



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aktif çamur met. ile
biodegradasyon

Yüksek Lisans Tezi

Basri Demiryürek

YILDIZ UNIVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI
R 361

Kot : 53
Alındığı Yer : Fen Bil. Enst.
Tarih : 10/03/1989
Fatura :
Fiatı : 4000 TL
Ayniyat No : 1/3
Kayıt No : 45956
UDC : 54 378.242
Ek :



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ

D.B. No 44113

Bu çalışmayı yünstererek çalışma süresince maddi, manevi
teşvik ve ilgilerini gösteren sayın tez hocam Doç.Dr.
Süheyla UZMAN'a şükranlarımı arz ederim.

AKTİF ÇAMUR METODU İLE

BİODEGREDASYON

Gösterdikleri: Bu başkanı sayın
hocam Doç.Dr. Emin Çiğdem ve Doç.Dr. İsmail Anabilin
Dali Başkanı sayın Doç.Dr. Fikriye Fikriye'ye teşekkür
lerimi sunarım.

53

Ayrıca çalışmaları ve araştırmaları süresince
hocam ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.



YÜKSEK LİSANS TEZİ

BASRİ DEMİRYÜREK

Kimya Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Özet

Sayfa

1.1.	Giriş	1
1.2.	Aktif Enerji Sistemi	5
1.3.	Ekzotermik Reaksiyonlar ve Kinetik	8

Bu çalışmayı yöneterek çalışma süresince maddi,manevi teşvik ve ilgilerini gördüğüm sayın tez hocam Doç.Dr. Süheylâ UZMAN ' a şükranlarımı arzederim.

Gösterdikleri ilgiden dolayı Kimya Bölümü Başkanı sayın hocam Doç.Dr.Esin ÇURGUNLU ve Anorganik Kimya Anabilim Dalı Başkanı sayın hocam Doç.Şirin PAKSOY ' a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen hoca ve arkadaşlarıma da teşekkürü bir borç bilirim.

2.3.	Gereçler	46
2.4.	Yöntemler	49
2.4.1.	Fenol Analizi	50
2.4.2.	Kiyonin Analizi	52
3.1.	Sonuçlar ve Değerlendirme	58
3.1.1.	Grafikler için Açıklama	59
	Bibliyografya	74

İ Ç İ N D E K İ L E R



	Sayfa
Özet	
1.1. Giriş	1
1.2. Aktif Çamur Sistemi	6
1.3. Mikroorganizmalar ve Büyüme Kinetiği	8
1.3.1. Mikroorganizmalar	8
1.3.2. Genel Büyüme Kinetiği	11
1.3.2.1. Kesikli Reaktörde Büyüme Kinetiği	16
1.3.2.2. Sürekli Reaktörde Büyüme Kinetiği	25
1.4.1. Fenol Biodegradasyonu	33
1.4.2. Oksijen Transferi	36
1.4.2.1. Sularda Oksijen Transferi	36
1.4.2.2. Atıklarda (Aktif Çamur) Oksijen Transferi	39
2.1. Fenol Tayini	41
2.2. Deneysel Metod	44
2.3. Gereçler	46
2.4. Yöntemler	48
2.4.1. Fenol Analizi	48
2.4.2. Biyomas Analizi	50
3.1. Sonuçlar ve Değerlendirme	52
3.1.1. Grafikler İçin Açıklama	57
Bibliyografya	74

ÖZET

Arıtma tesislerinde arıtmanın temelini oluşturan mikroorganizmalar genellikle karbonhidratları, yağları, proteinleri beslenme maddesi olarak kolaylıkla tüketebilmektedirler. Ancak endüstriyel atıklarda bulunan ve inhibisyon etkisi gösteren kimyasal maddeler, biyolojik arıtmayı etkileyebildiği gibi tamamen durdurabilmektedir.

Bu konuda sorun yaratan başlıca kimyasal maddelerden biri de atık sularda bulunan fenoldür. Fenolün arıtma tesislerinde mikroorganizmalara engelleyici etkisi yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Fenolün bu olumsuz etkisine rağmen, mikroorganizmaları etkilemeyecek konsantrasyonlarda verildiği zaman kolaylıkla tüketilebildiği ve bir süre sonra mikroorganizmaların fenole adapte olduğu anlaşılmıştır.

Laboratuar koşullarında süreksiz (baç) reaktörde üretilen aktif çamur sistemine belirli konsantrasyonlarda fenol verilerek sistemin fenole adapte olmaları sağlanmıştır. Fenole adapte olan mikroorganizmaların artan fenol konsantrasyonuna rağmen etkilenmedikleri görülmüştür. Fenolün biodegradasyonunda en önemli faktörün biyomas konsantrasyonu yanında çözünmüş oksijen konsantrasyonu ve dolayısı ile havalandırma olduğu yapılan bu çalışmalarla da kanıtlanmıştır.

Yeterli havalandırmanın bulunduğu bir aktif çamur sisteminde mikroorganizmalar fenole adapte olduktan sonra fenol miktarının arttırılması ve hatta sürekli olarak verilmesinin mikroorganizmaları etkilemediği ve rahatlıkla tüketildiği görülmüştür.

ABSTRACT

The microorganisms which constitute the fundamental of treatment plants can use up carbohydrates, fats and proteins easily as substrates. But, inhibitory chemical substances present in industrial wastes can effect or even hinder biological degradation. One of such chemicals is phenol which can be present in waste waters. Its inhibitory effect on microorganisms in treatment plants has been demonstrated with various experiments.

In spite of its inhibitory effect, when present in low concentrations phenol can be easily degraded, and in time, microorganisms can be adapted to phenol.

In this work, phenol has been fed to an active sludge system grown in a batch reactor in the laboratory, and the system has been adapted to phenol. It has been observed that increasing phenol concentrations has not negatively effected the adapted microorganisms. The work has also shown that in the biodegradation of phenol, in addition to the biomass concentration another very important parameter is the dissolved oxygen concentration, and hence the aeration of the system.

In an active sludge system with sufficient aeration, after the adaptation of microorganisms to phenol, phenol concentration in the inlet feed can be increased and phenol can be even fed continuously without inhibiting the biodegradation.

1.1.

GİRİŞ

İnsan milyonlarca yıl önce yeni bir canlı olarak yeryüzüne çıkışından beri çevresini değiştirmektedir. 20. yüzyılın bilhassa son yarısında hızla artan nüfus, teknolojik hamleler, ekonomik alandaki gelişmeler ve sanayileşme insanlığının kendi çevresinde bir takım tereddütler, endişeler doğurmaktadır. Sanayinin hızlanması ve tabii kaynakların insanlığın arzu ve ihtiyaçlarına uygun hale getirilmesi beşeriyete yeni sorunlar yaratmaktadır.

Kentlerde ve endüstride kullanıldıktan sonra atılan suların tümü için "atık su" deyiimi kullanılmaktadır. Çağımızda kentler içinde yada yakın çevrelerinde kurulmuş olan özellikle kimya, besin, tekstil, kâğıt, deri endüstrisi tesislerinde oluşan atık sular, kentsel atıkların ve kanalizasyon sularının yanında deniz, göl ve akarsu gibi yüzeysel suları kirleten en önemli kaynaklar haline gelmiştir.

Şüphesiz ki kirletmek kolay ve ucuzdur, arıtmak ise güç ve pahalıdır. Bu sebeple doğayı keyfi olarak kirletmekten kaçınılmalıdır.

Atık suların Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik yönden kirlilik özellikleri ile bunlara neden olan genel kaynakları (Tablo 1.1) şu şekilde sıralayabiliriz./1/

Tablo 1.1 Kirleticil Kaynakları

KİRLİLİK

KİRLETİCİ KAYNAKLAR

Fiziksel

- | | |
|-------------------|---------------------------------------|
| 1-Renk | Kentsel, endüstri ve organik maddeler |
| 2-Koku | Doğal organik maddelerin ayrışması |
| 3-Sıcaklık | Özellikle endüstri ve termal |
| 4-Katı tanecikler | Kentsel, endüstri ve toprak erozyonu |

Kimyasal

- | | |
|--------------------|---|
| 1-Karbonhidratlar | Kentsel ve endüstri |
| 2-Yağlar, petrol | Kentsel, endüstri ve petrol tankerleri |
| 3-Fenoller | Petrol, kömür ve demir çelik endüstrisi |
| 4-Proteinler | Kentsel ve endüstri |
| 5-Deterjanlar | Kentsel ve endüstri |
| 6-Klorür | Kentsel, endüstri ve topraktan |
| 7-Azot | Kentsel, endüstri ve tarımdan |
| 8-Fosfor | Kentsel, endüstri ve tarımdan |
| 9-Kükürt | Kentsel ve endüstri |
| 10-Hidrojen sülfür | Kentsel ve endüstri |
| 11-Metan | Kentsel atıkların havasız bozunması |
| 12-Ağır metaller | Endüstri |
| 13-pH | Kentsel ve endüstri |

Biyolojik

- | | |
|-------------|---------------------------------------|
| 1-Hayvansal | Su arıtma tesisleri ve açıktaki sular |
| 2-Bitkisel | Su arıtma tesisleri ve açıktaki sular |
| 3-Protista | Kentsel ve su arıtma tesisleri |
| 4-Virüsler | Kentsel atıklar |

Tablo 1.1 Kirletici kaynakları

Organik kimya endüstrisi kullanıldığı hammaddeler ve oluşturduğu ürünler yönünden çok farklılıklar gösterir. Çevre korunması açısından, bu atık sular aşağıdaki yönlerden incelenir./4/

Atıkların,

- 1- Aerobik ortamda biyolojik yollarla ayrışma sonucu gereksinme duydukları biyokimyasal oksijen ihtiyacı(BOİ)
- 2- Atıkların değişen oranda biyolojik ayrışma ve adsorpsiyon özellikleri gösteren çeşitli organik madde içermelerinden dolayı yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı(KOI)
- 3- Yüksek oranda çözünmüş toplam katı madde içeriği(TOK)
- 4- Biyolojik tasfiye için önleyici olan toksik maddeler
- 5- Atık miktarları ve özelliklerinin değişiklik göstermesi
- 6- Korrozyon, pH değişikliği ve bazı metal iyonlarının arıtma sistemine verdikleri zararlar
- 7- Kullanılan katalizörler nedeniyle atıkların ağır metaller içermesi

Atıkların özelliklerinin doğru değerlendirilmesi sonucu olarak, organik atıkların büyük bir çoğunluğu biyolojik yoldan arıtılabilir. Arıtılmadan önce alınması gereken en önemli önlem, atıkların aşırı değişiklik gösteren özelliklerinin giderilmesidir. Bu önlem, atıkların karıştırılarak bu aşırı özelliklerinden seyreltilme yoluyla gidermek olabilir./4/

Fenol bileşiği(C_6H_5OH); Demir çelik, kömür ve petrokimya gibi endüstri yan ürünü ve katı yakıtların kimyasal işlenmesi prosesi'nde değişen parametrelere göre atıklar-

da değişik miktarlarda bulunur. Atık sularda bulunan fenol bileşiiği alıcı sular üzerinde bir çok olumsuz etki yapar. Sulara değişik tat ve koku veren fenol bileşiiğinin mukoza üzerinde tahriş edici etkisi vardır. Vücutta birikerek solunum yollarını, sindirim organlarını etkiler. Kan yapısını bozar, deride absorbe olarak rengini bozar. /16/ Atık sularda bulunmasına izin verilen en yüksek fenol miktarı 5 mg/lt olup, konsantrasyonu 1 mg/lt 'yi geçtiğinde balık türlerine zehirli etki yapar. İçme sularında 0,005 mg/lt konsantrasyonu bile, fenol klorla klorofenol'ü oluşturacağından bu suların kullanılmasını engeller. /4/ Atık sularda bulunan fenolün, alıcı sulardaki çözünmüş oksijen miktarını azaltması, balıkların sinir sistemine toksik etki yaparak öldürmesi, yada balıkların kaçmaları, ve balıkların yiyecek maddesi olarak kullandıkları organizmaların ölümleri nedeniyle vereceği zararları ortadan kaldırmak için fenol içeren atık suların alıcı sulara verilmeden önce arıtılmaları gerekir.

Biyolojik arıtma sistemleri:

1- Aktif Çamur Sistemi (İleride açıklanmıştır)

2- Havalandırmalı Oksidasyon Havuzları-Oksidasyon Lagonları
Atık suların havalandırmak üzere bırakıldığı geniş havuzlardır. Bu havuzlarda atıklardaki kirleticiler, mikroorganizmalar tarafından doğal olarak oksidlenmeye uğratılırlar.

3- Damlatmalı Filtreler

Dairesel yada dikdörtgen kesitli yataklardan oluşur. Kum filtrelerinin geliştirilmiş şeklidir. Filtre yatağı çakıl,

taş parçaları, kok, klinker yada belirli boyutlarda polimer tanecikler gibi maddelerden doldurulmuştur. Atık su filtrenin üstünden homojen bir şekilde gönderilir. Tabandan gerekli hava gönderilir. Filtre içindeki parçacıklar üzerinde mikroorganizmalar üreyerek film tabakası oluştururlar. Filtreden geçerek arıtılan sular bir boşaltma sistemi ile alınır.

4- Biyodisk Sistemi

Bu sistemde daha önceki sistemlerde olduğu gibi bir karıştırma yada arıtılacak suyun hareketi gerekmemektedir. Diskler üzerinde film oluşturmuş mikroorganizmalar tarafından disklerin hareketi ile atık su arıtılmaktadır.

1.2.

AKTİF ÇAMUR SİSTEMİ

1914 yılında İngiltere 'de Ardern ve Lockett tarafından/2/ sürekli,ideal karıştırırmalı ve geri dönüşümlü kültürlleme sistemine göre işleyen ve doğal biyolojik yöntemlere kıyasla daha etken arıtma sistemleri olan,hızlı arıtma gücü, az yer kaplaması ve pis koku oluşumunun kontrol edilebilmesi nedeniyle özellikle büyük kentlerde ve yoğun endüstri bölgelerinde yaygın uygulama alanı bulan Aktif Çamur Yöntemi geliştirildi.(Şekil 1.1)

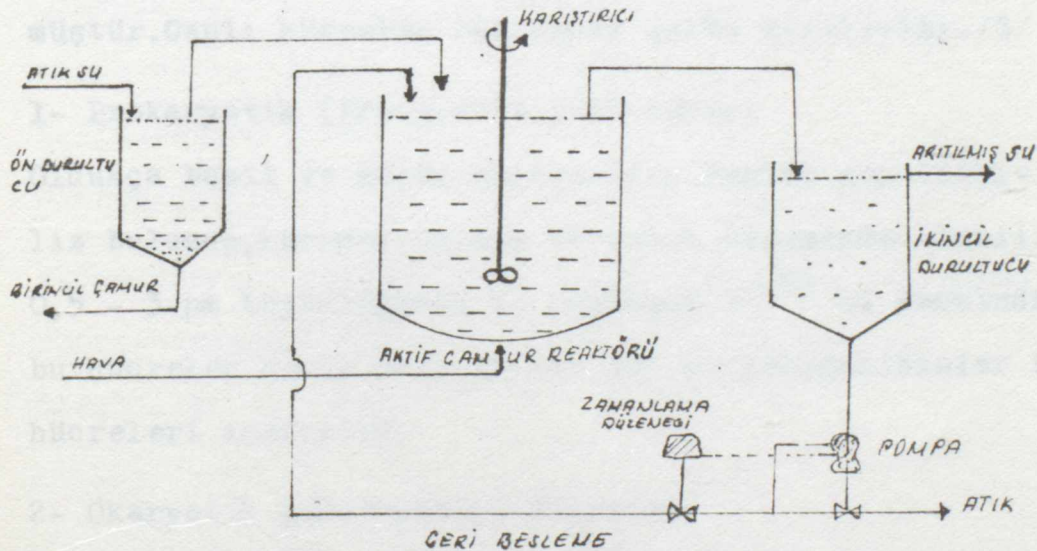
Günümüz teknolojisiyle daha da geliştirilen bu yöntem çok çeşitli atık sulara uygulanabilmesi ve yüksek verim sağlaması nedeniyle çok kullanılmaktadır.

Aktif çamur yönteminde esas; Organik maddeler içeren atık sürekli olarak havalandırmalı bir reaktöre gönderilmesi ve burada mikroorganizmalar topluluğunun etkisi ile arıtılmasıdır.Reaktörde üreyen mikroorganizmalar topluluğu, aktif çamur reaktörünün çıkışında bulunan bir durultucuda bekletilerek çöktürülür ve bu aktif çamurun bir kısmı pompa ile yeniden arıtma reaktörüne gönderilir.

Aktif çamur tesislerine genellikle bir ön durultucu eklenerek atık suda bulunan asılı katılar burada çöktürülerek ayrılır.Ön durultucuda asılı katı maddelerin %50-80 'i kadarı ile biyolojik kirleticilerin %40 'ı arıtılmış olur/3/ Aktif çamur reaktörüne hava bir hava pompası ile verilir. Ve ideal karıştırırmalı bir havalandırma tankı gibi çalışması sağlanır.Reaktörün çıkışındaki ikinci durultucudan alınmış suda mikroorganizmalar topluluğu hiç kalmamalıdır.

Kimi zaman ikinci durultucudan gelen sular bir havuzda toplanır. Bu havuzlarda balık yetiştirilerek atık su tesisinden çıkan su ile gelebilecek mikroorganizmalar ve belirli miktarda arıtılmadan kalabilen organik çözünmüş maddeler ile biyolojik olarak ayrıştırılmamış bileşiklerin balıklar tarafından tüketilmesi sağlanır. Balık havuzlarından alınan sular klorlanarak kullanılır. Kimi özel hallerde de atık su tesislerinden çıkan sular osmos, ters osmos, elektroliz vb. gibi fizikokimyasal yöntemlerle daha ileri bir arıtmaya uğratılırlar. /1/

Aktif çamur reaktörleri tek yada çok kademelidirler. Bu reaktörler oksidasyon (havalandırma) tankları gibi dikdörtgen kare yada dairesel biçimde olabilirler.



Şekil 1.1 Aktif Çamur Sistemi

1.3.

MİKROORGANİZMALAR ve BÜYÜME KİNETİĞİ

1.3.1

MİKROORGANİZMALAR

Normal gözle görülmeyen mikroskopik yapıdaki canlı organizmalara Mikroorganizma ve bunların faaliyetleri ile ilgilenen bilim dalına Mikrobiyoloji denir.

Son yıllarda geliştirilen elektron mikroskopu yardımıyla bir çok mikroorganizmaların basit ve küçük hücreler olduğu anlaşılmış ancak, yaygın ve çok yönlü araştırmalara karşın hücre yapıları ile fizyolojik ve biyokimyasal reaksiyonlarının tümü bugüne kadar tam olarak anlaşılamamıştır. Hücre üzerinde yapılan çalışmalarda, tüm canlıların temel biriminin hücre olduğu ve bunların sayılarının, canlının türüne bağlı olarak milyarlara kadar değişebildiği görülmüştür. Canlı hücreler iki temel gruba ayrılırlar./5/

1- Prokaryotik (Procaryotic) Hücreler:

Oldukça basit ve küçük hücrelerdir. Bunlar genellikle yalnız bulunup, küresel, spiral ve çubuk biçiminde olabilirler. 0,5 - 3 μ m büyüklüğünde ve yaklaşık 10^{-12} ml hacminde olan bu hücreler hızla ürerler. Bir çok mikroorganizmalar bu tür hücreleri içerirler.

2- Ökaryotik (Eucaryotic) Hücreler:

Daha çoğunlukta olan bu hücreler genellikle prokaryotik hücrelerden 10^3 - 10^4 kez daha büyüktürler. Yüksek canlıların hücreleri ile tek hücreli mikroorganizmaların çoğu bu



tür hücreleri içerir.

Kullandıkları besin yönünden de mikroorganizmalar iki gruba ayrılırlar.

1- Ototroflar (Autotrophs):

Karbon (C) kaynağı olarak CO_2 kullanırlar. Enerji kaynağı olarak da güneş ışığını (Fotoototroflar) ve inorganik bileşiklerin oksidasyonundan elde edilen enerjiyi (Kemoototroflar) kullanırlar.

2- Heterotroflar (Heterotrophs):

Hem enerji kaynağı olarak hem de büyümede yapı taşı olarak organik karbon kullanırlar. Mikroorganizmaların çoğu heterotroflardır. Bunlar enerji kaynağı veya yapı taşı olarak organik karbon kullandıkları zaman iki temel proses oluştururlar.

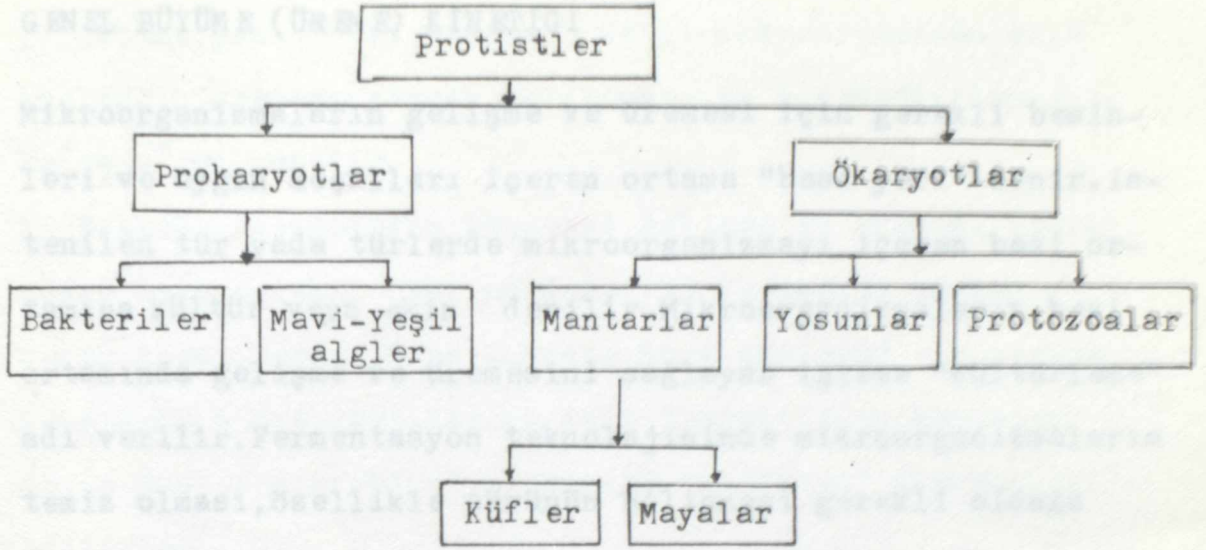
a- Anabolik prosesler:

Organik karbon bileşiği parçalandıktan sonra hücre oluşumunda kullanılır.

b- Katabolik prosesler:

Mikroorganizmalar substratı parçalayıp enerji oluştururlar.

