

Kullanılmış Su Tazifiyesinde
Oksijen Transferi

Nedim Sezgiç

Yüksek Lisans Tezi

150
93

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI



KULLANILMIŞ SU TASFİYESİNDE OKSİJEN TRANSFERİ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

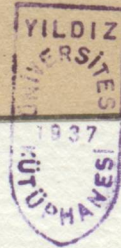
İNS. MÜH. NEDİM SEZGİÇ

YÖNETEN : DOÇ. DR. ADEM BAŞTÜRK

Mart, 1985

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

Kot : R 150
Alındığı Yer : Fen Bil. Ens. 93
Tarih : 8.12.1986
Fatura :
Fiatı : 1000 TL.
Ayniyat No : 1/32
Kayıt No : 44648
UDC :
Ek :



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ

D.B. No.



KULLANILMIŞ SU TASFİYESİNDE OKSİJEN TRANSFERİ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

İNŞ. MÜH. NEDİM SEZGİÇ

YÖNETEN : DOÇ. DR. ADEM BAŞTÜRK

Mart, 1985

İÇİNDEKİLER	33
GİRİŞ	33
1. ATIKSU TASFİYESİNİN GENEL ESASLARI	1
1.1. Biyolojik Tasfiyenin Esasları	1
1.1.1. Aerobik Biyokimyasal Reaksiyon	2
1.1.1.a. Aktif Çamur Sistemi ile Tasfiye.	3
1.1.1.b. Damlatmalı Filtreler	11
1.1.1.c. Biyodisk Sistemi	12
1.1.1.d. Oksidasyon Havuzları	12
1.2. Fakültatif Sistemler	13
1.3. Anaerobik Sistemler	13
2. HAVA VE GAZ TRANSFERİ	15
2.1. Gazların Erimesi	15
2.1.1. Erime ve Doygunluk Değeri	15
2.1.2. Sıcaklığın Eriyebilirlik Üzerine Etkisi	18
2.1.3. Kirleticilerin Eriyebilirlik Üzerine Etkisi	19
2.2. Dağılma (Diffüzyon)	20
2.3. Gaz Transfer Katsayıları	23
2.3.1. Gaz Transferindeki Teoriler	25
2.3.1.1. Film Teorisi	25
2.3.1.2. Nüfuz etme Teorisi	26
2.3.1.3. Yüzey Yenileme Teorisi	26
2.3.1.4. Teorilerin Karşılaştırılması	27
2.4. Gaz Transfer Katsayısını Etkileyen Faktörler	28
2.4.1. Oksijen Transfer Katsayısı	29
2.4.2. Verimlilik Katsayısı	30
2.4.3. Oksijen Transfer Kapasitesi	31
2.4.4. Oksijen Girişi	32
2.4.5. Havalandırma Verimliliği	32
2.5. Havalandırıcıların Sınıflandırılması	33
2.5.1. Basıncılı Havalandırıcılar	33

2.5.2. Küçük Kabarcıklı Havalandırma	33
2.5.3. Orta Kabarcıklı Havalandırıcılar .	33
2.5.4. Büyük Kabarcıklı Havalandırma	33
2.6. Yüzeysel Havalandırıcılar	34
2.7. Deney	35
2.7.1. Deney Aletleri	35
2.7.2. Deneyin Yapılması	37
2.7.3. Deney Sonuçları	45
2.7.4. Ekler	51

Tez çalışmalarım sırasında başta, Sayın Doç. Dr. Adnan Baştürk olmak üzere, birlikte çalışma imkânına eriştiğim diğer Hocalarıma en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deneysel çalışmalarında bana yardımlarını esirgeyen Çayır Laboratuvarı Teknisyenlerinden Sayın İzzettin İzzet ve Sayın Halil Zabit'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Nedim SEZGİN

GİRİŞ

İnsanoğlu varoluşundan bu yana içinde bulunduğu yaşama ortamını kendi istekleri doğrultusunda kullanarak günümüze ulaştırmıştır. Tüm yaşamını ve gücünü doğa ile sürdüren insanoğlu daha iyi daha uygar yaşama koşullarını sağlamaya çalışırken verdiği kayıpların büyüklüğünü durup düşünmek zorundadır. Bugün elde ettiği başarılarla yenilerini katmaya çalışan insanoğlu bir yandan da olumsuz sonuçların ihmali sonucu ortaya koyduğu uygarlığın ve hatta kendisini de yok edecek işlemlerinde peşindedir.

