bölümde yüksek lisans öğrenimine başladı. 2007 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamlayarak aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Doktora öğrenimine başladı. Evli ve bir çocuk annesi olan Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR, İngilizce bilmektedir.