Fermentasyon ve atık suların arıtılmasında rol oynayan mikroorganizmalar (Protist), aşağıdaki şekle göre sınıflandırılırlar./5/ (Şekil 1.2)



Şekil 1.2 Protistlerin sınıflandırılması

Mikrobiyel Büyüme Şartları

1- Ortama,yani "besi yerine" canlı mikroorganizmaların başlangıç maddesi olarak katılması; Bu işleme"aşılama"yada"ekim"adı verilir.

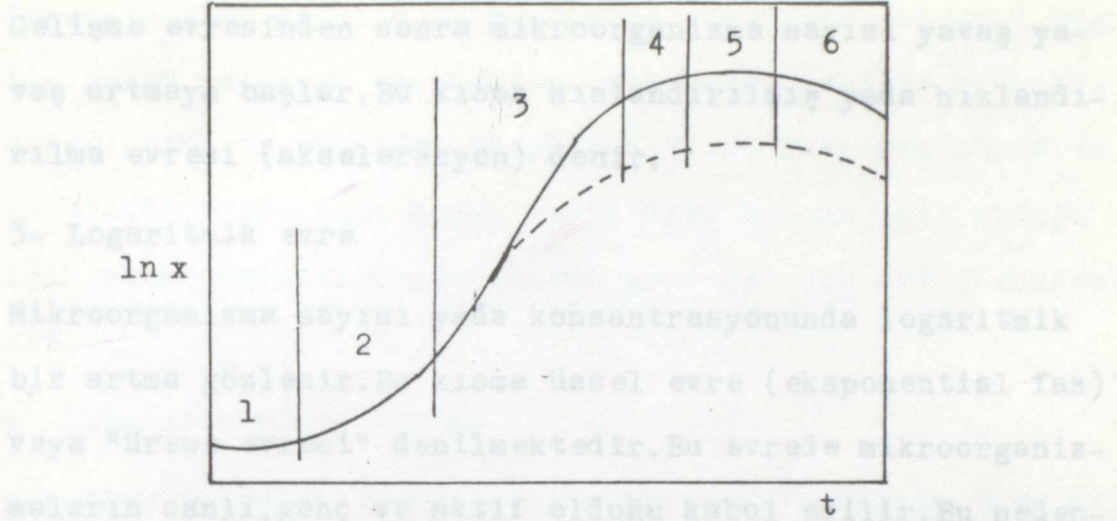
2- Mikroorganizmaların yaşaması,gelişme ve üremesi (çoğalması) için gerekli besi maddelerini ve enerji kaynağını içeren "besi yerinin" bulunması; Hava oksijeni ile karbon kaynağına mikroorganizmalar için "vazgeçilmez besinler" denir.Bunlar mikrobiyal kinetikte "Substrat" olarak kabul edilirler.

3- Besi ortamında,mikroorganizmaların büyümeleri için gerekli temel beslenme maddelerinin bulunması; Belirli oranda metal iyonları ile iz elementler gerekir.Bunun yanı sıra büyümeyi engelleyici maddelerin (inhibitörlerin) bulunmaması gerekir.

4- Besi ortamında; Optimum pH,sıcaklık,basınç vb. gibi mikroorganizmalar için en uygun koşulların oluşturulması gerekir.

Mikroorganizmaların yukarıda belirtilen şartlar altında belirli substrat konsantrasyonunda gelişme ve üremeleri aşağıda şekilde görüldüğü gibi çeşitli evrelerden geçerek olur./6/ (Şekil 1.3)

2- Hızlandırılma (akselerasyon) evresi



Şekil 1.3 Mikroorganizmaların üreme evreleri

Düz çizgi ideal hali, noktalı çizgi gerçekte olan hali gösterir

1- Gelişme yada gecikme evresi (lag fazı)

2- Hızlandırılma (akselerasyon) yada geçiş evresi

3- Logaritmik evre

4- Duraklama evresi

5- Sabit evre

6- Ölüm yada, göçüş evresi

1- Gelişme evresi (lag fazı)

Belirli besi ortamına ekilen mikroorganizmalar yeni ortama uyum (adaptasyon) gösterip çoğalmaya başlayıncaya kadar belirli bir süre geçer. Bu döneme latent (gizli) dönem de denir. Hücre sayısında hemen hemen hiç bir artış göstermez, hatta bazen çok az bir azalma da görülebilir.

2- Hızlandırılma (akselerasyon) evresi

Gelişme evresinden sonra mikroorganizma sayısı yavaş yavaş artmaya başlar. Bu kısma hızlandırılmış yada hızlandırılma evresi (akselerasyon) denir.

3- Logaritmik evre

Mikroorganizma sayısı yada konsantrasyonunda logaritmik bir artma gözlenir. Bu kısma üssel evre (eksponential faz) veya "üreme evresi" denilmektedir. Bu evrede mikroorganizmaların canlı, genç ve aktif olduğu kabul edilir. Bu nedenle mikroorganizmaların ölümü yok sayılabileceğinden kinetik bağıntılarda bu etki göz önüne alınmaz. Büyümenin üssel olarak artması nedeniyle kesikli (bac) reaktördeki besinler giderek azalır. Ayrıca ortamda inhibe edici ürünlerde oluşabileceği için mikroorganizmaların ideal ve maksimum konsantrasyonuna erişilemiyebilir ve şekilde noktalı eğri ile gösterilen hali gerçekleşir. Kesiksiz kültürlemede, ortama sürekli taze besin verildiği ve oluşan ürünler de ortamdan uzaklaştırıldığı zaman ideal olarak gösterilen logaritmik evreye varılabilir.

4- Duraklama evresi

Logaritmik evreden sonra substratın giderek azalması ve mikroorganizmaların yaşlanarak ölüm olayının belirginleşmesi nedeniyle çoğalmada yavaşlama yani logaritmik evreye kıyasla üreme hızında azalma gözlenir. Bu evreye "duraklama evresi" denir.

5- Sabit evre

Süreksiz yani kesikli kültürlemede duraklama evresini "Sabit evre" izler. Bu evrede kimi mikroorganizmalar ürer, kimileri ölür ve bazıları da yaşamalarını üremeden sürdürür. Bu evrede üreme hızı hemen hemen ölüm hızına eşit olduğu için mikroorganizmalarda zamana göre net bir artış gözlenmez.

6- Ölüm yada göçüş evresi

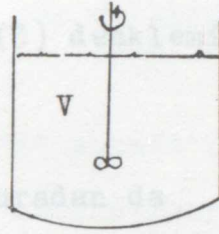
Şekilden de anlaşılacağı gibi mikroorganizmaların ölüm hızları arttığı için zamanla konsantrasyonda azalma gözlenir. Bu evreye ölüm, azalma yada göçüş evresi denilmektedir.

Atık suların arıtılmasında mikroorganizmaların büyüme evrelerinin logaritmik büyüme evresi en ilgi çeken bölümüdür.

1.3.2.1.

Kesikli (bac) reaktörde büyüme kinetiği

Bu tür reaktörler genellikle basit bir tepkime kabı yada tepkime tankından oluşmaktadır. Reaksiyona girecek maddeler ve katalizatör bu kabın içine konularak istenilen oranda ürün oluşuncaya kadar uygun koşullarda iyice karıştırılır. (Şekil 1.4)



Şekil 1.4 Kesikli (bac) reaktör

Kültür ortamında, "dt" gibi belirli ve küçük bir zaman aralığındaki mikroorganizma (biyomas) artışı "dx", ortamdaki mikroorganizma sayısı "x" ile orantılıdır.

Bu tanımlama aşağıdaki matematiksel bağıntılarla gösterilebilir. /15/

$$r_x = k \cdot x \quad (1)$$

veya,

$$\frac{dx}{dt} = k \cdot x, \text{ integrali alınır}$$

$$\int \frac{dx}{x} = \int k \cdot dt \quad (2)$$

$$\ln \cdot x = k \cdot t + c \quad (3)$$

burada;

r_x : x 'in büyüme hızı (gr/lt-saat)

k : hız sabiti (1/saat)

x : mikroorganizmaların sayısı (gr/lt)

$t = 0$ iken,

$x = x_0$ olsun. (3) denklemi

$$\ln.x_0 = k(0) + C$$

$$\ln.x_0 = C \quad (4)$$

ve bulunan bu değer (3) denkleminde yerine yazılırsa

$$\ln.x = k.t + \ln.x_0$$

$$\ln \frac{x}{x_0} = k.t \quad \text{buradan da}$$

$$\frac{x}{x_0} = e^{k.t} \quad \text{ve dolayısıyla}$$

$$x = x_0 \cdot e^{k.t} \quad (5)$$

şeklinde mikroorganizmaların logaritmik evrede üremesini gösteren bağıntı elde edilir.

1- Üreme hızı

Üreme kinetiğinde mikroorganizma sayısı yerine mikroorganizma konsantrasyonu alınır, üreme hızı

$$\frac{dx}{dt} = \mu \cdot x, \quad \mu = \frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{dt} \quad (6)$$

denklemi ile ifade edilir.

Bu denklemde;

x : Mikroorganizmaların konsantrasyonu (hücre kuru ağırlık/lt)

t : Zaman (saat)

μ : Özgül büyüme hızı (gr/lt-saat)

denklem (6) ,

$$\int \frac{dx}{x} = \mu \int dt \quad (7)$$

şeklinde yazarak integre edilirse

$$\ln.x = \ln.x_0 + \mu.t \quad (8)$$

yada

$$\log.x = \log.x_0 + \frac{\mu}{2,303} .t \quad (9)$$

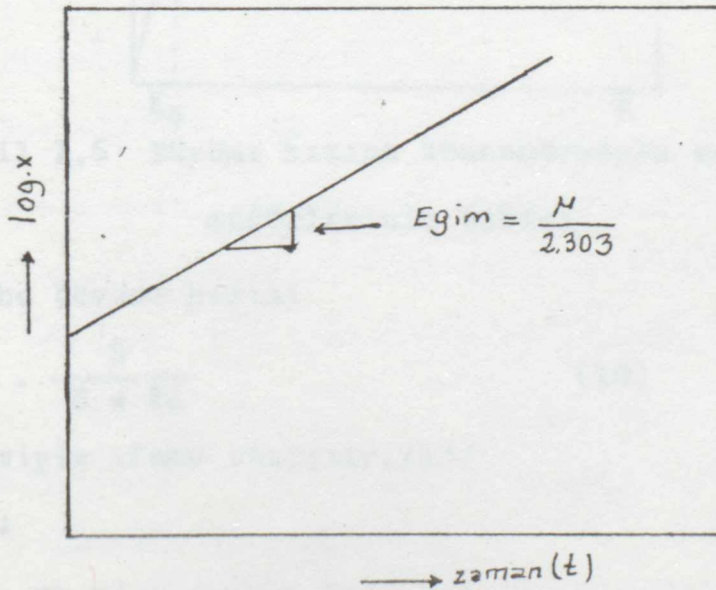
bağıntıları elde edilir.

burada;

x_0 :Başlangıçta kültür ortamına ekilen biyomas konsantrasyonu (gr/lt)

x :Her hangi bir "t" anında kültür ortamında bulunan mikroorganizma konsantrasyonu (gr/lt)

Yukarıdaki eşitlikte $\log.x$ ile t arasında çizilen grafikten elde edilecek doğrunun eğiminden μ değeri bulunur./6/ (şekil 1.5)

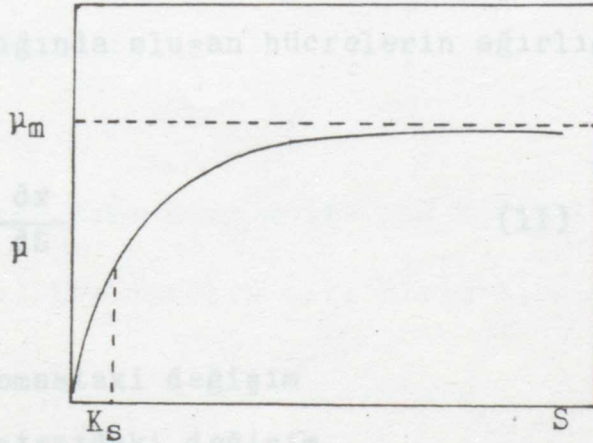


Şekil 1.5 μ değerinin grafikte elde edilmesi

2- Substrat konsantrasyonuna göre üreme kinetiği ve Monod eşitliği (gr/lit)

Monod klâsik büyüme eğrisinin kantitatif tanımını, sabit ve azalan (ölüm yada göçüş fazı) büyüme hızı bölgelerine kadar genişletmiştir. Büyüme hızı ($\frac{dx}{dt}$) sadece organizma konsantrasyonunun bir fonksiyonu değil, ayrıca substrat haricindeki diğer besi maddelerinin fazla miktardaki konsantrasyonuna da bağlıdır.

Monod bu bağıntıyı (Şekil 1.6) da gösterildiği gibi bir hiperbolik fonksiyonla tarif etmiştir./12/



Şekil 1.6' Büyüme hızına konsantrasyon ve besi maddelerinin etkisi

Monod, bu büyüme hızını

$$\mu = \mu_m \cdot \frac{S}{S + K_s} \quad (10)$$

denklemlle ifade etmiştir./13/

burada;

μ :Özgül büyüme hızı (1/saat)

μ_m :Maksimum özgül büyüme hızı (1/saat)

S :Sınırlayıcı besleme maddesi konsantrasyonu (gr/lt)

K_S :Doyma sabiti (gr/lt)

Değer olarak $\mu = \frac{\mu_m}{2}$ noktasındaki sınırlayıcı besleme maddesi konsantrasyonuna eşittir.

Bu denklem enzim substrat etkileşimini tarif etmek için kullanılan Michaelis-Menten denklemine benzerdir./12/

a)- Büyüme verimi Y (Yield)

Sınırlayıcı besleme maddesinin kullanılma hızı ve mikroorganizmaların büyüme bağıntısını ifade etmek için "Verim faktörü", "Yield" olarak adlandırılan Y faktörü kullanılır. Y faktörü, belirli ağırlıkta besleme maddesinin kullanılması karşılığında oluşan hücrelerin ağırlığı olarak ifade edilir.

$$Y_{x/s} = - \frac{dx}{dS} \quad (11)$$

burada,

dx :Biyomastaki değişim

dS :Substratdaki değişim

Belirli miktarda substrat kullanıldığında, oluşan mikroorganizmaların (biyomasın) konsantrasyon farkıdır. S azalıp x arttığı için eşitliğin başına (-) konulmalıdır.

Andrews ve Monod, "Belirli bir besleme maddesi-mikroorganizma kombinasyonu" için Y faktörünün sabit olarak kabul edildiğini varsaymaktadırlar./4/

Denklem (6) ve denklem (11) eşitlendiğinde

$$- Y \frac{dS}{dt} \cdot \frac{1}{x} = \mu_m \left(\frac{S}{S + K_S} \right)$$

ve dolayısıyla

$$- \frac{dS}{dt} = \mu_m \frac{x}{Y} \cdot \left(\frac{S}{S + K_S} \right) \quad (12)$$

eşitliği elde edilir.

Büyüme verimi belirli organizmalar için sabit kabul edildiğinde, kesikli (bac) reaktörde başlangıç anı için x_0 ve S_0 , belirli bir t anı için ise x ve S değerleri alındığında (11) eşitliği,

$$\frac{x - x_0}{S_0 - S} = Y$$

$$x - x_0 = Y(S_0 - S) \quad (13)$$

şeklini alır.

b)- Substrat alma hızı, metabolik kosient (q)

Denklem (6) ile denklem (11) birleştirilerek yazılırsa,

$$- \frac{Y dS}{dt} = \mu \cdot x ,$$

$$- \frac{dS}{dt} = \frac{\mu}{Y} \cdot x \quad (14)$$

eşitliği elde edilir. Eşitlikten de anlaşıldığı gibi substratın tüketilme hızı artıyor, substrat azalıyor ve biyomas konsantrasyonu artıyor. Bazı hallerde $\frac{\mu}{Y}$ terimi q ile gösterilir ve buna "spesifik metabolik hız" (metabolic quotient) denilir. Buna göre denklem (14) ,

$$- \frac{dS}{dt} = q \cdot x \quad (15)$$

şeklinde yazılır. (10) numaralı denklemde eşitliğin her i-

ki yanı Y ile bölünürse,

$$\frac{\mu}{Y} = \frac{\mu_m}{Y} \cdot \frac{S}{S + K_S}, \text{ buradan da}$$

$$q = q_m \cdot \frac{S}{S + K_S} \quad (16) \text{ bulunur.}$$

burada;

q :Substrat alımı

q_m :Maksimum substrat alımı

Metabolik hız sabiti belirtilirken bunun besi yerindeki hangi substrata ilişkin olduğunun belirlenmesi gerekir.

Monod denklemi ampirik bir denklem olup,

$$\mu = \mu_m \cdot \frac{S}{S + K_S}$$

$$\frac{1}{\mu} = \frac{S + K_S}{\mu_m \cdot S}$$

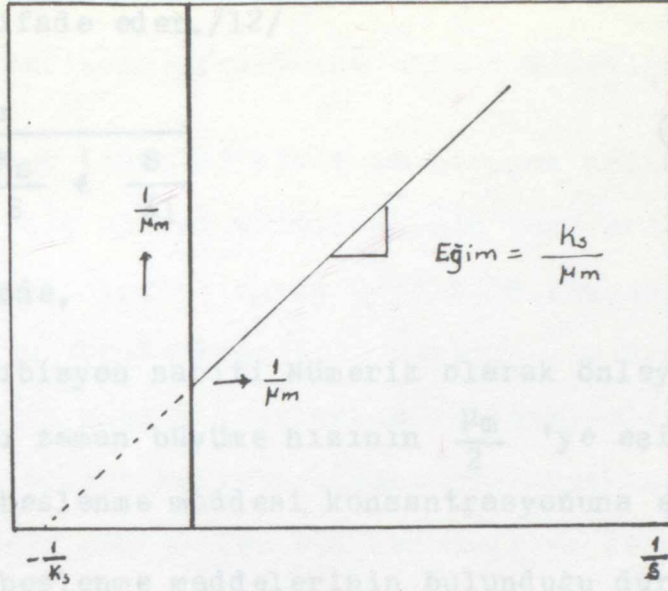
$$\frac{1}{\mu} = \frac{S}{\mu_m \cdot S} + \frac{K_S}{\mu_m} \cdot \frac{1}{S}$$

ve buradan da,

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_m} + \frac{K_S}{\mu_m} \cdot \frac{1}{S} \quad (17)$$

şeklinde yazılarak $\frac{1}{\mu}$ ile $\frac{1}{S}$ arasında çizilen grafikten Lineweaver-Burk türünde bir doğru elde edilir.(şekil 1.7)

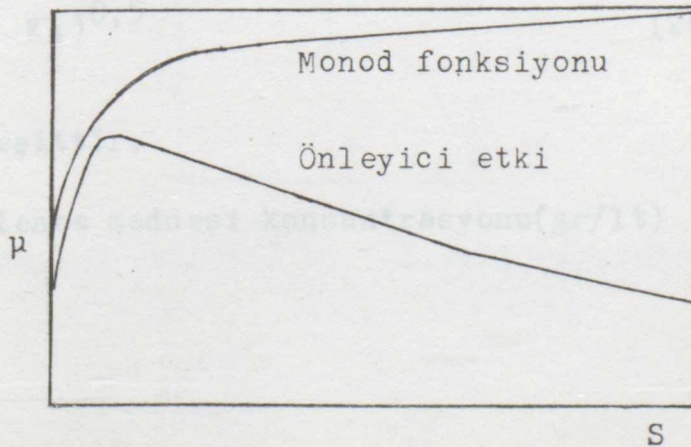
Elde edilen bu grafik yardımı ile ölçülmesi zor olan K_S ve μ_m değerleri kolaylıkla hesaplanabilir./14/



Şekil 1.7 Lineweaver-Burk grafiği

c)- Substrat inhibisyonu

Besi ortamında bulunabilecek inhibitörler 'in dışında substratların hatta oluşan ürünlerin bile mikroorganizmaları önleyici (inhibe) etkisi söz konusudur. Genellikle substrat konsantrasyonunun yüksek olduğu durumlarda substrat inhibisyonu gözlemlenebilmektedir. Bu durumlarda Monod diyagramı artan substrat konsantrasyonuna göre (Şekil 1.8) de görülen eğri şekline dönüşür.