Endüstrilerin ve insanların çevre kirliliğine karşı ilgisiz kalmaları ve çevre kirliliğini önleyici tedbirlerin gecikmesi kirlenmenin boyutlarını tam bilememek ve kirlenmeyi önleyici tedbirler için yapılan harcamaların büyük boyutlarda olmasından kaynaklanmaktadır. Ne var ki çevreyi temizlemek kirletmek kadar kolay ve ucuz değildir. Geniş boyutlara ulaşmış kirlilikleri bir anda temizlemek de mümkün değildir. En akılcı ve ekonomik çözümün kirlenmeyi çevreye zarar vermeden üretildiği yerde kontrol ve bertaraf etmektedir.

Bugünün bilgi seviyesi ve teknolojik imkanların da mevcut kirliliği önleyerek zararsız hale getirmek için yapılan harcamaların büyük bölümü atık suya oksijen kazandırmada kullanılır. Gaz transferi olarak adlandırılan gaz molekülleri ile sıvı molekülleri arasındaki geçiş aktif çamur ve uzun havalandırmalı tasfiye tesislerinde biyolojik indirgenmenin gerçekleştirildiği reaktörde havalandırma adıyla anılır.

Bu çalışmada havalandırıcıların en ekonomik olanını ve en az enerji ile en çok oksijen transfer edilebilen sistemler araştırılmıştır. Amacım Çevre Mühendisliği'ne değerli hocalarımla yardımıyla bir nebze olsun katkıda bulunabilmektir.

1. ATIKSU TASFIYESİNİN GENEL ESASLARI

Geniş anlamda kirlenme çevrenin insan ve diğer canlıların yaşamı için olumsuz duruma gelmesidir. Her ekosistem belirli bir denge halindedir. Ve bu dengede belirli canlıların yaşamına uygun bir ortam oluşturur. Kirlenme, mevcut dengenin bozularak yeni bir dengenin oluşması ve başlangıçta bu ekosistemde bulunan canlıların gerek türleri gerekse bu türlerin bağıl sıklıkları yönünden değişime uğramalarıdır.

Atıksu arıtılmasında kullanılan sistemler fiziksel etkilerin önem taşıdığı temel işlemler ile, kimyasal ve biyolojik reaksiyonların ağırlık taşıdığı temel işlemler olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

Atıksu niteliğinin değişmediği işlemlerin yer aldığı ünitelere örnek olarak ızgaralar karıştırma, çökeltme, yumaklaştırma, yüzdürme, filtrasyon, kurutma, destilasyon, santrifüj, dondurma üniteleri verilebilir. Kimyasal ve biyolojik olarak ikiye ayrılan temel işlemler ise atıksu nitelik değiştirmektedir. Kimyasal çökeltme, nötralizasyon, adsorbsiyon, dezenfeksiyon, kimyasal oksidasyon, kimyasal redüksiyon, yakma, iyon değişimi ve elektrodializ birer kimyasal işlemdir. Biyolojik temel işlemler ise aerobik, fakültatif anaerobik olarak 3 grupta incelenirler.