Şekil 1.8 Substrat inhibisyonu

Andrews, besleme maddesinin önleyici etkisini Haldene denklemi ile ifade eder./12/

$$\mu = \frac{\mu_m}{1 + \frac{K_s}{S} + \frac{S}{K_i}} \quad (18)$$

Bu denklemde,

K_i : İnhibisyon sabiti. Nümerik olarak önleyici etki olmadığı zaman büyüme hızının $\frac{\mu_m}{2}$ 'ye eşit olduğu zaman ki beslenme maddesi konsantrasyonuna eşittir. (gr/lt)

Önleyici beslenme maddelerinin bulunduğu durumlarda, maksimal özgül büyüme hızı, denklem (18) 'in ilk türevini sıfıra eşitleyerek elde edilir./15/

$$\mu_m = \frac{\mu_m}{1 + 2\left(\frac{K_s}{K_i}\right)^{0,5}} \quad (19)$$

Bu denklemde,

μ_m : Önleyici bir beslenme maddesinin bulunduğu durumlarda maksimal özgül büyüme hızı. (gr/lt-saat)

Bu büyüme hızında beslenme maddesinin konsantrasyonu ise,

$$S_m = (K_s \cdot K_i)^{0,5} \quad (20)$$

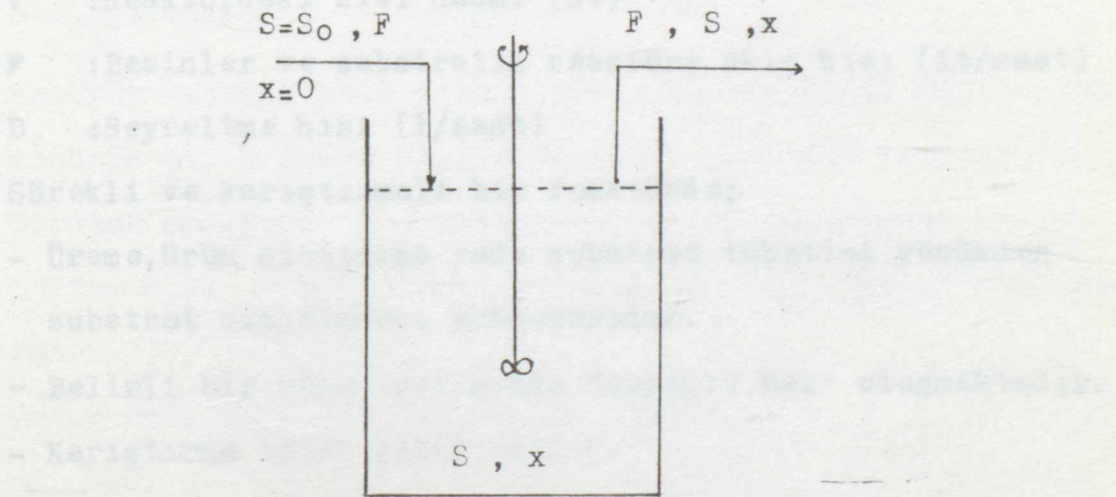
değerine eşittir.

S_m : Beslenme maddesi konsantrasyonu (gr/lt)

1.3.2.2.

Sürekli (kesiksiz) reaktörde büyüme kinetiği içinde geçirdiği süredir /5/ Fermentasyon teknolojisinde ve bir çok hallerde atık suların biyolojik olarak arıtılmasında bazı üstünlükleri nedeniyle sürekli karıştırmalı biyolojik reaktörler kullanılmaktadır. Bu tür reaktörlerde besleme ile ürün alım işlemleri sürekli olarak yapılmakta ve tepkime sırasında ortamın ideal olarak karıştırılması sağlanmaktadır. Bu ilkeye göre çalışan reaktörler tek kademeli ya da çok kademeli reaktörler olabilirler. Giren ve çıkan kültür sıvısının akış hızı (debisi) ayarlanarak kültür hacmi sürekli olarak sabit tutulan bu tür reaktörlere "kemostat" adı verilmektedir.

A- Sürekli , karıştırmalı kemostat (Şekil 1.9)



Şekil 1.9 Sürekli karıştırmalı kemostat

Kalış süresi (residence time)

Sistemin her hangi bir komponentinin reaktörün içinde geçirdiği süredir./5/

"t" ile "t + dt" arasındaki parametreleri dF ile gösterilirse,

$$dF = \emptyset(t) dt$$

yazılarak ideal şekilde karıştırılan bir kemostat için,

$$T = \frac{V}{F} = \frac{1}{D}$$

ve buradan,

$$D = \frac{F}{V} \quad (21)$$

bağıntıları yazılır.

burada,

T :Kalış süresi (saat)

V :Reaktördeki sıvı hacmi (lt)

F :Besinler ve substratın reaktöre akış hızı (lt/saat)

D :Seyreltme hızı (1/saat)

Sürekli ve karıştırmalı bir reaktörde;

- Üreme, ürün oluşturma yada substrat tüketimi yönünden substrat sınırlaması sözkonusudur.
- Belirli bir süre içerisinde "sürekli hal" oluşmaktadır.
- Karıştırma ideal kabul edilir.

Böyle bir reaktördeki kinetik incelemeler için kütle balansı (kütle denkliği) yapmak gereklidir./6/

- Biyomas için balans

Reaktörde büyüyen biyomas için,

Net Artış = Reaktörde büyüyen - Reaktörden çıkan

$$V \cdot \frac{dx}{dt} = V \cdot \mu \cdot x - F \cdot x \quad (22)$$

eşitliği geçerlidir.

burada,

V :Reaktör (sıvı) hacmi (lt)

x :Reaktördeki biyomas konsantrasyonu (gr/lt)

F :Çıkış hızı (lt/saat)

Eşitliğin her iki yanını V ile bölerek $\frac{F}{V}$ oranına D yazılacak olursa (22) eşitliği,

$$\frac{dx}{dt} = \mu \cdot x - D \quad (23)$$

şeklini alır.

Reaktör kararlı hale geldiğinde mikroorganizma konsantrasyonunda bir birikme olmayacağından $\frac{dx}{dt} = 0$ yazılır ve buradan da $\mu = D$ eşitliği elde edilir ki, kararlı halde büyüme hızı (μ), seyreltme hızına (D) eşit olduğu görülür./5/

Monod denklemi (denklem 10) hatırlanırsa,

$$\mu = \mu_m \frac{S}{S + K_s}, \text{ bağıntısı}$$

$$D = \mu_m \frac{S}{S + K_S} \quad (24)$$

şeklinde yazılabilir.

- Substrat için balans

Reaktördeki substrat denkliği için,

$$\text{Net Artış} = \begin{array}{c} \text{Reaktöre} \\ \text{giren} \end{array} - \begin{array}{c} \text{Reaktörden} \\ \text{çıkan} \end{array} - \begin{array}{c} \text{reaktörde} \\ \text{kullanılan} \end{array}$$

yani ;

$$V \cdot \frac{dS}{dt} = F \cdot S_0 - F \cdot S - V \cdot \frac{dS}{dt} \text{ (kullanılan)} \quad (25)$$

Denklem (14) V ile bölünerek tekrar düzenlenecek olursa,

$$\frac{dS}{dt} = \frac{F}{V} (S_0 - S) - \frac{u}{Y} x \quad (26)$$

substratın birikme denklemi elde edilir.

burada,

F : Kararlı çıkış hızı (lt/saat)

V : Reaktör (sıvı) hacmi (lt)

S₀ : F akışında bulunan substrat konsantrasyonu (gr/lt)

S : Reaktördeki substrat konsantrasyonu (gr/lt)

Kararlı halde $\frac{dS}{dt} = 0$ olduğundan

$$\frac{F}{V} (S_0 - S) - \frac{\mu}{Y} x = 0 ,$$

büyüme hızı $\mu = D$ ile Monod denklemi $\mu = \mu_m \frac{S}{S + K_S}$

biribirleriyle yeniden düzenlenecek olursa

$$\bar{S} = \frac{K_s \cdot D}{\mu_m - D} \quad (27)$$

Kararlı haldeki substrat konsantrasyonu ile ,

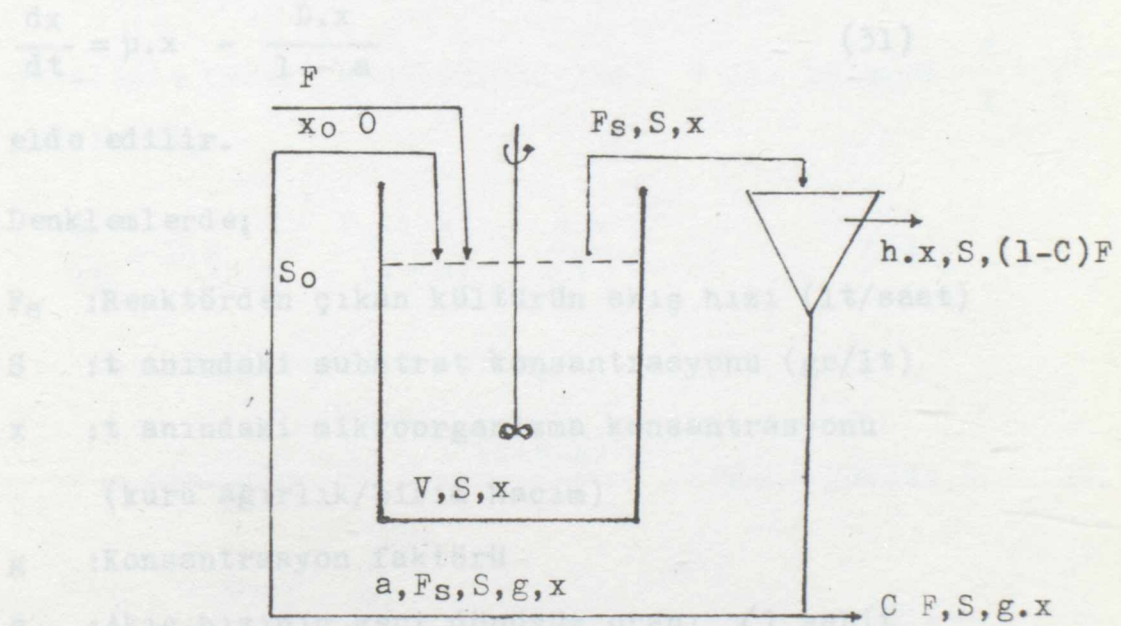
$$\bar{x} = Y \left[S_0 - \frac{K_s \cdot D}{\mu_m - D} \right] \quad (28)$$

Kararlı haldeki biyomas konsantrasyonu hesaplanabilir.

(-) işareti kararlı hali gösterir.

B- Sürekli , karıştırmalı ve geri dönüşümlü kemostat

Daha çok atık suların arıtılmasında kullanılan bu sistemlerde aktif çamur ile arıtma prosesine ilişkin tasarım bağıntıları ve kütle balansı yapılır.(Şekil 1.10)



Şekil 1.10 Sürekli, karıştırmalı, geri dönüşümlü kemostat

Reaktördeki biyomas balansı

Net Artış = Reaktöre giren - Reaktörden çıkan + Reaktörde büyüyen

$$V \cdot \frac{dx}{dt} = a \cdot F_S \cdot g \cdot x - F_S \cdot x + V \cdot \mu \cdot x \quad (29)$$

Reaktörden çıkan akış hızı,

$$F_S = F + a \cdot F_S, \text{ ve}$$

$$F_S = \frac{F}{1 - a} \quad (30)$$

şeklinde yazılır. Denklem (29) ile denklem (30) birleştirilerek bütün denklem V ye bölüldüğünde,

$$\frac{dx}{dt} = \mu \cdot x - \frac{D \cdot x}{1 - a} \quad (31)$$

elde edilir.

Denklemlerde;

F_S : Reaktörden çıkan kültürün akış hızı (lt/saat)

S : t anındaki substrat konsantrasyonu (gr/lt)

x : t anındaki mikroorganizma konsantrasyonu

(kuru ağırlık/birim hacim)

g : Konsantrasyon faktörü

a : Akış hızının geri dönüşüm oranı, <1, sabit

Kararlı halde,

$$\frac{dx}{dt} = 0, \text{ ve}$$

$$\mu \cdot \bar{x} - \frac{D \cdot \bar{x}}{1 - a} + \frac{a \cdot g \cdot D \cdot \bar{x}}{1 - a} = 0$$

buradan,

$$\bar{S} = \frac{D \cdot K_S(1-a.g)}{\mu_m(1-a) - D(1-a.g)} \quad (32)$$

bulunur.

Substrat için balans

$$\text{Net Artış} = \begin{array}{c} \text{Reaksiyona} \\ \text{giren} \end{array} - \begin{array}{c} \text{Reaksiyondan} \\ \text{çıkan} \end{array} - \begin{array}{c} \text{Reaktörde} \\ \text{kullanılan} \end{array}$$

$$V \cdot \frac{dS}{dt} = F \cdot S_0 + a \cdot F_S \cdot S - F_S \cdot S - V \cdot \frac{dS}{dt} \text{ (kullanılan)} \quad (33)$$

$$F_S = \frac{F}{1-a} \quad \text{ve} \quad - \frac{dS}{dt} = \frac{\mu \cdot x}{Y} \quad \text{olduğu hatırlanarak}$$

denklemden yerine konulup, denklemin V ile bölünerek $\frac{F}{V} = D$ yazılırsa,

$$V \cdot \frac{dS}{dt} = D \cdot S_0 - \frac{D_S(1-a)}{(1-a)} - \frac{\mu \cdot x}{Y} \quad (34)$$

şeklini alır. Kararlı halde,

$$\frac{dS}{dt} = 0 \quad \text{olur. Ve} \quad \mu = \frac{(1-a.g)D}{1-a} \quad \text{değeri yerine konursa,}$$

$$\bar{x} = \frac{Y(S_0 - \bar{S})(1-a)}{(1-a.g)} \quad (35)$$

elde edilir.

Sedimentasyon tankına ait balans

$$\text{Giren} = \begin{array}{c} \text{Geri} \\ \text{dönen} \end{array} + \begin{array}{c} \text{Atılan konsantre} \\ \text{atık} \end{array} + \begin{array}{c} \text{Atılan seyreltik} \\ \text{atık} \end{array}$$

1.4.1.

$$F_s \cdot x = a \cdot F_s \cdot g \cdot x + c \cdot F \cdot g \cdot x + (1-c) \cdot F \cdot h \cdot x \quad (36)$$

$$F_s = \frac{F}{1 - a}$$

$$h = \frac{(1-a \cdot g) - c \cdot g(1-a)}{(1-a)(1-c)} \quad (37)$$

denklemleri elde edilir.

Burada,

c : Atılan atığın konsantrasyon faktörü

h : Seyreltikteki konsantrasyon faktörü

Fenolün arıtma tesislerindeki mikroorganizmalara karşı etkisi (inhibisyon) etkisi, yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Ancak fenolün arıtma tesislerinde yüksek konsantrasyonlarda ve sürekli olarak bulunduğu bir süre sonra mikroorganizmalar fenole uyum sağlamaktadır. /B/

Fenolün arıtma tesislerindeki mikroorganizmalara karşı etkisi (inhibisyon) etkisi, yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Ancak fenolün arıtma tesislerinde yüksek konsantrasyonlarda ve sürekli olarak bulunduğu bir süre sonra mikroorganizmalar fenole uyum sağlamaktadır. /B/

1.4.1.

FENOL BİODEGRADASYONU

Gelişen endüstri birimlerinin ve ürünlerinin çeşitliliği nedeniyle arıtma tesislerinde biyolojik arıtmayı olumsuz yönde etkileyecek yada tesisi tamamen durdurabilecek çeşitli kimyasal maddelerle karşılaşılabilir. Bu konuda sorun yaratacak başlıca kimyasal maddelerden biri de hammadde olarak kömür ve petrol kullanılan endüstrilerin büyük bir çoğunluğunun atık sularında görülen fenol 'dür.

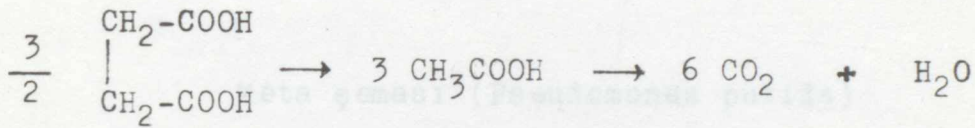
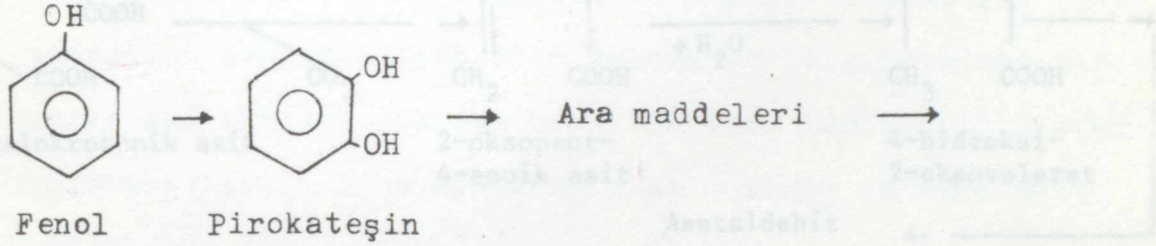
/7/

Aromatik halkaya bağlanmış bir yada daha fazla hidroksil grubu içeren bileşiklerin genel adı "hidroksi benzen" olup, tek hidroksil grubu içerenlere ise fenol (C_6H_5OH) denilmektedir. 1834 yılında kömür katranından elde edilmiş, daha sonra sentetik olarak üretilmeye başlanmıştır.

Atık sularında fenol bulunan endüstrilerin başında petrol rafinerileri ve petrokimya endüstrisi gelmektedir. Bunların yanında; Reçine, patlayıcı maddeler, fotoğraf malzemesi, orlon, kâğıt, plâstik, cam, cam elyafı, lâstik üreten fabrikaların ve uçak bakım atölyelerinin kullanılmış sularında fenole rastlanmaktadır. /8/

Fenolün arıtma tesislerindeki mikroorganizmalara öldürücü (inhibe) etkisi, yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Ancak fenolün arıtma tesisine düşük konsantrasyonlarda ve sürekli gelmesi durumunda bir süre sonra mikroorganizmalar fenole uyum sağlamaktadır. /21/

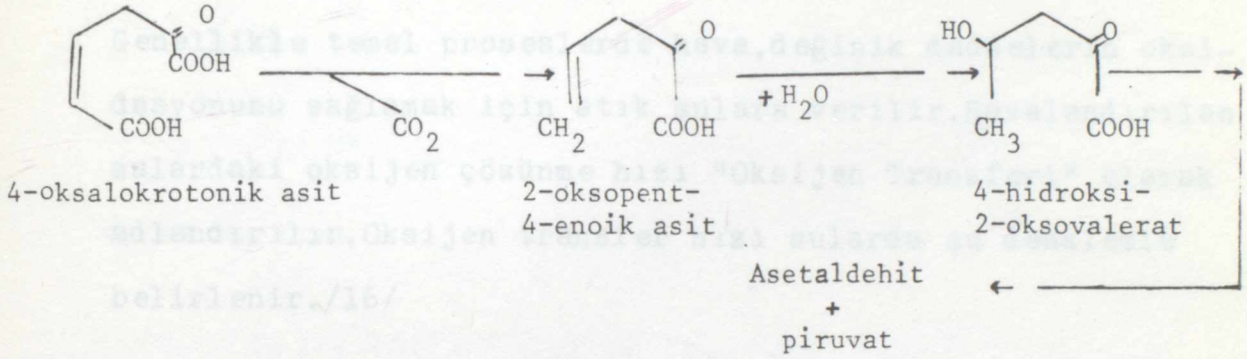
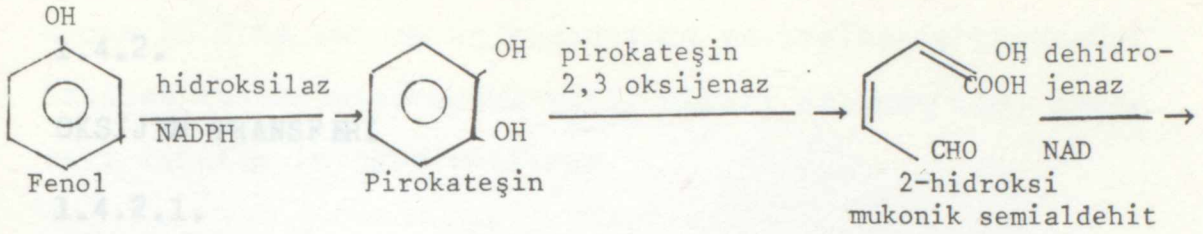
Bazı mikroorganizmalar besisi ve enerji kaynağı olarak fenol bileşimini kullanabilme yeteneğine sahiptirler. Fenolün parçalanması için önerilen genel metabolik yol aşağıya çıkartılmıştır. /9/



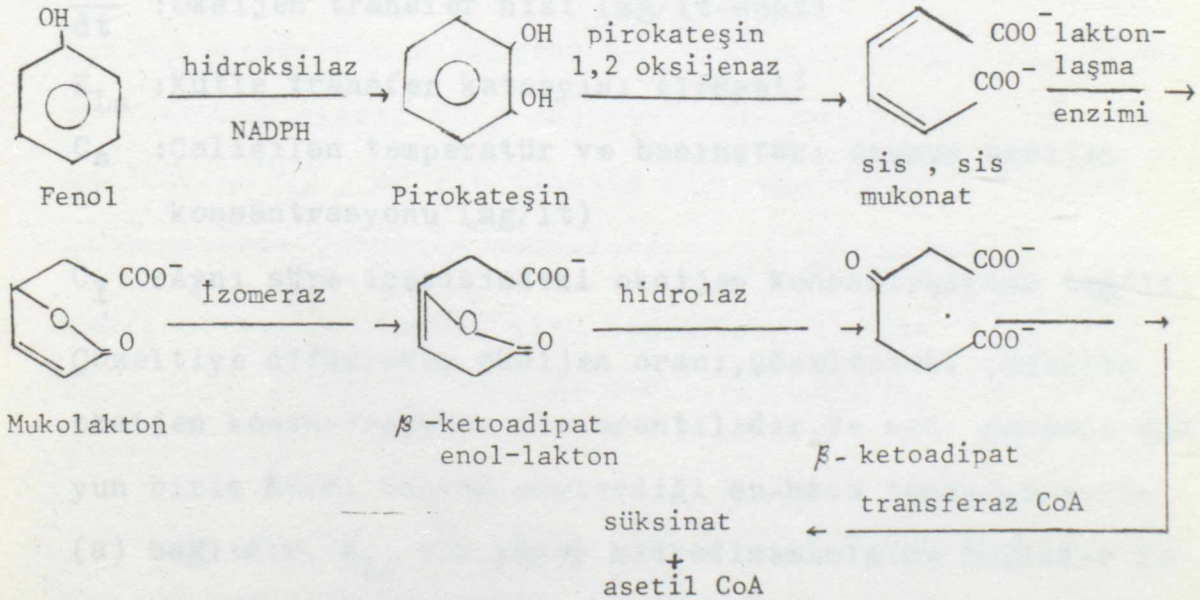
Süksinik asit Asetik asit

Fenol ilk önce pirokateşin'e dönüşür. Bu bileşik daha sonra değişik aşamalardan geçerek karbon dioksit ve su meydana getirir.

Araştırmacılar tarafından fenol ve pirokateşin'in parçalanması incelenmiştir. Fenolün bu parçalanması, Yang ve Humphrey 'e göre /10/ iki değişik yol ile gerçekleşmektedir. Bu yollar, bakteri *Pseudomonas putida* (ATCC A 514) tarafından gerçekleştirilen meta-yolu, ve *Trichosporon cutaneum* tarafından gerçekleştirilen orto-yolu 'dur.



Meta şeması (Pseudomonas putida)



Orto şeması (Trichosporon cutaneum)

1.4.2.

OKSİJEN TRANSFERİ

1.4.2.1.

Sularda Oksijen Transferi

Genellikle temel proseslerde hava, değişik maddelerin oksidasyonunu sağlamak için atık sulara verilir. Havalandırılan sulardaki oksijen çözünme hızı "Oksijen Transferi" olarak adlandırılır. Oksijen transfer hızı sularda şu denklemle belirlenir. /16/

$$\frac{dC}{dt} = K_{La}(C_s - C_l) \quad ,$$
$$\frac{dC}{C_s - C_l} = K_{La} \cdot dt \quad (38)$$

burada,

$\frac{dC}{dt}$: Oksijen transfer hızı (mg/lt-saat)

K_{La} : Kütle transfer katsayısı (1/saat)

C_s : Çalışılan temperatur ve basınçtaki doymuş oksijen konsantrasyonu (mg/lt)

C_l : Aynı süre içerisindeki oksijen konsantrasyonu (mg/lt)

Çözültiye difüzlendi oksijen oranı, çözültideki çözünmüş oksijen konsantrasyonu ile orantılıdır. Ve aynı zamanda suyun birim hacmi başına gösterdiği su-hava temas yüzeyine (a) bağlıdır. K_{La} ara yüzey hidrodinaminiğine bağlıdır ve ara yüzeydeki türbilâns nedeniyle artar. Standart oksijen transfer hızı şu koşullarda belirlenir; Su temiz olduğu

zaman 20°C da 760 mm Hg basıncında ve başlangıç çözünmüş oksijen konsantrasyonunun sıfır olması halinde (38) numaralı denklem integre edilirse,

$$\int \frac{dC}{C_s - C_1} = K_{La} \int dt$$

$$\ln(C_s - C_1) = K_{La} \cdot t \quad (39)$$

t_1 ve t_2 için ,

$$\ln(C_s - C_1) - \ln(C_s - C_2) = (t_2 - t_1) \cdot K_{La}$$

$$K_{La} = \frac{\ln(C_s - C_1) - \ln(C_s - C_2)}{t_2 - t_1} \quad (40)$$

Burada K_{La} terimi, likit film katsayısı K_L ile habbeciğin birim hacımdaki ara yüzeyi $a = \frac{A}{V}$ değerinin bir bileşimidir. A değerinin ölçülmesi zor olmasına karşın K_{La} değeri deneysel olarak ölçülebilmektedir. Doymuş oksijen konsantrasyonu C_s' , su ile temasta olan oksijenin kısmi basıncına, suda çözünmüş maddelere ve sıcaklığa bağlıdır.

Nemli hava ile temasta olan temiz bir su için 760 mm Hg basıncında çözünmüş oksijen değerleri aşağıya (Tablo 1.2) çıkartılmıştır. /16/

Atmosfer basıncın 760 mm Hg 'dan farklı durumlarında doymuş oksijen konsantrasyonu ,

$$C_s = (C_s)_{760} \cdot \frac{P - p}{760 - p} \quad (41)$$

denklemini ile düzeltilir. Burada

P : Toplam basınç (mm Hg)

p : Bu sıcaklıktaki suyun kısmi buh. baskısı (mm Hg)

P değeri o yerdeki atmosferik basınç olarak alınır. Hava difüzyonuna dayanan sistemlerde hava kabarcıklarının basıncı atmosferik basınçtan daha büyüktür. Genellikle C_s değeri hava kabarcıklarındaki oksijenin ortalama kısmi basıncına tekabül eden doymuş oksijen değeri olarak alınır. Bu orta derinliklerde, kabarcıklardaki oksijenin kısmi basıncını düzeltilmiş basınç olarak alınabilir.

K_{La} değeri su yüzeyinin sıcaklığına bağlıdır. Herhangi bir t anı için,

$$K_{La}(T) = (K_{La})_{20^\circ C} \cdot (1.024)^{T-20} \quad (42)$$

formülü kullanılır. /16/

Temp/°C	Çöz. Oks/mg	Temp/°C	Çöz. Oks/mg
0	14.6	30	7.6
2	13.8	36	7.0
5	12.8	38	6.8
10	11.3	39	6.7
16	10.0	40	6.6
20	9.2	43	6.3

Tablo 1.2 Oksijenin sudaki çözünürlüğü

1.4.2.2.

Atıklarda (Aktif Çamur) Oksijen Transferi

Oksijen transfer hızı, eğer atığın karakteri biliniyorsa belirli bir yaklaşımla hesaplanabilir./16/

Proses koşulları altında çözünmüş oksijen değişim hızı;

$$\frac{dC}{dt} = K_{La}(C_s - C_l) - r \quad (43)$$

denklemlerle hesaplanır.

burada,

r : Oksijenin kullanım hızı (mg/lt-saat)

Eğer proses, havalandırılmış ve her tarafında aynı özelliklere sahip proses ise,

$\frac{dC}{dt} = 0$ olmaktadır. O zaman (43) numaralı denklem,

$$K_{La} = \frac{r}{C_s - C_l} \quad (44)$$

şeklini alır.

Temiz suda ölçülen K_{La} ve C_s değerleri ile, atık suda ölçülen K_{La} ve C_s değerleri birbirinden farklıdır. Atık su tesislerinde standart koşullarda bu değerler,

$$\frac{K_{La}(\text{atık suda})}{K_{La}(\text{temiz suda})} = \alpha, \quad \frac{C_s(\text{atık suda})}{C_s(\text{temiz suda})} = \beta$$

Düzeltilme faktörleri göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle (43) numaralı denklem,

$$\frac{dC}{dt} = \alpha \cdot K_{La} (\beta C_s - C_1) - r \quad (45)$$

şeklini alır. Fenol, aşağıda belirtilen birçok metodlarla tayin edilebilmektedir. İlgili literatürlerde fenolün K_{La} atığının temperaturüne bağımlı olduğundan her hangi bir t anında K_{La} değeri (42) numaralı denklem ile hesaplanır.

1- Bromlاندیره yoluyla (fenol kons. $c > 100$ mg/l'te)

2- Kalorimetrik yöntemlerle

a: p-Nitrosanilin ile ($c > 0,1$ mg/l'te)

b: 4-AAP (4-Aminoantipirin) metodu ile

c: Gibbs (2,6-dibromquinon -4- klorid) reaktifi ile

d: Folin-Benis (Na_2CO_3 - Na_2O_3 - H_3PO_4 karışımı) reaktifi ile

e: Nitrozofenol (orta, para ve meta yerlerinde substitüe

Fenoller için) metodu ile

3- Kloroform ekstraksiyon metodu ile

4- Gaz - Sıvı kromatografisi metodu ile

Ayrıca, Mehler ve Jacop /18/ infrared ve U.V spektrofotometre metodu gibi metodlarda anlatmışlardır.

Bu çalışma için; Kullanılan örneklerin bakımının küçük ölçekli ve laboratuvarde manipülasyon kolaylığı, netlikle yukarıdaki metodlardan sadece 4-aminoantipirin (4-AAP) metodu ile yapılmıştır. Çünkü yukarıda belirtilen diğer metodlar nispeten zordur. 4-aminoantipirin metodunun kesin sonuçlar verdiği görülmüştür.

2.1. aminoantipirin metodunun esası, fenolün kimyasal bir re-

FENOL TAYİNİ

Atık sularda fenol, aşağıda belirtilen birçok metodlarla tayin edilebilmektedir. İlgili literatürlerde fenolün tayin yöntemleri ve yöntemlere göre fenolün bozunmadan korunması ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Tayin metodları şu şekilde sınıflandırılabilir. /16/, /17/

1- : Bromlandırma yoluyla (fenol konst. $c > 100$ mg/lt)

2- : Kalorimetrik yöntemlerle

a: p-Nitroanilin ile ($c > 0,1$ mg/lt)

b: 4-AAP (4-aminoantipirin) metodu ile

c: Gibss (2,6-dibromquinon -4- klorimid) reaktifi ile

d: Folin-Benis (Na_2WO_4 - MoO_3 - H_3PO_4 karışımı) reaktifi ile

e: Nitrozofenol (orto, para ve meta yerlerinde süstitüe fenoller için) metodu ile

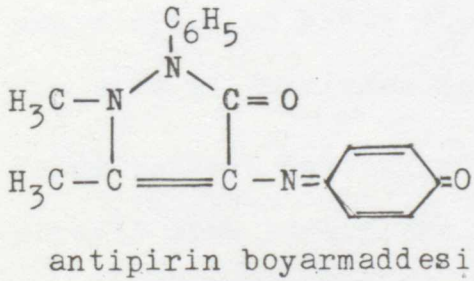
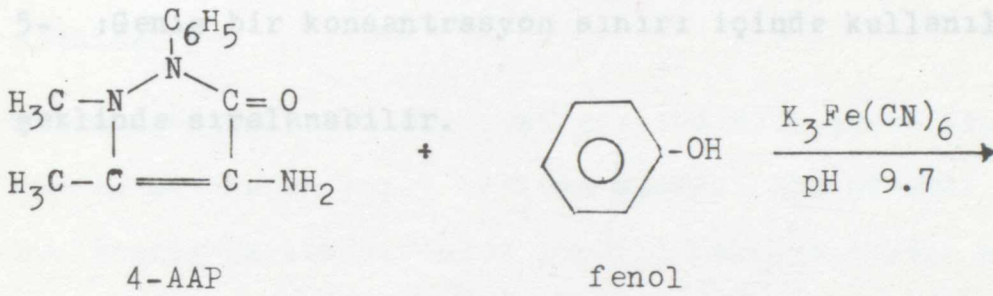
3- : Kloroform ekstraksiyon metodu ile

4- : Gaz - Sıvı kromatografisi metodu ile

Ayrıca, Mohler ve Jacop /18/ infrared ve U.V spektrofotometre metodu gibi metodlarda anlatmışlardır.

Bu çalışma için; Kullanılan örneklerin hacminin küçük olması ve laboratuarda Manipulasyon kolaylığı , nedeniyle yukarıdaki metodlardan sadece 4-aminoantipirin (4-AAP) metodu ile çalışılması gerekli görülmüştür. Yapılan bir seri pozitif denemelerde 4-aminoantipirin metodunun kesin sonuçlar verdiği görülmüştür.

4-aminoantipirin metodunun esası, fenolün kimyasal bir reaksiyon sonucu bir boyarmadde oluşturmaları, ve bu boyarmaddenin spektrofotometrik olarak ölçülmesidir. Reaksiyon sırasında bir oksidasyon maddesi gereklidir. Bu metod da kullanılan oksidasyon maddesi potasyum demir (III) siyanür'dür. Reaksiyon sonucu oluşan boyarmadde kırmızı renktedir. Oluşan reaksiyon aşağıdaki şekilde gösterilebilir.



Oluşan boyarmaddenin tek olumsuz yanı belirli bir süre sonra renk değişimine uğramasıdır. Bu nedenle örnekler en geç 30 dakika içinde spektrofotometrede okunması gerekmektedir.

Reaksiyon ortamının pH değerine karşı duyarlı olup, düşük pH değerlerinde yer almaz. Ettinger, Ruchhoft ve Lishka /19/ , 9.8 ilâ 10.2 arasında bir pH değeri önerirler. Fakat bu çalışmada kullanılan, Yang ve Humphrey /10/ tara-

findan önerilen yöntemde pH değeri olarak 9.7 kullanılmıştır.

Kullanılan bu metodun genel avantajları ise;

- 1- :Ölçümlerin küçük miktarlarda yapılması
- 2- :Deney kolaylığı
- 3- :Analiz süresinin kısalığı
- 4- :Kararlı reaktifler
- 5- :Geniş bir konsantrasyon sınırı içinde kullanılabilme .

şeklinde sıralanabilir.

2.2.

DENEYSEL METOD

Deneyler Yıldız Üniversitesi Çevre Laboratuvarı ile evsel atıklardan alınan örneklerle gerçekleştirildi.

Alınan örnekler, çeşitli inorganik ve organik bileşikler içeren yapay bir besleme maddesi (Tablo 2.1) ile substrat olarak glikoz ilâve edilerek süreksiz sistemlerde büyütüldü./20/

Mikroorganizmaların büyümesi gözlemlendikten sonra, sistem yukarıda adı geçen yapay besleme maddesi ile sürekli olarak beslenmeye başlandı. Sistem kararlı hale gelinceye kadar Yani; Biyomas ağırlığı ile, maksimum biyomas konsantrasyonunun eldesine kadar sürekli olarak beslendi. Kararlı halin elde edilmesinden sonra, deneyler başlatıldı.

Yapay besleme maddesi, mikroorganizmaların büyümesi için gerekli olan karbon, oksijen, hidrojen, azot, sodyum, magnezyum, demir ve kalsiyum gibi temel elementler ile çinko, molibden, bakır, kobalt, potasyum ve alüminyum gibi eser elementler içermektedir. Evsel atıklar için bu besleme çözeltisine seyreltilerek etsu tableti ilâve edildi. Besleme maddesi olan glikoz, karbon içeriği bakımından sınırlayıcı olup, karbon dışındaki bütün elementler gereken miktarlardan biraz fazla bulunmaktadır.

Tablo 2.1 Yapay Besleme Çözeltisi

Besi Çözeltisi

Bileşen	Ağırlık mg/lt
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	100 nitrojen
K_2HPO_4	100
NaHCO_3	240
Na_2CO_3	34
MgSO_4	60
FeSO_4	8
CaCl_2	8
Glikoz	100

Es er Element Çözeltisi

Bileşen	Ağırlık mg/lt
ZnSO_4	700
$\text{NaMoO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	100
$\text{CuSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	50
$\text{CoCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	30
$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	30
KI	100
E.D.T.A	975

Tablo 2.1 Yapay Besleme Çözeltisi

2.3.

GEREÇLER

Araştırma lâboratuvarında kullanılan gereçler, aktif çamurun büyütülmesi ve fenol biodegradasyonu için plesiglastan yapılmış 2,5 litre hacminde dikdörtgen biçiminde bir süreksiz (bac) reaktör ile, reaktörün homojen karışmasını sağlayan Alman malı Medingen marka bir mekanik karıştırıcı ve gerekli havalandırmayı sağlamak için Soley marka hava pompası 'ndan ibarettir. İhtiyaca göre hava pompası birden fazla kullanıldığı gibi ayarlamak suretiyle az hava vermeside sağlanmıştır.

Sistemin temperaturü hassas bir termometre ile kontrol edilmiş, soğuk havalarda bir ısıtıcı ile reaktör ısıtılarak temperaturün 19 °C ile 22 °C arasında kalması sağlanmıştır. pH kâğıdı ile sistemin pH sı kontrol edilmiş ve pH nın devamlı 6,5 değerinde kalması derişik NaOH çözeltisi ile sağlanmıştır.

Fenol tüketimi sırasında deney için önemli olan oksijen konsantrasyonu Y.S.I Model 51 B Oksijenmetre ile ölçülmüş ve oksijenmetre elektroduna her seri denemelerden önce kendi çözeltisinden doldurularak yeni membran takılmıştır.

Aktif çamur reaktörü ile kullanılan gereçler sistem olarak Şekil 2.1 de görölmektedir.

2.4.

YONTMLER

2.4.1.

FENOL ANALİZİ

Fenol konsantrasyonunun saptanmasında kullanılan metod Yang ve Humphrey /10/ tarafından geliştirilmiştir. Bu metodun bir modifikasyonu olarak, fenol konsantrasyonu değeri düşük olan örnekler için metodun duyarlılığını artırarak için metodun kullanılması önerilmiştir. Bu metodun duyarlılığını artırarak için metodun kullanılması önerilmiştir.

Metod şu aşamaları kapsamaktadır:

- 1- Fenol ve mikroorganizma içeren örneklerin sterilizasyonu ve temizlenmesi için por büyüklüğü 0,1 µm olan bir membran filtresinden süzülür.

- 2- Süzülen örnekler 10 ml'lik Brackton tüpüne alınarak, fenol konsantrasyonu 0,1 mg/l olan Brackton tüpüne eklenir.

- 3- Deney tüpü, 25°C'de 24 saat inkübe edilir. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 0,1 mg/l'den 0,25 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 0,25 mg/l'den 0,5 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 0,5 mg/l'den 1,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1,0 mg/l'den 2,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2,0 mg/l'den 4,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 4,0 mg/l'den 8,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 8,0 mg/l'den 16,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 16,0 mg/l'den 32,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 32,0 mg/l'den 64,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 64,0 mg/l'den 128,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 128,0 mg/l'den 256,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 256,0 mg/l'den 512,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 512,0 mg/l'den 1024,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1024,0 mg/l'den 2048,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2048,0 mg/l'den 4096,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 4096,0 mg/l'den 8192,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 8192,0 mg/l'den 16384,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 16384,0 mg/l'den 32768,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 32768,0 mg/l'den 65536,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 65536,0 mg/l'den 131072,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 131072,0 mg/l'den 262144,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 262144,0 mg/l'den 524288,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 524288,0 mg/l'den 1048576,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1048576,0 mg/l'den 2097152,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2097152,0 mg/l'den 4194304,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 4194304,0 mg/l'den 8388608,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 8388608,0 mg/l'den 16777216,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 16777216,0 mg/l'den 33554432,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 33554432,0 mg/l'den 67108864,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 67108864,0 mg/l'den 134217728,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 134217728,0 mg/l'den 268435456,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 268435456,0 mg/l'den 536870912,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 536870912,0 mg/l'den 1073741824,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1073741824,0 mg/l'den 2147483648,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2147483648,0 mg/l'den 4294967296,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 4294967296,0 mg/l'den 8589934592,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 8589934592,0 mg/l'den 17179869184,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 17179869184,0 mg/l'den 34359738368,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 34359738368,0 mg/l'den 68719476736,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 68719476736,0 mg/l'den 137438953472,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 137438953472,0 mg/l'den 274877906944,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 274877906944,0 mg/l'den 549755813888,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 549755813888,0 mg/l'den 1099511627776,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1099511627776,0 mg/l'den 2199023255552,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2199023255552,0 mg/l'den 4398046511104,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 4398046511104,0 mg/l'den 8796093022208,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 8796093022208,0 mg/l'den 17592186044416,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 17592186044416,0 mg/l'den 35184372088832,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 35184372088832,0 mg/l'den 70368744177664,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 70368744177664,0 mg/l'den 140737488355328,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 140737488355328,0 mg/l'den 281474976710656,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 281474976710656,0 mg/l'den 562949953421312,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 562949953421312,0 mg/l'den 1125899906842624,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1125899906842624,0 mg/l'den 2251799813685248,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2251799813685248,0 mg/l'den 4503599627370496,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 4503599627370496,0 mg/l'den 9007199254740992,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 9007199254740992,0 mg/l'den 18014398509481984,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 18014398509481984,0 mg/l'den 36028797018963968,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 36028797018963968,0 mg/l'den 72057594037927936,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 72057594037927936,0 mg/l'den 144115188075855872,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 144115188075855872,0 mg/l'den 288230376151711744,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 288230376151711744,0 mg/l'den 576460752303423488,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 576460752303423488,0 mg/l'den 1152921504606846976,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1152921504606846976,0 mg/l'den 2305843009213693952,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2305843009213693952,0 mg/l'den 4611686018427387904,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 4611686018427387904,0 mg/l'den 9223372036854775808,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 9223372036854775808,0 mg/l'den 18446744073709551616,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 18446744073709551616,0 mg/l'den 36893488147419103232,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 36893488147419103232,0 mg/l'den 73786976294838206464,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 73786976294838206464,0 mg/l'den 147573952589676412928,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 147573952589676412928,0 mg/l'den 295147905179352825856,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 295147905179352825856,0 mg/l'den 590295810358705651712,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 590295810358705651712,0 mg/l'den 1180591620717411303424,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1180591620717411303424,0 mg/l'den 2361183241434822606848,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2361183241434822606848,0 mg/l'den 4722366482869645213696,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 4722366482869645213696,0 mg/l'den 9444732965739290427392,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 9444732965739290427392,0 mg/l'den 18889465931478580854784,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 18889465931478580854784,0 mg/l'den 37778931862957161709568,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 37778931862957161709568,0 mg/l'den 75557863725914323419136,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 75557863725914323419136,0 mg/l'den 151115727451828646838272,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 151115727451828646838272,0 mg/l'den 302231454903657293676544,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 302231454903657293676544,0 mg/l'den 604462909807314587353088,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 604462909807314587353088,0 mg/l'den 1208925819614629174706176,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1208925819614629174706176,0 mg/l'den 2417851639229258349412352,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2417851639229258349412352,0 mg/l'den 4835703278458516698824704,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 4835703278458516698824704,0 mg/l'den 9671406556917033397649408,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 9671406556917033397649408,0 mg/l'den 19342813113834066795298816,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 19342813113834066795298816,0 mg/l'den 38685626227668133590597632,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 38685626227668133590597632,0 mg/l'den 77371252455336267181195264,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 77371252455336267181195264,0 mg/l'den 154742504910672534362390528,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 154742504910672534362390528,0 mg/l'den 309485009821345068724781056,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 309485009821345068724781056,0 mg/l'den 618970019642690137449562112,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 618970019642690137449562112,0 mg/l'den 1237940039285380274899124224,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1237940039285380274899124224,0 mg/l'den 2475880078570760549798248448,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2475880078570760549798248448,0 mg/l'den 4951760157141521099596496896,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 4951760157141521099596496896,0 mg/l'den 9903520314283042199192993792,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 9903520314283042199192993792,0 mg/l'den 19807040628566084398385987584,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 19807040628566084398385987584,0 mg/l'den 39614081257132168796771975168,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 39614081257132168796771975168,0 mg/l'den 79228162514264337593543950336,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 79228162514264337593543950336,0 mg/l'den 158456325028528675187087900672,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 158456325028528675187087900672,0 mg/l'den 316912650057057350374175801344,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 316912650057057350374175801344,0 mg/l'den 633825300114114700748351602688,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 633825300114114700748351602688,0 mg/l'den 1267650600228229401496703205376,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1267650600228229401496703205376,0 mg/l'den 2535301200456458802993406410752,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2535301200456458802993406410752,0 mg/l'den 5070602400912917605986812821504,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 5070602400912917605986812821504,0 mg/l'den 10141204801825835211973625643008,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 10141204801825835211973625643008,0 mg/l'den 20282409603651670423947251286016,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 20282409603651670423947251286016,0 mg/l'den 40564819207303340847894502572032,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 40564819207303340847894502572032,0 mg/l'den 81129638414606681695789005144064,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 81129638414606681695789005144064,0 mg/l'den 162259276829213363391578010288128,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 162259276829213363391578010288128,0 mg/l'den 324518553658426726783156020576256,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 324518553658426726783156020576256,0 mg/l'den 649037107316853453566312041152512,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 649037107316853453566312041152512,0 mg/l'den 1298074214633706907132624082305024,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1298074214633706907132624082305024,0 mg/l'den 2596148429267413814265248164610048,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2596148429267413814265248164610048,0 mg/l'den 5192296858534827628530496329220096,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 5192296858534827628530496329220096,0 mg/l'den 10384593717069655257060992658440192,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 10384593717069655257060992658440192,0 mg/l'den 20769187434139310514121985316880384,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 20769187434139310514121985316880384,0 mg/l'den 41538374868278621028243970633760768,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 41538374868278621028243970633760768,0 mg/l'den 83076749736557242056487941267521536,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 83076749736557242056487941267521536,0 mg/l'den 166153499473114484112975882535043072,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 166153499473114484112975882535043072,0 mg/l'den 332306998946228968225951765070086144,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 332306998946228968225951765070086144,0 mg/l'den 664613997892457936451903530140172288,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 664613997892457936451903530140172288,0 mg/l'den 1329227995784915872903807060280344576,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1329227995784915872903807060280344576,0 mg/l'den 2658455991569831745807614120560689152,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2658455991569831745807614120560689152,0 mg/l'den 5316911983139663491615228241121378304,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 5316911983139663491615228241121378304,0 mg/l'den 10633823966279326983230456482242756608,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 10633823966279326983230456482242756608,0 mg/l'den 21267647932558653966460912964485513216,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 21267647932558653966460912964485513216,0 mg/l'den 42535295865117307932921825928971026432,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 42535295865117307932921825928971026432,0 mg/l'den 85070591730234615865843651857942052864,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 85070591730234615865843651857942052864,0 mg/l'den 170141183460469231731687303715884105728,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 170141183460469231731687303715884105728,0 mg/l'den 340282366920938463463374607431768211456,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 340282366920938463463374607431768211456,0 mg/l'den 680564733841876926926749214863536422912,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 680564733841876926926749214863536422912,0 mg/l'den 1361129467683753853853498429727072845824,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1361129467683753853853498429727072845824,0 mg/l'den 2722258935367507707706996859454145691648,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2722258935367507707706996859454145691648,0 mg/l'den 5444517870735015415413993718908291383296,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 5444517870735015415413993718908291383296,0 mg/l'den 10889035741470030830827987437816582766592,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 10889035741470030830827987437816582766592,0 mg/l'den 21778071482940061661655974875633165533184,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 21778071482940061661655974875633165533184,0 mg/l'den 43556142965880123323311949751266331066368,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 43556142965880123323311949751266331066368,0 mg/l'den 87112285931760246646623899502532662132736,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 87112285931760246646623899502532662132736,0 mg/l'den 174224571863520493293247799005065324265472,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 174224571863520493293247799005065324265472,0 mg/l'den 348449143727040986586495598010130648530944,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 348449143727040986586495598010130648530944,0 mg/l'den 696898287454081973172991196020261297061888,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 696898287454081973172991196020261297061888,0 mg/l'den 1393796574908163946345982392040522594123776,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 1393796574908163946345982392040522594123776,0 mg/l'den 2787593149816327892691964784081045188247552,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 2787593149816327892691964784081045188247552,0 mg/l'den 5575186299632655785383929568162090376495104,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 5575186299632655785383929568162090376495104,0 mg/l'den 11150372599265311570767859136324180752990208,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 11150372599265311570767859136324180752990208,0 mg/l'den 22300745198530623141535718272648361505980416,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 22300745198530623141535718272648361505980416,0 mg/l'den 44601490397061246283071436545296723011960832,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 44601490397061246283071436545296723011960832,0 mg/l'den 89202980794122492566142873090593446023921664,0 mg/l'ye çıkarılır. 24 saat sonra, tüpün içeriğindeki fenol konsantrasyonu 8920298079412249256614287309059344602392166