1.1. Biyolojik Tasfiyenin Esasları

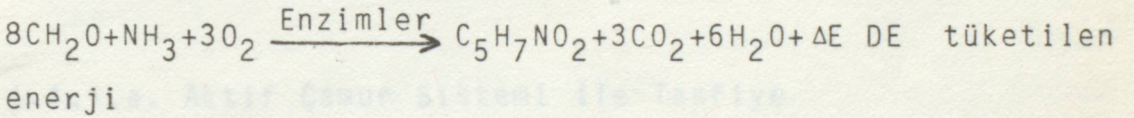
Biyolojik tasfiyeden maksat, mikroorganizmalarla organik kirleticileri biyokimyasal olarak ayrıştırmak veya en aza indirmek, kirleticilerin geri kalan kısmını ise çözünmüş oksijen ile zenginleştirmek veya okside ederek bertaraf etmektir. Biyolojik tasfiye metodları

1.1.1 Aerobik Biyokimyasal Reaksiyon

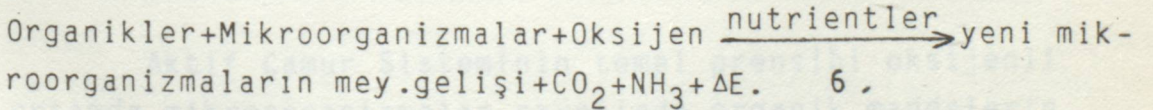
Günümüzde en yaygın uygulama alanı bulan aerobik arıtma sistemidir. Bu arıtma sistemleri

- Aktif Çamur Sistemi
- Damlatmalı Filtre
- Biyodisk Sistemi
- Oksidasyon Havuzları Sistemi

Sayılan bu dört sistemde, bekleme süreleri, oksijen ihtiyaçları oluşan mikroorganizma kütlesi açısından farklılıklar görülür. Ancak temelde biyokimyasal olarak aynı reaksiyonlar gerçekleşir. Bu biyokimyasal reaksiyonlar iki aşamada gerçekleşirler. Sentez aşamasında organik kirleticiler mikroorganizma kütlesine dönüşmektedir. Mikroorganizma kütlesi basit olarak $C_5H_7NO_2$ organik madde ise CH_2O fürmülleriyle tanımlanacak olursa bunun üretimi enzimlerle aşağıdaki reaksiyon sonucu gerçekleşir.

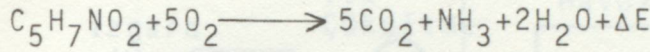


Mikroorganizmaların faaliyet göstererek organik maddeleri zararsız hale getirmesi biyolojik tasfiyenin esasını teşkil eder. Bu olay en genel şekilde



Eğer havalandırma işlemi yeteri kadar uzatılırsa sentez edilen bu yeni hücreler endogenous respirasyon (içsel solunum) mekanizması ile yok olurlar. Diğer bir deyişle sentez edilen biyolojik hücrelerin bir kısmı gerekli enerjiyi sağlamak çabası ile kendi kendini oksitlerler. Organik maddenin sadece sentez aşamasının kullanılmasıyla bile oldukça yüksek derecede pissu arıtması mümkün olmaktadır. Bunun nedeni pissuda çözünür halde bulunan organik

kirleticilerin çökebilir biyolojik kütleye dönüşmesi ve çökelme ile pissudan ayrılabilmesidir. Bu aşamada arıtmaya etkili olanı olay sadece biyokimyasal sentez olmamakta giderme veriminde hücre zarını adsorbsiyon ve flokülasyonu (yumaklaştırma) da önemli bir rol oynamaktadır. Mikroorganizma kütlelerinin endojen respirasyonu aşağıdaki reaksiyon ile gösterilir.