2.4.

YÖNTEMLER

2.4.1.

FENOL ANALİZİ

Fenol konsantrasyonunun saptanması için kullanılan metod Yang ve Humphrey /10/ tarafından önerilen, 4-aminoantipirin metodunun bir modifikasyonudur. Araştırmacılar, düşük fenol konsantrasyonu değerlerinin ölçülmesinde duyarlılığı arttırmak için metodda kullanılan reaktiflerin oranlarını değiştirmişlerdir.

Metod şu aşamaları kapsamaktadır;

1- Fenol ve mikroorganizma içeren örnek, mikroorganizmalardan temizlemek için por büyüklüğü 0,45 μ olan bir membran filtresinden süzülür.

2- Elde edilen temiz örnekten 2,0 ml, veya yüksek fenol konsantrasyonu için seyreltilen örnekten 2,0 ml deney tüplerine konur.

3- Deney tüplerindeki örneklerle, % 5 $K_3Fe(CN)_6$ içeren 0,1 Molar glisin çözeltisinden 0,2 ml eklenir.

4- Üçüncü aşamada oluşturulan sarı örneğe, % 0,25 4-aminoantipirin içeren 0-1 Molar glisin çözeltisinden 2,0 ml eklenir. Elde edilen çözeltinin pH 'sı derişik NaOH çözeltisi ile 9,7 'ye getirilir. Örnekteki fenolden dolay antipi-

rin boyarmaddesi oluşması nedeniyle kırmızı renk gözlenir.

BIYOMAS ANALİZİ

5- Deney sırasında kullanılan yeni reaktif çözeltilerinden doğabilecek tutarsızlıkları önlemek için, her deneyden önce reaktifler kullanılarak hazırlanan standartlar, spektrofotometrede okunur. Standartlar ve örnekler spektrofotometrede 505 nm dalga boyunda okunur.

6- Örneklerdeki fenol miktarı, standartların okunması ile elde edilen kalibrasyon eğrileri kullanılarak hesaplanır.

Aynı şekilde aktif çamurdan alınan 10 ml 'lik örnekler 0,4 µ por büyüklüğünde membranlar ile süzülür ve 110 °C de 24 saat süreyle kurutulur ve ağırlığı belirlenir.

Okunan absorbansları zamanla göre bir grafiğe aktarak suretiyle elde edilen artan lineer bir doğru ile biyomas konsantrasyonunun artması gözlemlenmiştir. (Şekil 2.2) Aynı şekilde okunan bu absorbanslar ile kurutulmuş elde edilen biyomas ağırlıkları arasında çizilen grafikten de takip edilmiştir.

Sisteminde biyomas analizi yapılırken canlı hareketleri ve flokların oluşması bir mikroskop vasıtasıyla gözle ayrıca izlenmiştir.

2.4.2.

BIYOMAS ANALİZİ

Aktif çamur sisteminde biyomas konsantrasyonu sistemin fenol biodegradasyonu ve oksijen tüketimi açısından çok önemlidir. Bu nedenle aktif çamur oluşturılmaya başlanmasıyla birlikte biyomas konsantrasyonu ve biyomas ağırlığı devamlı olarak ölçülmüştür.

Aktif çamurdan alınan 5 ml 'lik örnekler saf su ile 250 ml 'ye seyreltilmiş, bir karıştırıcı ile homojen bir şekilde karıştırılarak 660 nm 'de spektrofotometrede absorbanları okunmuştur.

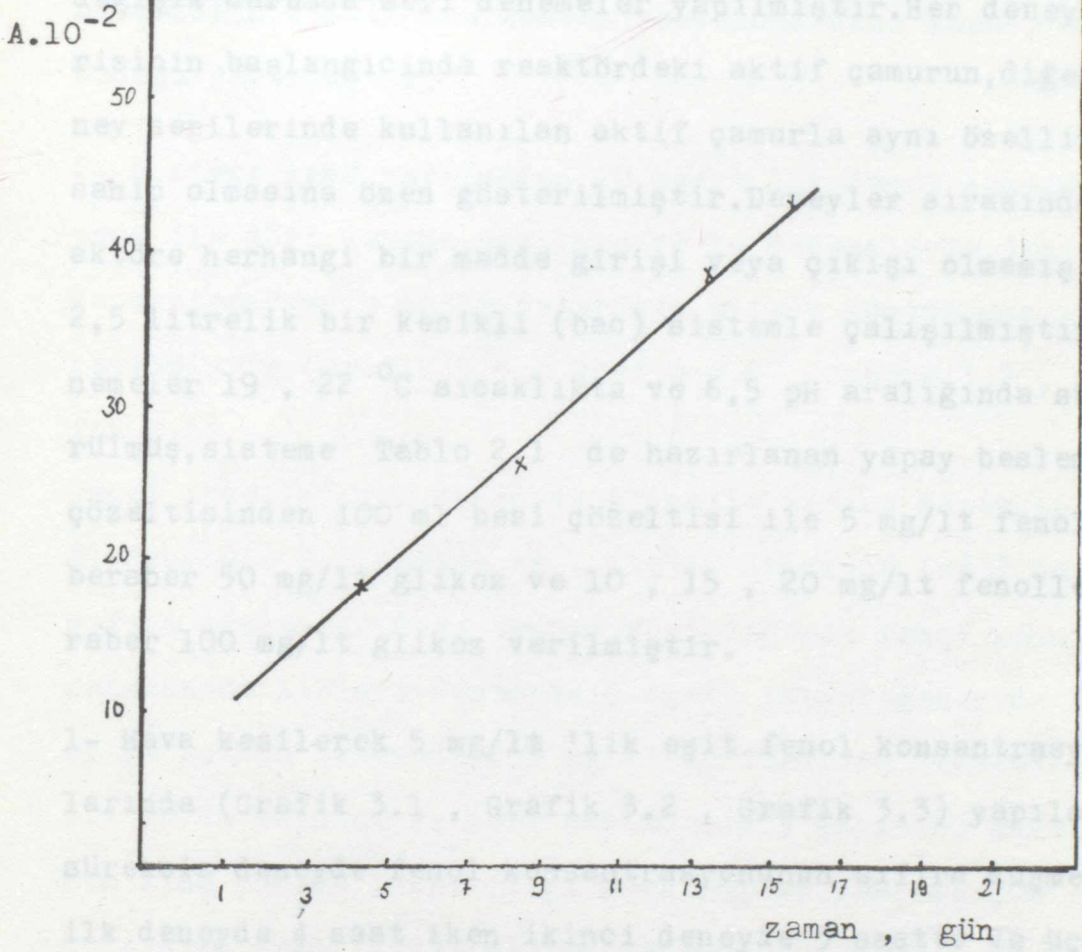
Aynı şekilde aktif çamurdan alınan 10 ml 'lik örnekler 0,4 µ por büyüklüğünde membranlardan süzüldükten sonra 110 °C de 24 saat süreyle kurutularak ağırlığı bulunmuştur.

Okunan absorbanları zamana göre bir grafiğe aktarmak suretiyle elde edilen artan lineer bir doğrudan biyomas konsantrasyonunun artması gözlenmiştir. (Şekil 2.2) Aynı şekilde okunan bu absorbanlar ile kurutularak elde edilen biyomas ağırlıkları arasında çizilen grafikten de takip edilmiştir.

Sistemde biyomas analizi yapılırken canlı hareketleri ve flokların oluşması bir mikroskop vasıtasıyla gözle ayrıca izlenmiştir.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Fenol biyodegradasyonu üzerinde yapılan bu çalışmalarda, 5



Şekil 2.2 Zamana göre biyomas konsantrasyonu

3.1.1 konsantrasyonu 10 mg/lt olduğu zaman reaktördeki ok-

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Fenol biodegradasyonu üzerinde yapılan bu çalışmalarda, 5 değişik durumda seri denemeler yapılmıştır. Her deney serisinin başlangıcında reaktördeki aktif çamurun, diğer deney serilerinde kullanılan aktif çamurla aynı özelliklere sahip olmasına özen gösterilmiştir. Deneyler sırasında reaktöre herhangi bir madde girişi veya çıkışı olmamış ve 2,5 litrelik bir kesikli (bac) sistemle çalışılmıştır. Denemeler 19 , 22 °C sıcaklıkta ve 6,5 pH aralığında sürdürülmüş, sisteme Tablo 2.1 de hazırlanan yapay besleme çözeltilisinden 100 ml besi çözeltilisi ile 5 mg/lt fenolle beraber 50 mg/lt glikoz ve 10 , 15 , 20 mg/lt fenolle beraber 100 mg/lt glikoz verilmiştir.

1- Hava kesilerek 5 mg/lt 'lik eşit fenol konsantrasyonlarında (Grafik 3.1 , Grafik 3.2 , Grafik 3.3) yapılan üç süreksiz deneyde fenol konsantrasyonunun sıfıra düşmesi, ilk deneyde 4 saat iken ikinci deneyde 3 saatte ve üçüncü deneyde ise 1,5 saatte olmuştur. Aynı şekilde havasız ortamda fenol konsantrasyonu 10 mg/lt ye çıkartılmış ancak bunun 6 mg/lt si 4 saatte tüketilebilmiştir. (Grafik 3.4)

Aynı deneylerde oksijen tüketimi fenol tüketimine paralel olarak artmış, ilk deneyde oksijen konsantrasyonu 4 mg/lt ye inerken (Grafik 3.1) ikinci deneyde 3 mg/lt ye (Grafik 3.2) ve üçüncü deneyde 2,5 mg/lt ye inmiştir. (Grafik 3.3)

Fenol konsantrasyonu 10 mg/lt olduğu zaman reaktördeki oksijenin yeterli olmadığı ve ancak 6 mg/lt sinin tüketilmesine yeterli olduğu görülmüştür. 5 mg/lt lik fenol tüketimi için 5 , 6 mg/lt kadar oksijen tüketildiği ve mikroorganizmaların fenolün bu konsantrasyonuna kısa sürede adapte olduğu görülmüştür.

2- Sisteme hava verilmeden 10 mg/lt lik fenol konsantrasyonu ile dört deneme yapılmış ve bu denemelerde, oksijen konsantrasyonu 1 mg/lt değerinin altına düştüğünde hava verilmiştir. (Grafik 3.5 , Grafik 3.6 , Grafik 3.7 , Grafik 3.8)

Fenol tüketimi ilk denemede 4 saatte sifıra düşerken, ikinci denemede 2,5 saatte ve 3 ile 4. denemede ise 2 saatte sifıra düşmüştür. Hava tekrar verildiğinde fenol konsantrasyonunun birinci denemede 5 mg/lt ikinci denemede 4,5 mg/lt üçüncü denemede 2,3 mg/lt ve dördüncü denemede ise 1,4 mg/lt kaldığı ve hava verilmesiyle kalan bu miktarların kısa sürede tüketildiği görülmüştür. Başlangıçta 4 saatte olan fenol tüketimi son deneyde 2 saatte gerçekleşmiştir.

Aynı şekilde fenol tüketimiyle beraber oksijen tüketimi artarak havasız durumdaki oksijen konsantrasyonu birinci denemede 2 saatte 0,7 mg/lt değerine kadar inerken, diğer üç denemede 1 saatte 0,2 mg/lt değerine indiği gözlenmiştir. Bu denemelerde fenol konsantrasyonunun ilk denemelerin (Grafik 3.1 , Grafik 3.2 , Grafik 3.3) iki katı olmasıyla beraber oksijen tüketimi ilk denemelere göre daha

fazla olmakta ve fenol tüketimine direkt olarak etkilemektedir. Bu da mikroorganizmaların fenolün bu konsantrasyonuna da kolaylıkla adapte olduğunu gösterir. (Grafik 3.5 , Grafik 3.6 , Grafik 3.7 , Grafik 3.8)

3- Sistem tamamen havalandırılarak 10 mg/lt fenol tüketimi (Grafik 3.9) , hava kesilerek (Grafik 3.4) ve arada havalandırılarak (Grafik 3.6) yapılan denemelere göre daha kısa sürede olmuştur. Hava verilmediği zaman fenol konsantrasyonu 4 saatte 3,5 mg/lt kalmışken, arada havalandırıldığı zaman ise fenol konsantrasyonunun 1,5 saatte tükendiği görülmüştür. Aynı şekilde havalandırılarak 15 ile 20 mg/lt konsantrasyonunda iki defa fenol verilmiş (Grafik 3.10 , Grafik 3.11) ve fenol tüketimi, 15 mg/lt lik konsantrasyonda 2,5 saatte 20 mg/lt lik konsantrasyonda 2 saat 45 dakikada gerçekleşmiştir. Bu da göstermektedir ki fenol konsantrasyonunun azar azar arttırılması ile mikroorganizmaları etkilemeden kolaylıkla tüketilmelerini sağlayabilmektedir.

Fenol konsantrasyonunun kısa sürede tüketimi ile birlikte oksijen tüketimi de hızlı bir şekilde artmış, devamlı hava verilmesine rağmen yine de çözünmüş oksijen konsantrasyonunda 3,2 mg/lt lik bir azalma görülmüştür. Sisteme havalandırılarak fenolün verilmesiyle beraber ilk 15 dakika içerisinde oksijen tüketimi hızla artarak çözünmüş oksijen konsantrasyonunda bir azalma görülmüş, mikroorganizmaların kısa bir süre fenolü almamaları ile oksijen

konsantrasyonunda artma meydana gelmiştir. Mikroorganizmaların fenolü tekrar tüketmeye başlamalarıyla oksijen konsantrasyonu da azalmaya başlamış ve fenolün tüketilmesiyle tekrar başlangıç konsantrasyonuna ulaşmıştır.

4- 10 mg/lt lik fenol konsantrasyonu ile yapılan bu deneylerde reaktördeki oksijen 3 mg/lt , 5 mg/lt , 7 mg/lt ve 10 mg/lt konsantrasyonlarında çalışılmıştır. (Grafik 3.12 , 3.13 , 3.14 , Grafik 3.9) 3 mg/lt oksijen başlangıç konsantrasyonunda (Grafik 3.12) fenol tüketimi 5,5 saatte tamamlanırken, 5 mg/lt oksijen başlangıç konsantrasyonunda (Grafik 3.13) 4,5 saatte, 7 mg/lt oksijen başlangıç konsantrasyonunda (Grafik 3.14) 2 saat 45 dakikada ve 10 mg/lt oksijen başlangıç konsantrasyonunda ise 1,5 saatte gerçekleşmiştir. (Grafik 3.9) Mikroorganizmaların 10 mg/lt lik fenol konsantrasyonuna adapte olmalarına rağmen, azaltılan oksijen konsantrasyonuna paralel olarak fenol tüketimi uzun sürede gerçekleşmekte ve oksijen konsantrasyonu artırıldığında bu süre çok kısa olmaktadır.

Buradan da anlaşılmaktadır ki fenolün biodegradasyonunda mikroorganizmaların fenole adapte olmaları yanında gerekli olan çözünmüş oksijenin de yeterli miktarda bulunması şarttır.

5- Mikroorganizmaların fenole adapte olmalarından sonra 10 mg/lt lik fenol konsantrasyonu ile iki deneme daha yapılmıştır. Fenol, birinci denemede (Grafik 3.15) peşpeşe i-

ki defa ve ikinci denemede (Grafik 3.15) peşpeşe üç defa verilmiştir. Birinci denemede verilen 10 mg/lt lik fenol 1 saat 15 dakikada tüketilmiş ve peşinden verilen ikinci 10 mg/lt lik fenol ise 1,5 saatte tüketilmiştir. İkinci denemede yine 10 mg/lt fenol verilmiş ve bu 1 saat 15 dakikada tüketilirken peşpeşe verilen diğer iki 10 mg/lt lik fenolün de aynı şekilde 1 saat 15 dakikada tüketildiği gözlenmiştir. Bu da mikroorganizmaların peşpeşe verilen fenoller rahatlıkla tükettiklerini gösterir.

İlk denemede (Grafik 3.15) verilen fenollerden ikincisinin tüketimi birincisine nazaran 15 dakikalık bir gecikme ile gerçekleşirken, ikinci denemede (Grafik 3.16) ise peşpeşe üç defa fenol verilmesine rağmen tüketilmelerinde bir gecikme dahi olmamıştır.

Fenol konsantrasyonlarının peşpeşe verilerek tüketilmesi sırasında çözünmüş oksijen de aynı şekilde hızla kullanılarak oksijen konsantrasyonunda, hava verilmesine rağmen düşmeler olmuştur.

Bu son iki deneme, fenole adapte olmuş mikroorganizmalar vasıtasıyla atıklardaki fenolün devamlı verilerek sürekli sistemlerde arıtılması daha kolay ve ekonomik olacağını göstermektedir.

3.1.1.

GRAFİKLER İÇİN AÇIKLAMA

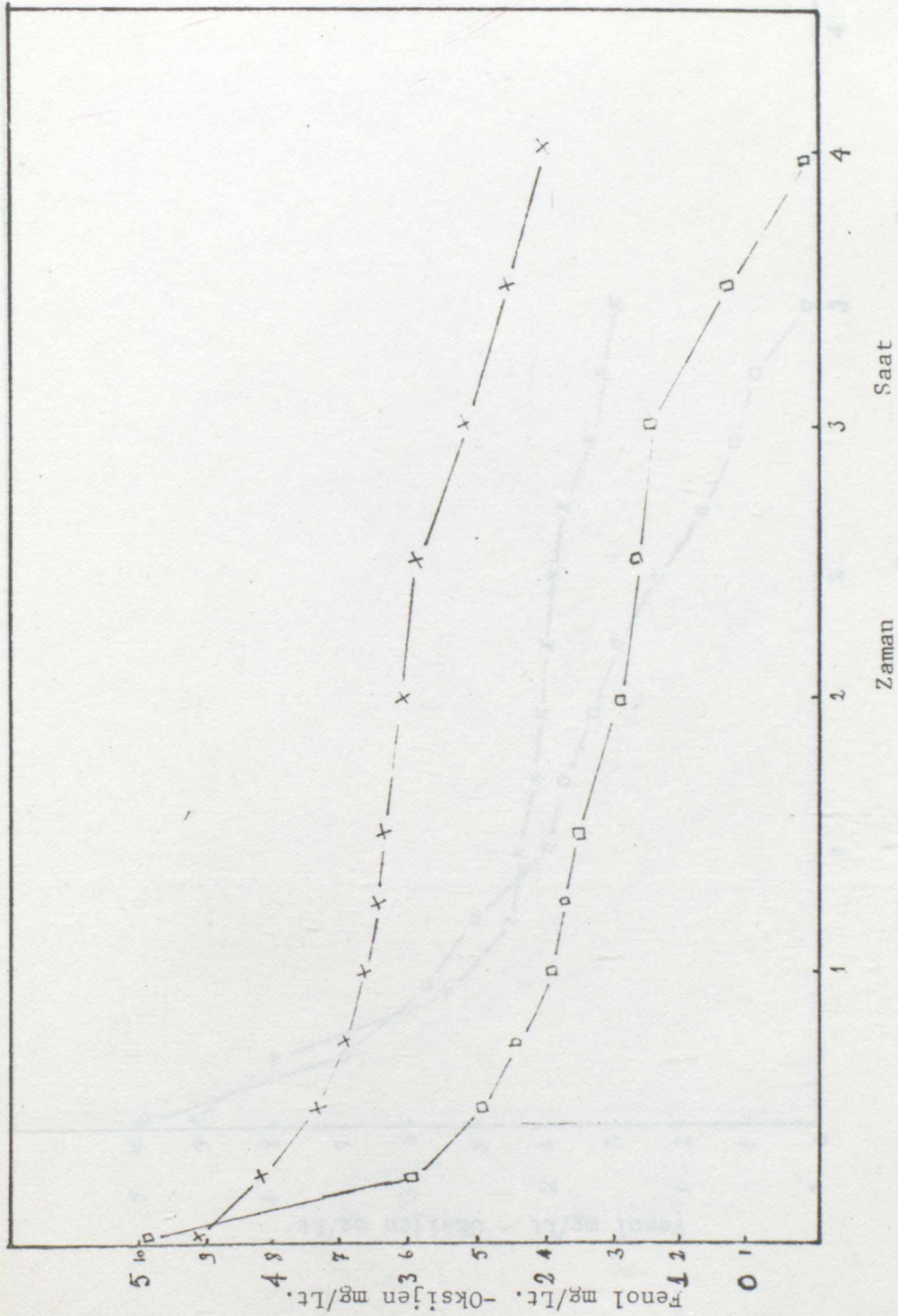
Aşağıdaki bütün grafiklerde ;

-□- Fenol konsantrasyonu (mg/lt)

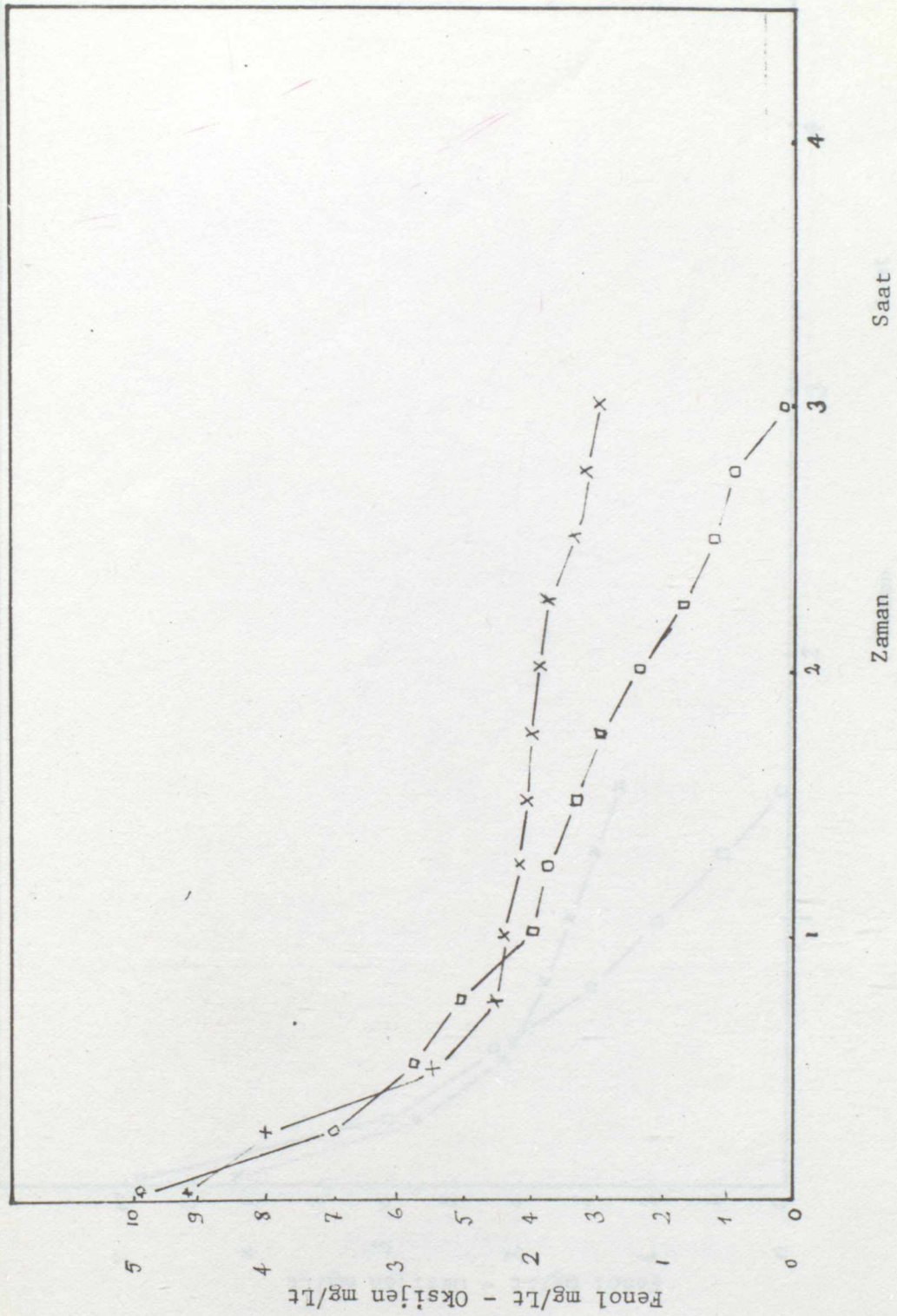
-x- Çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/lt)

değerlerini gösterir.

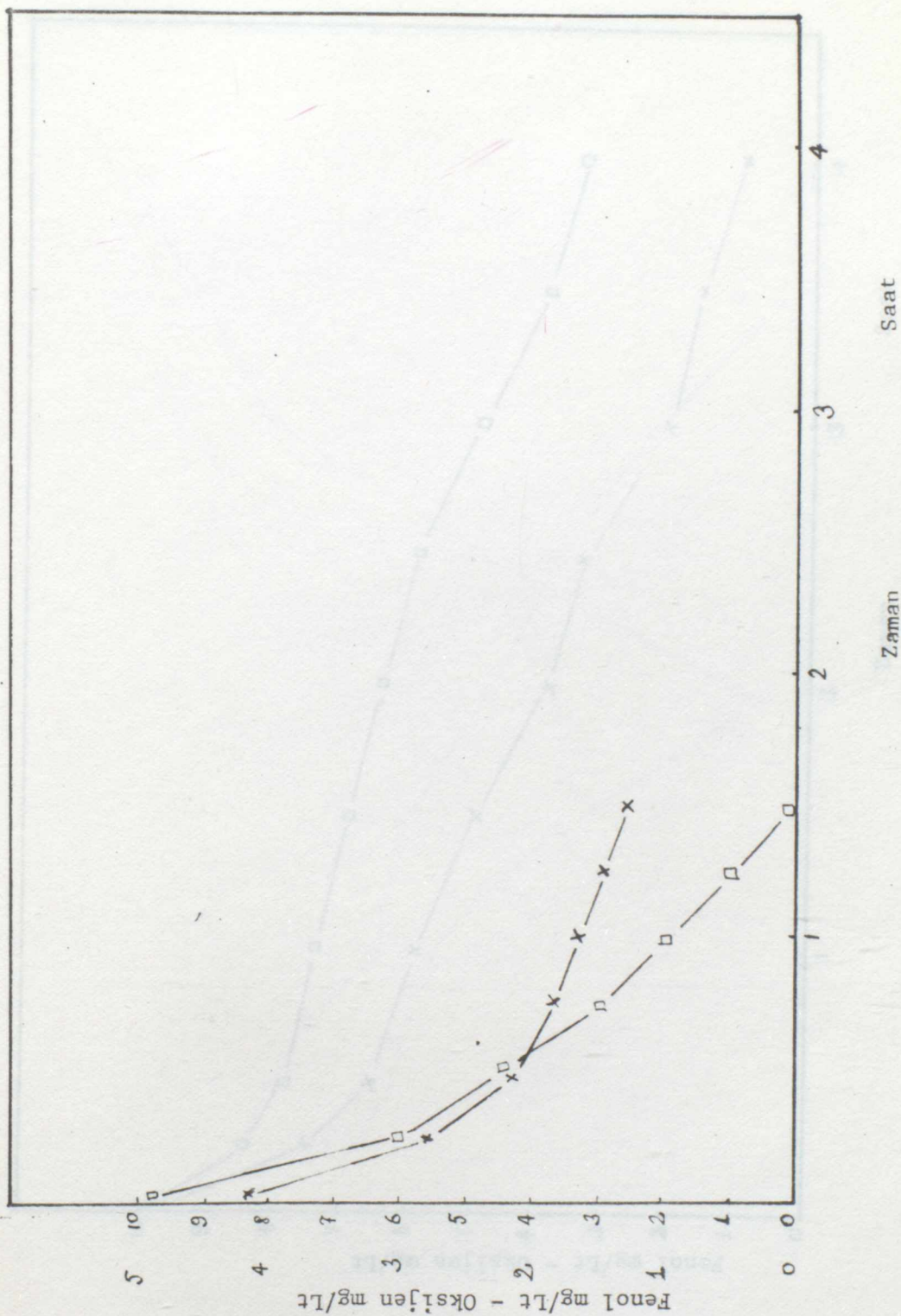
- | | |
|-------------|--|
| Grafik 3.1 | Sistem havalandırılmadan,(5 mg/lt fenol) |
| Grafik 3.2 | Sistem havalandırılmadan,(5 mg/lt fenol) |
| Grafik 3.3 | Sistem havalandırılmadan,(5 mg/lt fenol) |
| Grafik 3.4 | Sistem havalandırılmadan,(10 mg/lt fenol) |
| Grafik 3.5 | Sistem arada havalandırılmalı,(10 mg/lt fenol) |
| Grafik 3.6 | Sistem arada havalandırılmalı,(10 mg/lt fenol) |
| Grafik 3.7 | Sistem arada havalandırılmalı,(10 mg/lt fenol) |
| Grafik 3.8 | Sistem arada havalandırılmalı,(10 mg/lt fenol) |
| Grafik 3.9 | Sistem havalandırılarak,(10 mg/lt fenol) |
| Grafik 3.10 | Sistem havalandırılarak,(15 mg/lt fenol) |
| Grafik 3.11 | Sistem havalandırılarak,(20 mg/lt fenol) |
| Grafik 3.12 | Sistem kontrollü havalandırılmalı,(10 mg/lt fenol) |
| Grafik 3.14 | Sistem kontrollü havalandırılmalı,(10 mg/lt fenol) |
| Grafik 3.15 | Sistem havalandırılarak peşpeşe fenol veril-
mesi,(iki defa 10 mg/lt fenol) |
| Grafik 3.16 | Sistem havalandırılarak peşpeşe fenol veril-
mesi,(üç defa 10 mg/lt fenol) |



Grafik 3.1

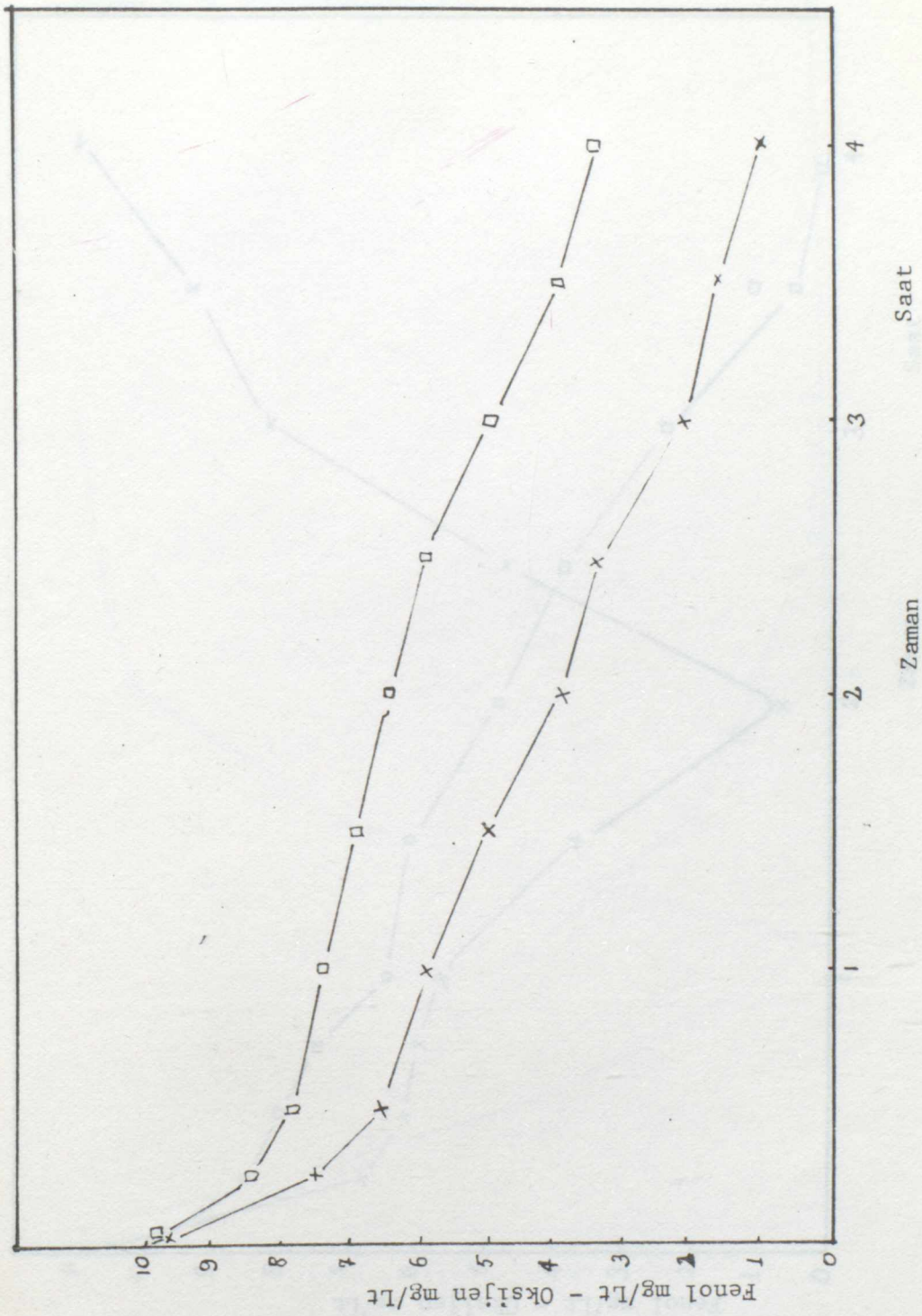


Grafik 3.2

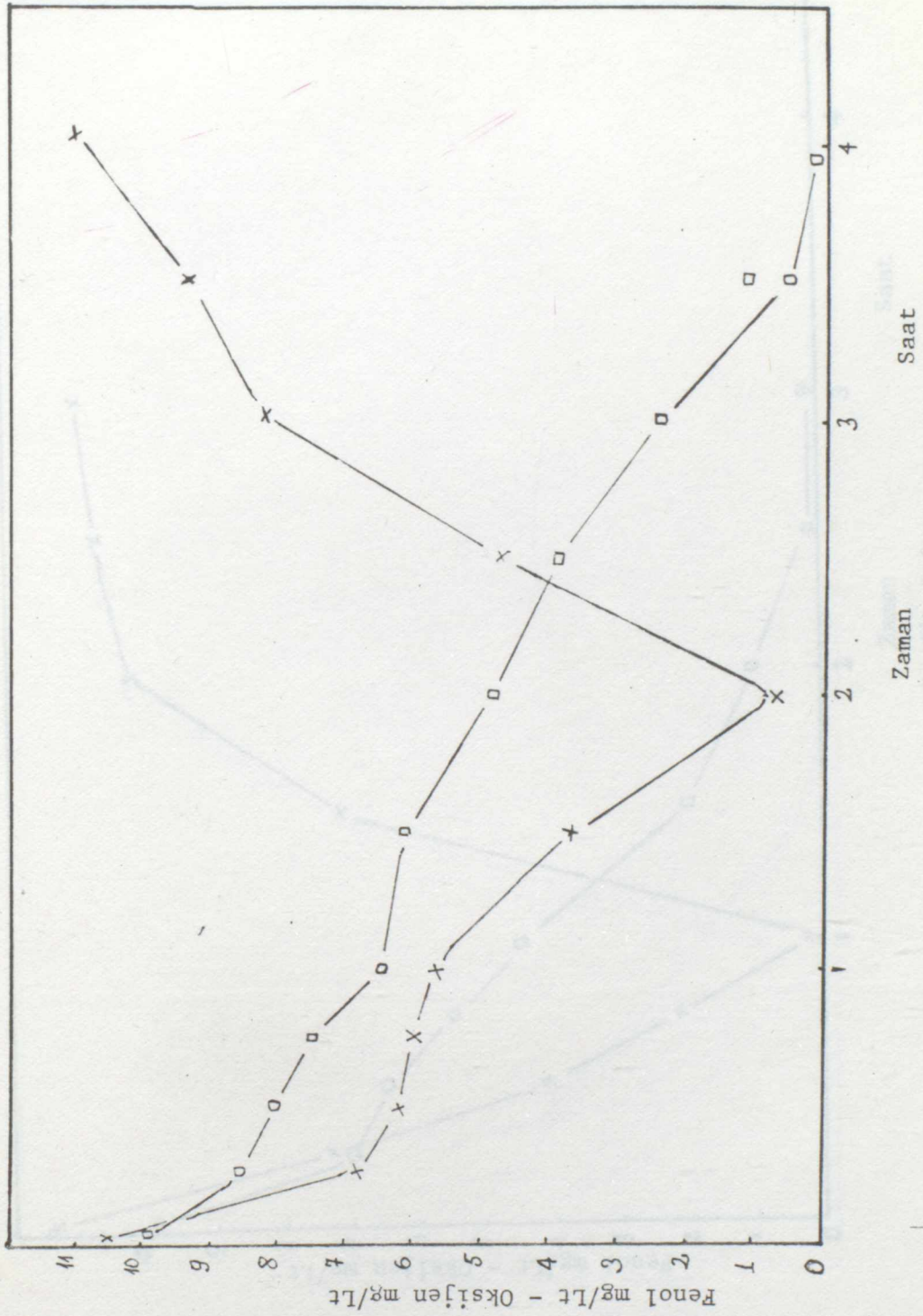


Saat

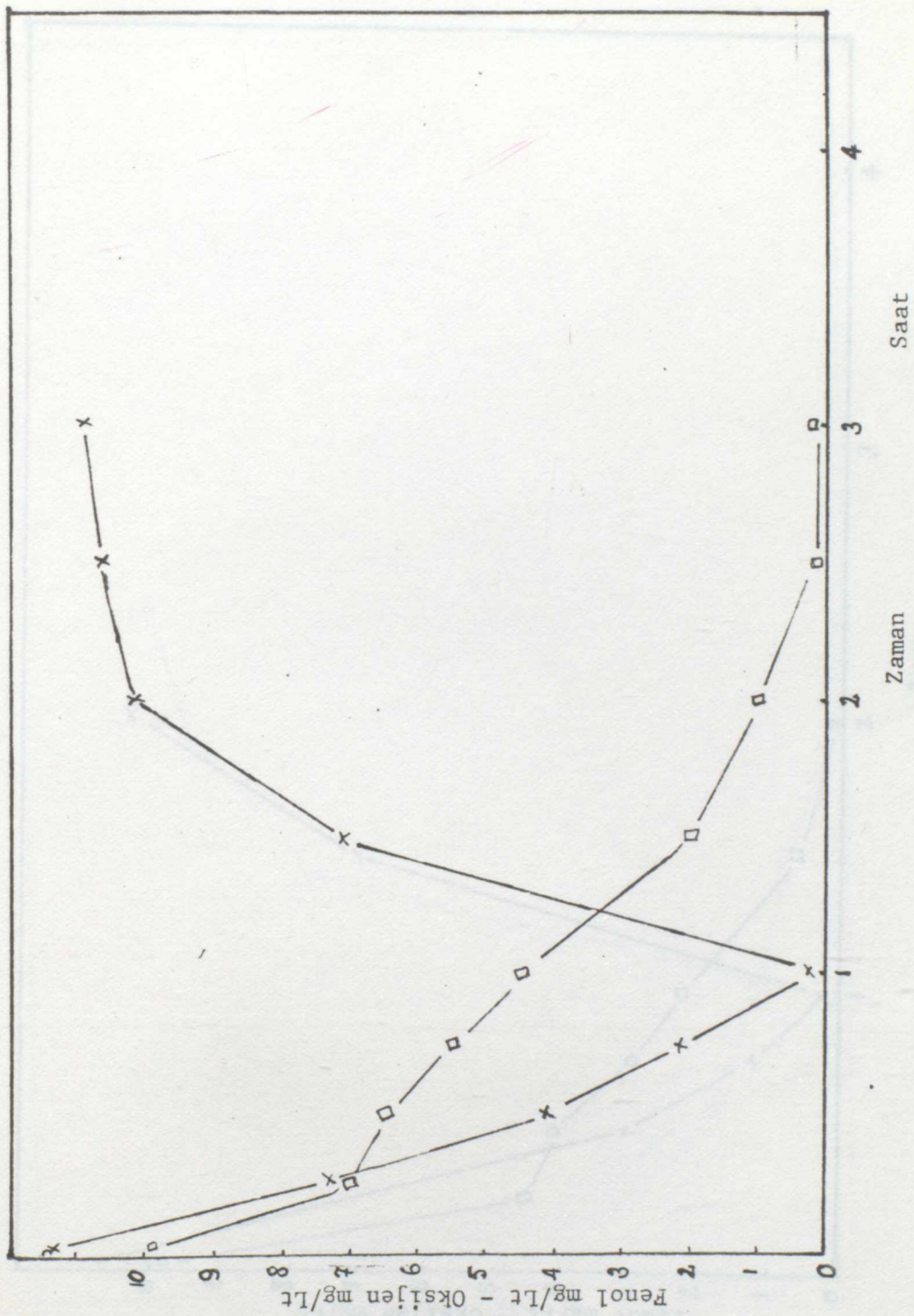
Zaman
Grafik 3.3



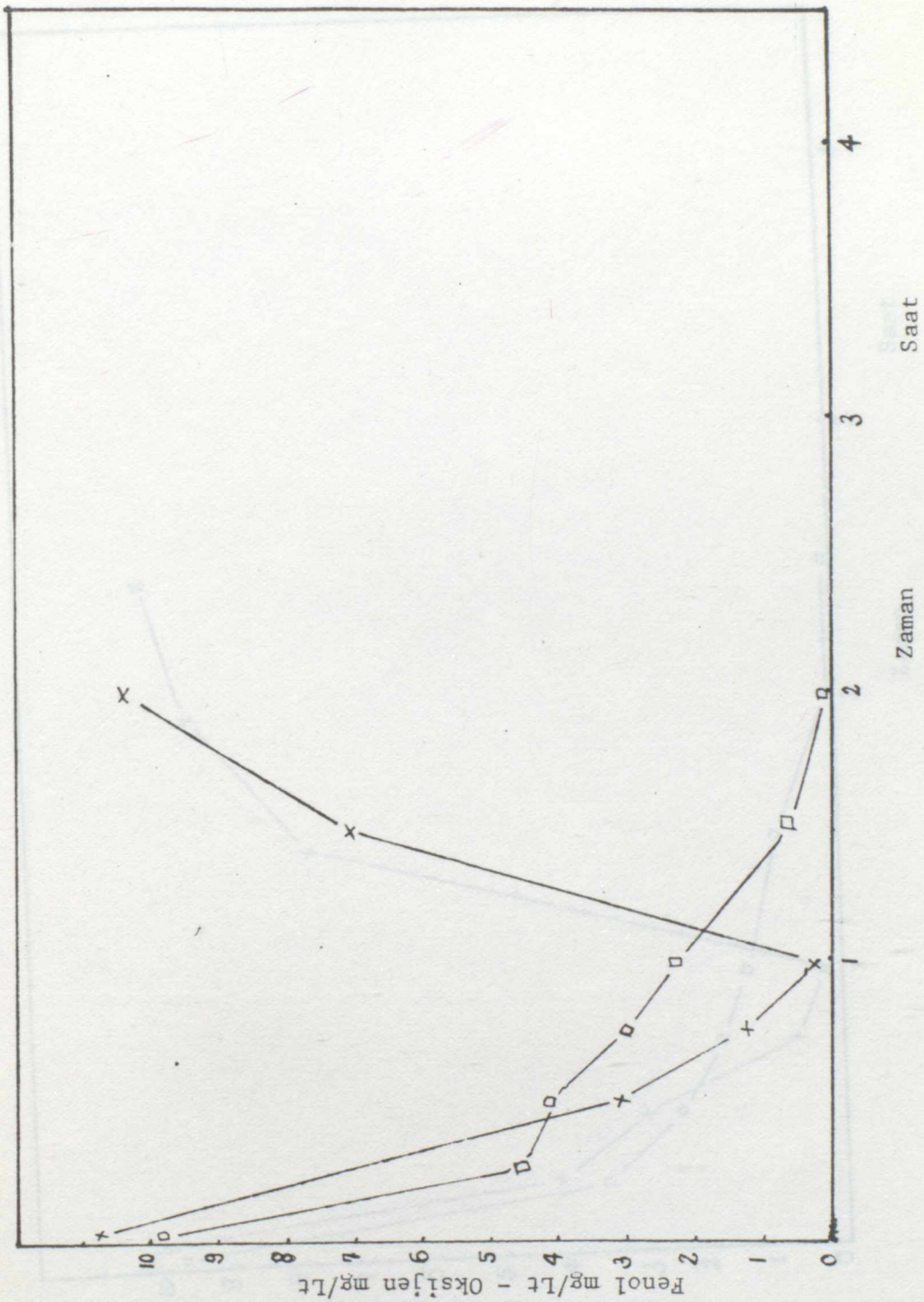
Grafik 3.4



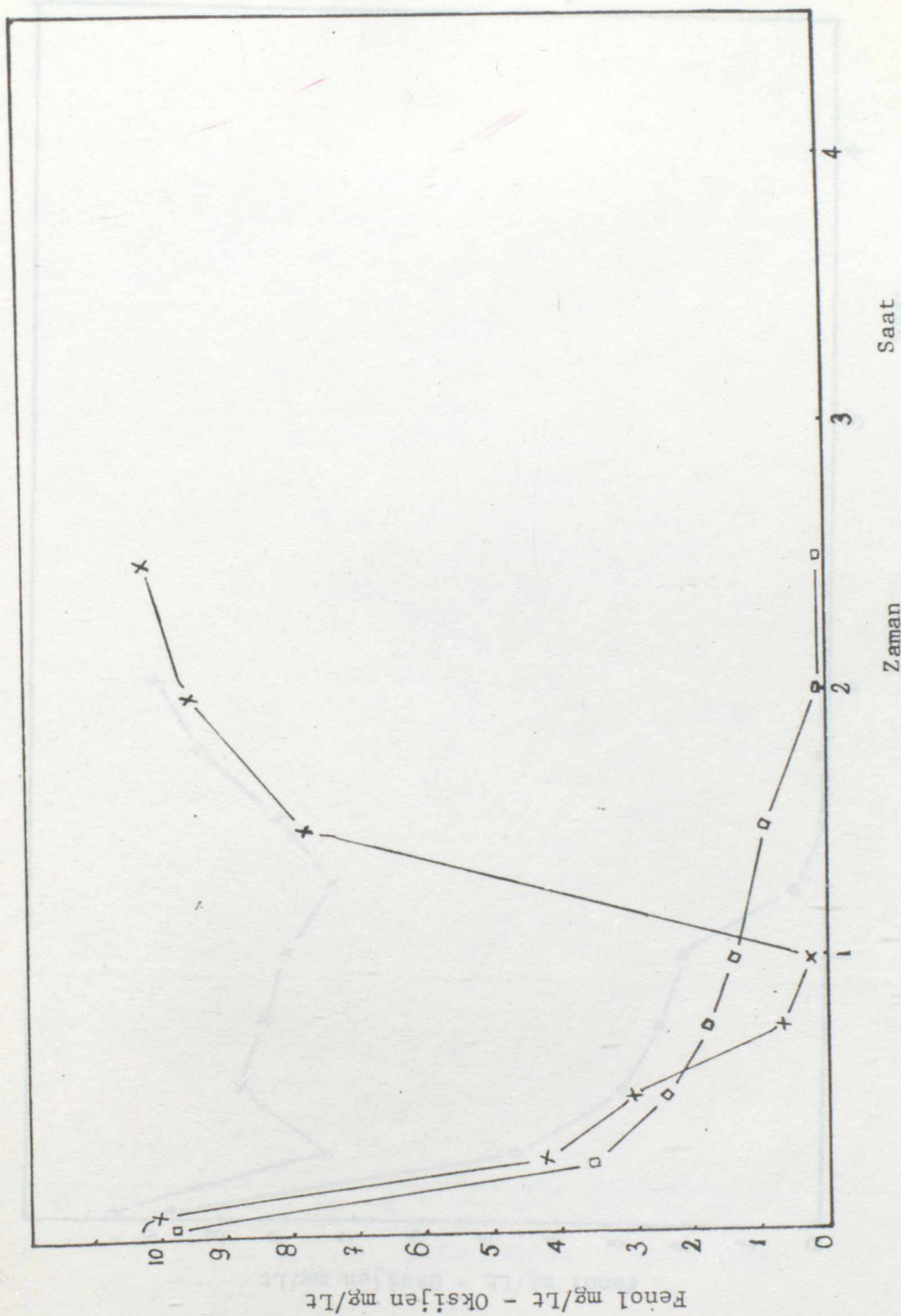
Grafik 3.5



Grafik 3.6



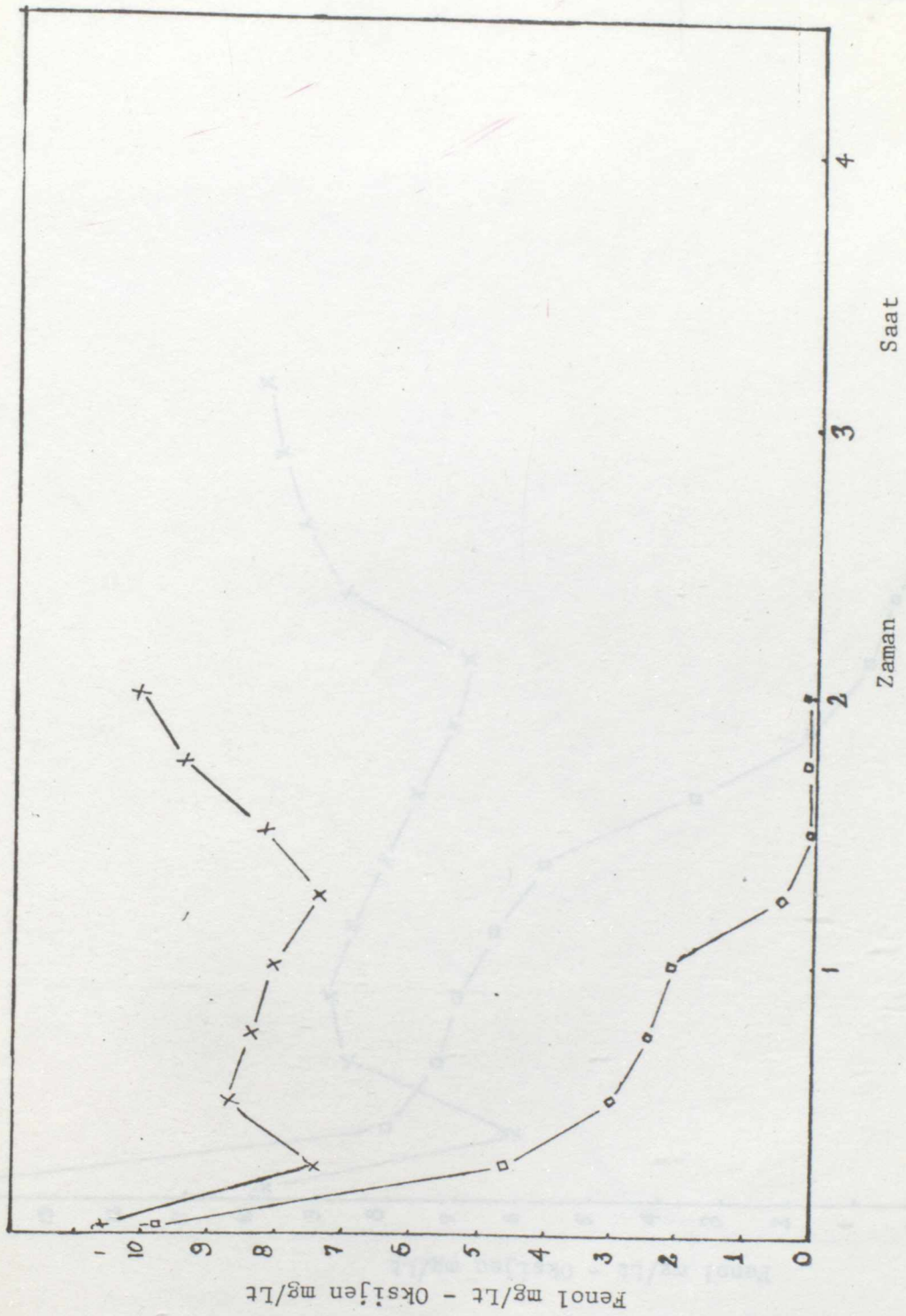
Grafik 3.7



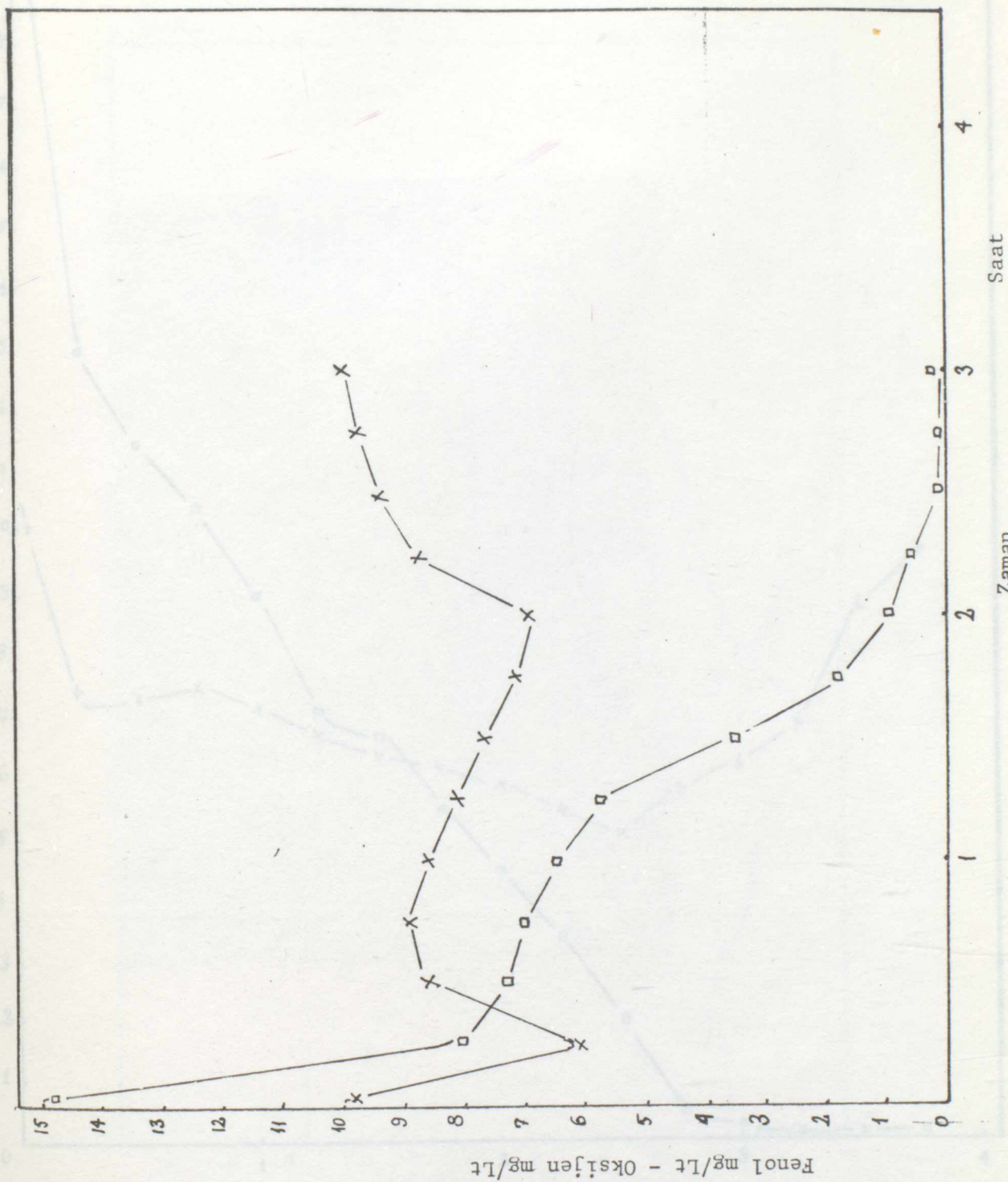
Saat

Zaman

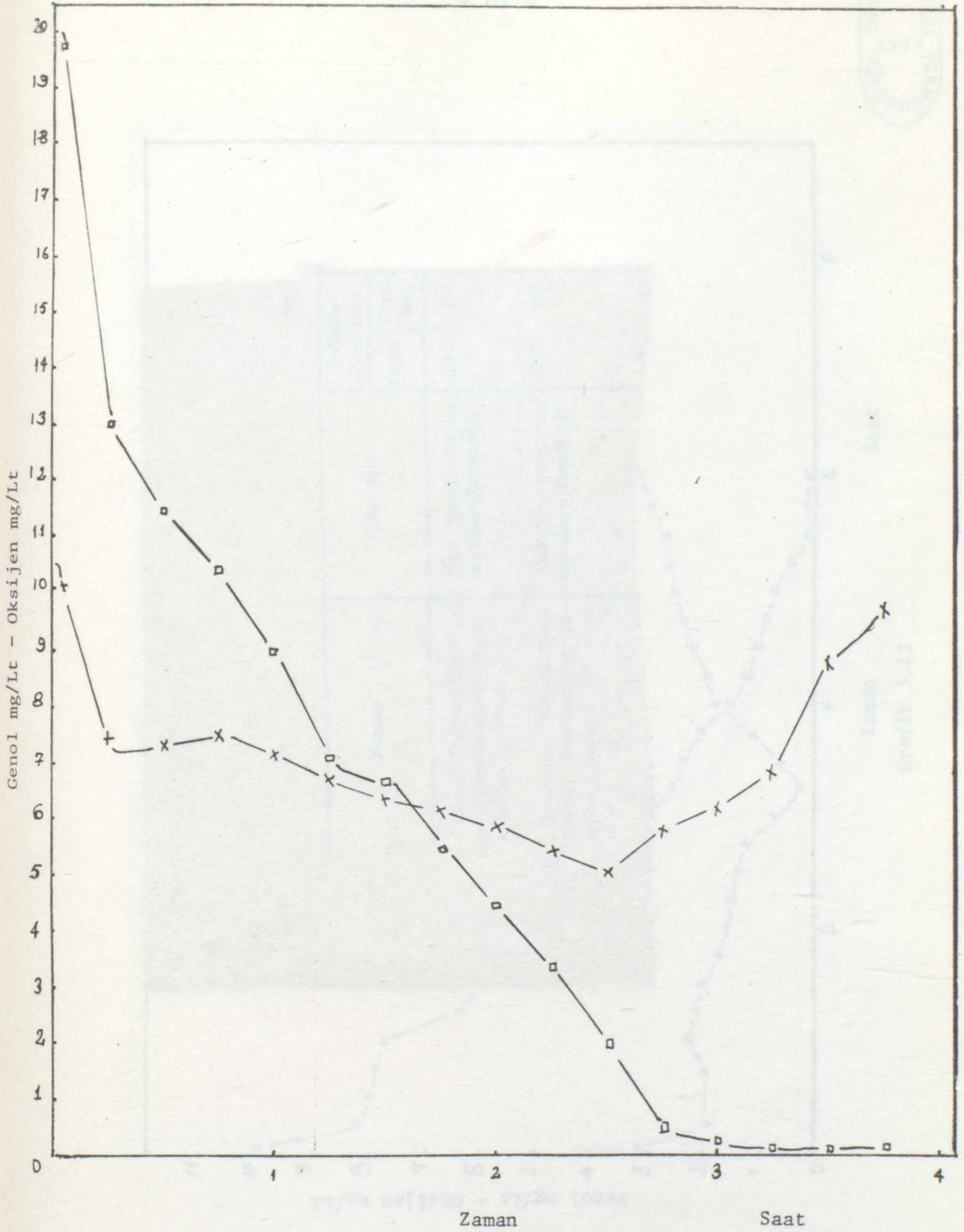
Grafik 3.8



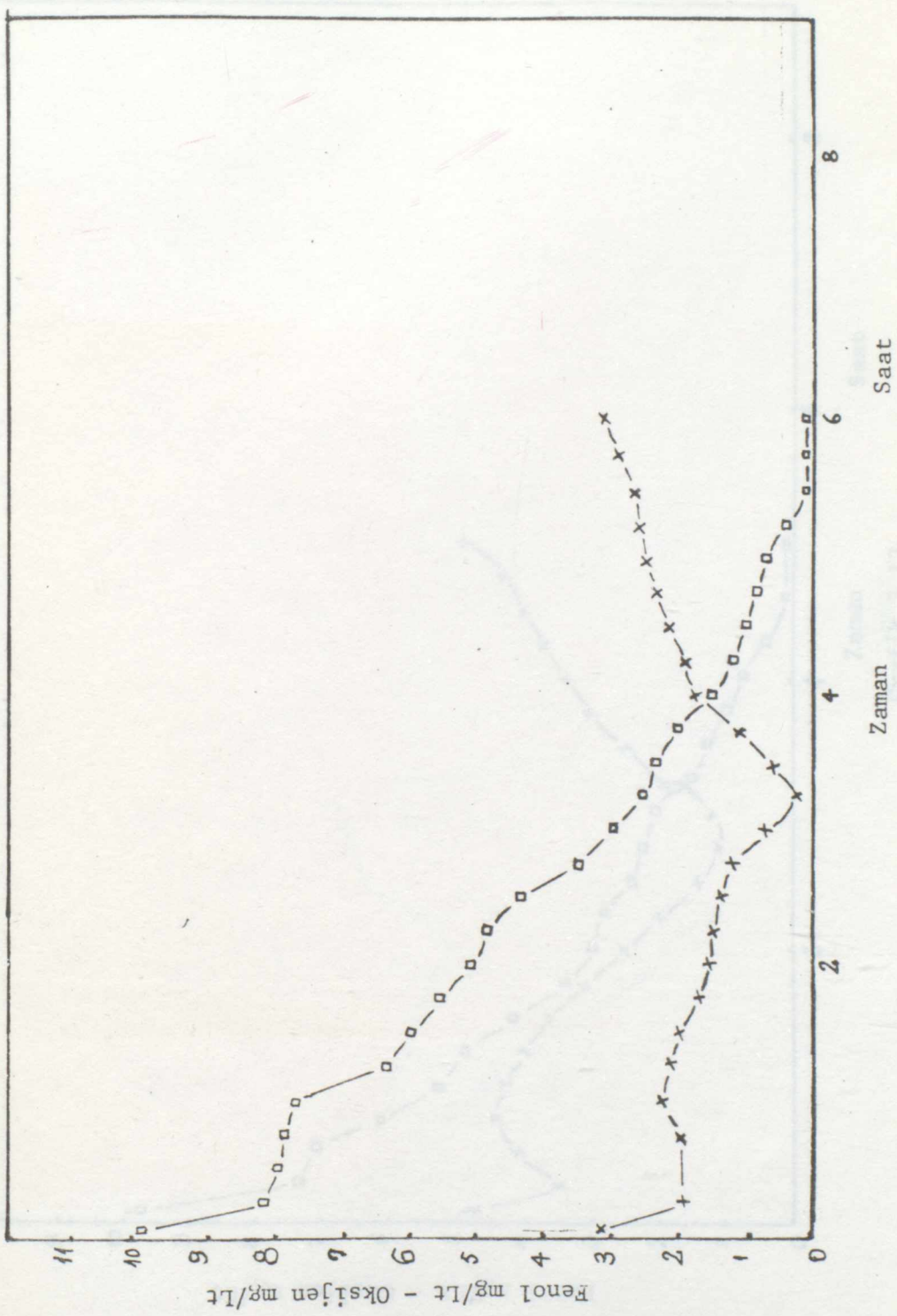
Grafik 3.9



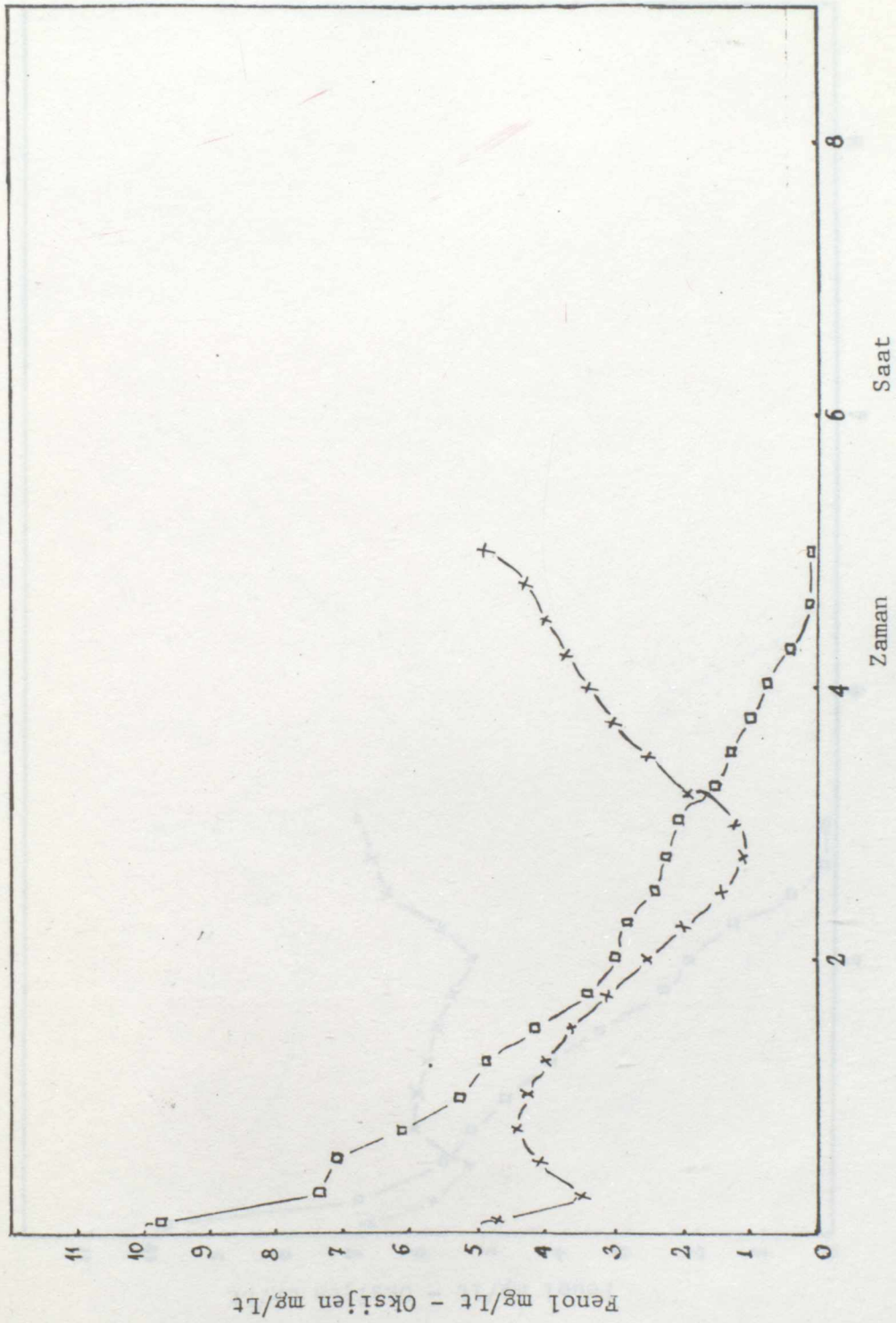
Grafik 3.10



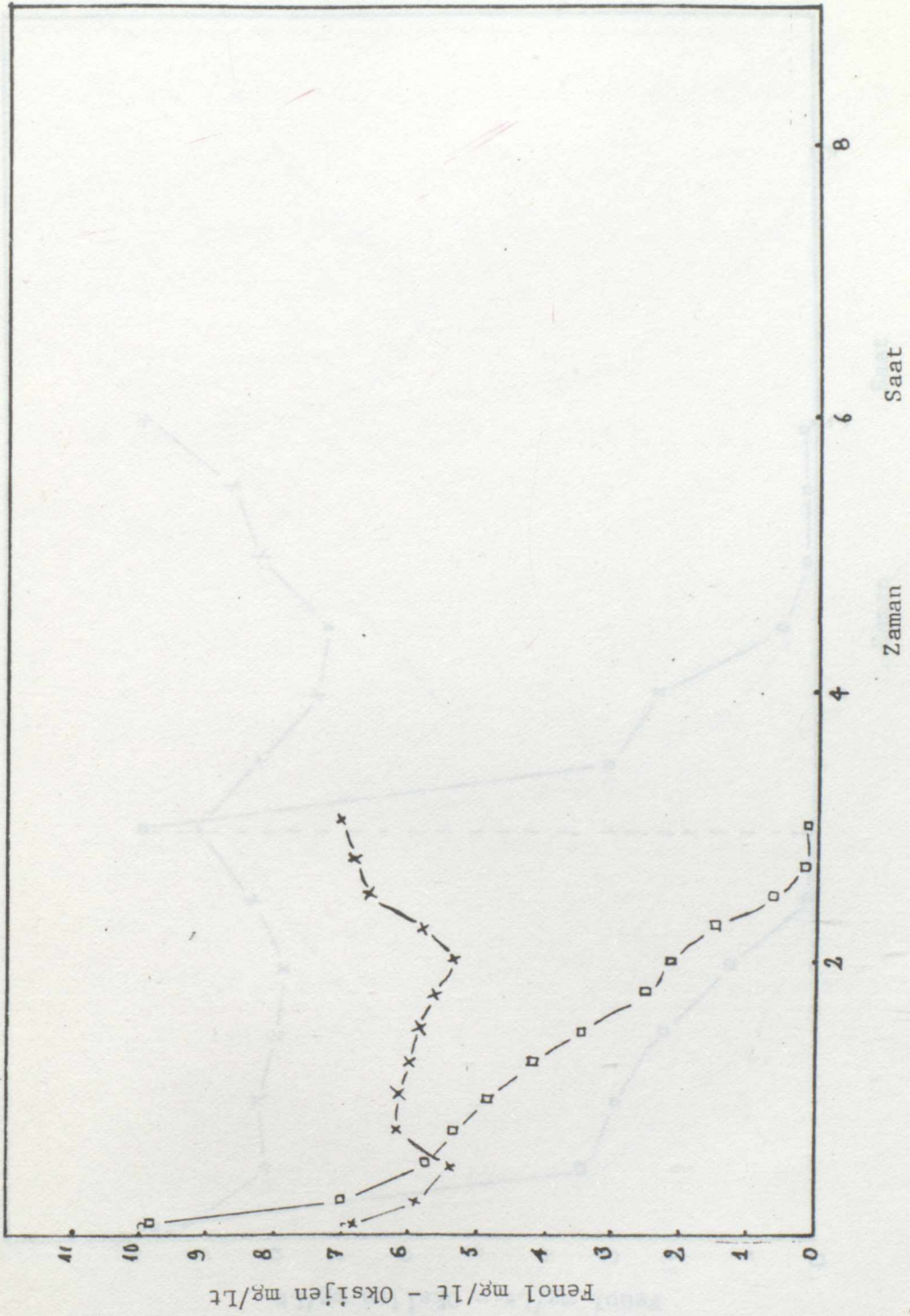
Grafik 3.11



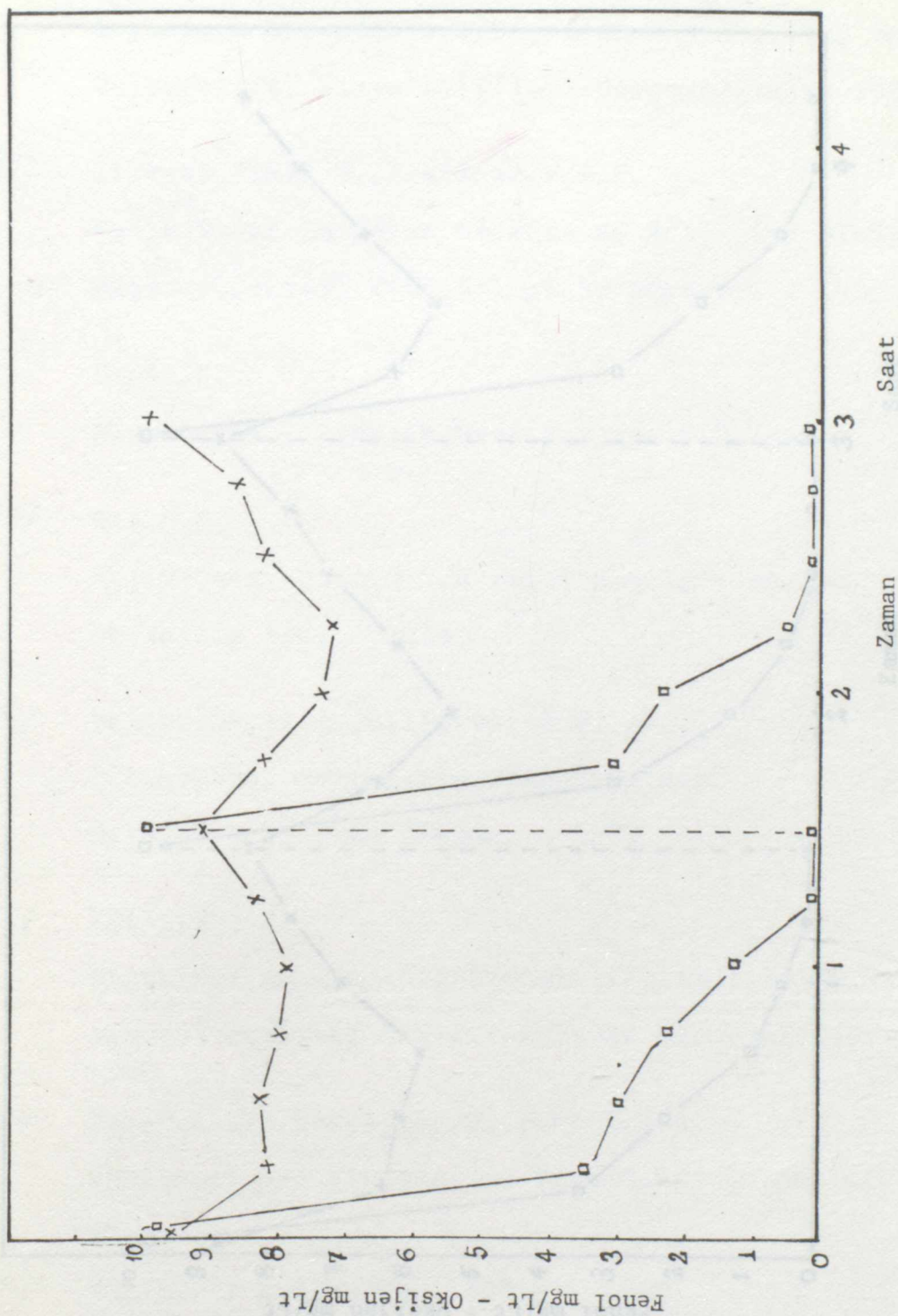
Grafik 3.12



Grafik 3.13



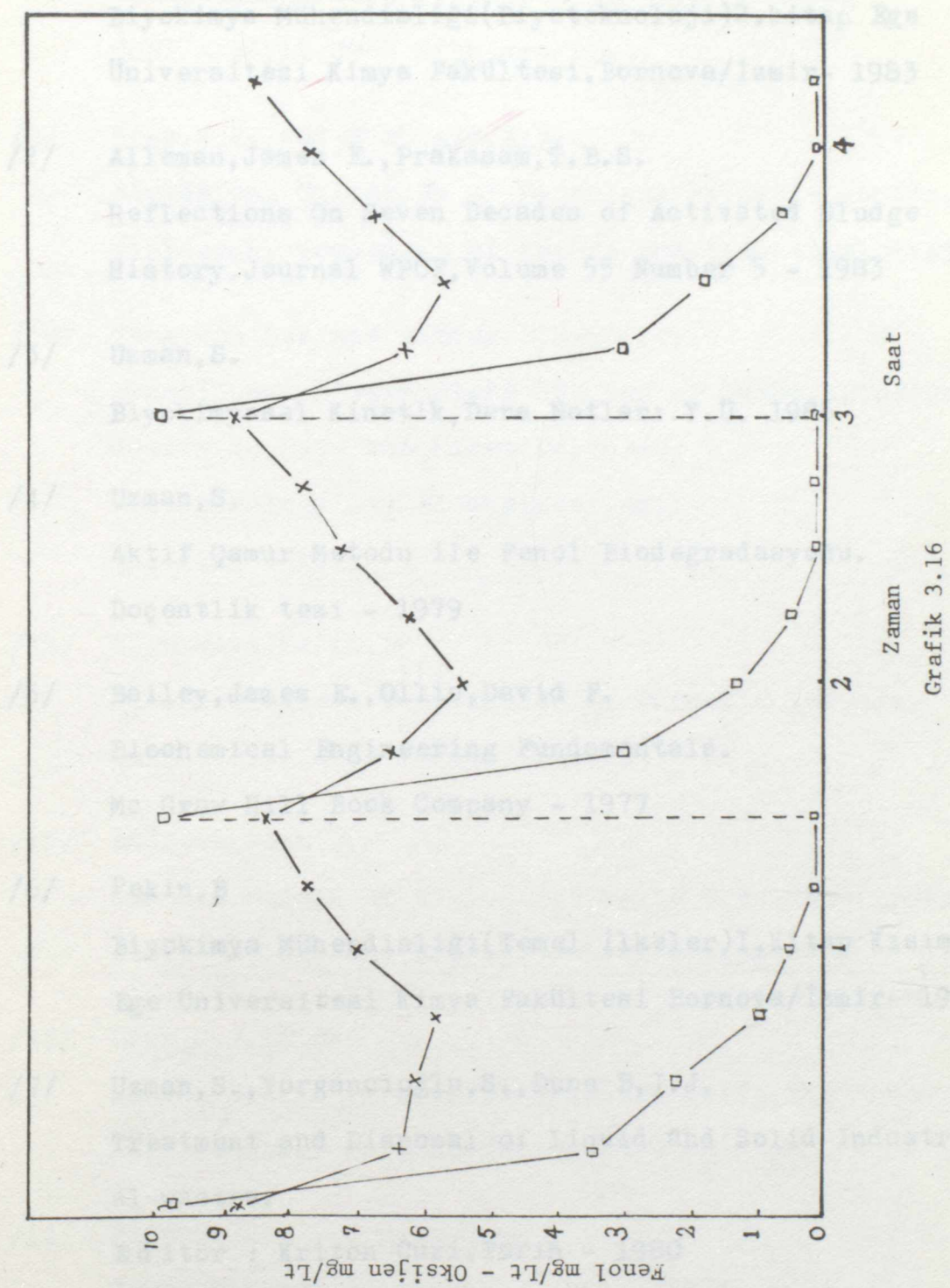
Grafik 3.14



Grafik 3.15

BIBLIOGRAFYA

/1/ Perin, B.



Grafik 3.16

BİBLİYOGRAFYA

- /1/ Pekin, B.
Biyokimya Mühendisliği (Biyoteknoloji) 2. kitap Ege
Üniversitesi Kimya Fakültesi. Bornova/İzmir- 1983
- /2/ Alleman, James E., Prakasam, T.B.S.
Reflections On Seven Decades of Activated Sludge
History. Journal WPCF, Volume 55 Number 5 - 1983
- /3/ Uzman, S.
Biyokimyasal Kinetik, Ders Notları. Y.Ü. 1985
- /4/ Uzman, S.
Aktif Çamur Metodu ile Fenol Biodegradasyonu.
Doçentlik tezi - 1979
- /5/ Bailey, James E., Ollis, David F.
Biochemical Engineering Fundamentals.
Mc Graw Hill Book Company - 1977
- /6/ Pekin, B.
Biyokimya Mühendisliği (Temel İlkeler) I. Kitap Kısım II
Ege Üniversitesi Kimya Fakültesi Bornova/İzmir- 1980
- /7/ Uzman, S., Yorgancıoğlu, S., Dunn B, I.J.
Treatment and Disposal of Liquid and Solid Industri-
al wastes.
Editör : Kriton Curi. Tarih - 1980

- /8/ Holladay, D.W., Hancher, C.W., Chilcote, D.D., Scott, C.D.
Biodegradation of Phenolic Waste Liquors in Stirred-
Tank, Columnar and Fluidized Bed Bioreactors.
CONF - 76 11 09 - 4 (Mikrofilm).
- /9/ Ross, W.K. and Sheppard, A.A.
Biological Oxidation of Petroleum Phenolic Wastes.
Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes. 1956
- /10/ Yang, Ren Der and Arthur E. Humphrey
Dynamic and Steady State Studies of Phenol Biodegra-
dation in Pure and Mixed Cultures.
Biotechnology and Bioengineering.
Vol. XVII - 1975
- /11/ Zdybiwska, Maria.
Microbiological Degradation of Phenol Compounds.
ORNL - tr - 4037 (Mikrofilm).
- /12/ Andrews, John F.
Kinetic Models of Biological Waste Treatment Processes
Biotechnology and Bioengineering Symposium, No 2 - 1970
- /13/ Dunn, I.J. PD Dr
Growth Models in Stirred Reactors Using the Monod
Relationship. Ders notları - 1979
- /14/ Pirt, S.J.
General Kinetics. Ders notları - 1978

/15/ Dunn, I. J. PD Dr

Kinetics of Microbial Growth. Ders notları - 1979

/16/ Standard Methods for the Examination of Water and
Waste water. 14. Baskı , 1975

American Public Health Association

American Water Works Association

Water Pollution Control Federation.

/17/ Shelbert Smith, L.

Evaluation of Instrument For the Determination of
Phenol in Water. EPA RP 600/4-76-048 Central State
Univ. Ohio 45384 - 1976

/18/ Mohler, Edward F., Lawrance N. Jacob

Determination of Phenolic Type Compounds in Water
and Industrial Waste Waters. Comparasion of Analyti-
cal Methods. Analytical Chemistry. Vol. 29 - 1957

/19/ Ettinger, M. B., Ruchhoft, C. C., Lishka, R. J.

Sensitive 4-Aminoantipyrine Method for Phenolic Com-
pounds. Analytical Chemistry. Vol. 23 No. 12 - 1951

/20/ Uzman, S.

Kinetics of Nitrification in a Fludized sand Bed
Bioreactor. Zurich - 1983
Doktora tezi. (ETH)

/21/ Klyık, E.

Çevre 82 Sempozyumu. Ege Üniv. Atatürk Kültür Merkezi
3 - 5 Haziran 1982 , İzmir

ÖZGEÇMİŞ

Basri DEMİRYÜREK , 1952 yılında Zile ' de doğdu.İlk ve Orta öğrenimini Zile ' de tamamladı.

Galatasaray Kimya Müh.Yüksek Okulu Gece bölümüne girerek 1976 - 1977 öğrenim yılında bitirdi.1978 yılında İ.D.M.M.Akademisi Kimya Bölümü'ne teknik eleman olarak girdi ve 1980 yılında uzman olarak görevine devam etti.1981 - 1982 yılları arasında İ.T.İ.Akademisi İşletme Bilimleri Enstitüsü Pazarlama Bölümü ' nü bitirdi.

1984 yılında Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Bölümünde lisansüstü ' ne başladı.

Halen Yıldız Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Anorganik Kimya Anabilim Dalında uzman olarak görev yapmaktadır.