Endojen reaksiyon sonucunda çıkan NH_3 ün oksidasyonu gerekiyorsa, Toksik maddeler ve PH'tan çok etkilenen nitrifikasyon organizmaları sentez aşamasındaki karbonlu maddelerin oksitlenmesi için gerekli oksijenden daha fazla oksijen isterler. Reaksiyon



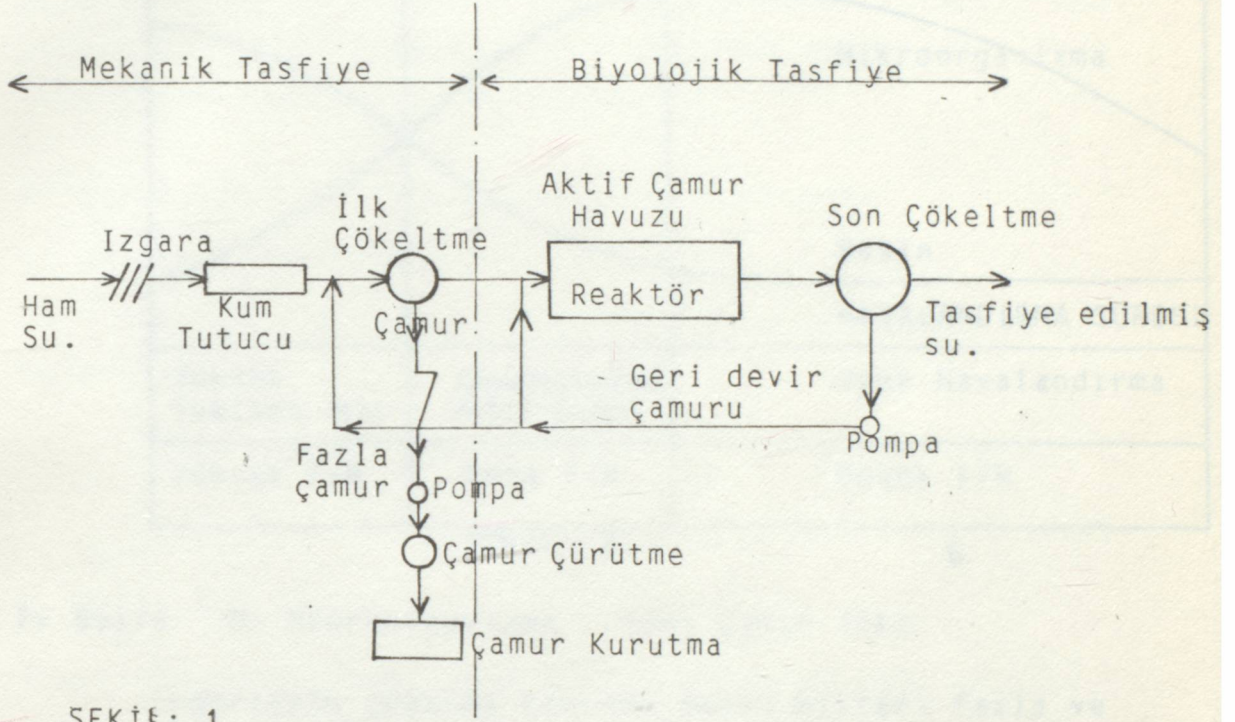
şeklindedir.

1.1.1.a. Aktif Çamur Sistemi ile Tasfiye

Çeşitli atık sulara uygulandığı, yüksek arıtma verimi gösterdiği için yaygın bir şekilde kullanılır. Aktif Çamur Sisteminin en büyük avantajı da çok küçük bir sahaya ihtiyaç göstermesidir.

Aktif Çamur Sisteminin temel prensibi oksijenli ortamda mikroorganizmalar sayesinde organik maddelerin kararlı hale gelmesidir. Mekanik olarak veya basınçlı hava ile havalandırılmış atıksu ile aktif çamur sürekli bir şekilde karıştırılır ve çamurun süspansiyon halde kalması sağlanır. Yeterli bir hava temasından sonra karışım çöktürülür. Son çökeltme havuzunda toplanan çamurun sadece bir kısmı anaerobik çürütme tanklarına gönderilir. Diğer kısmı ise geri dönüş çamuru olarak sistemde döndürülmektedir. Geri dönüş çamuru giriş suyuna karıştırılıp havalandırma havuzunda 2-6 saat havalandırılır. Aktif çamur

sistemi genellikle büyük kentlerin pis sularının arıtımında kullanılmaktadır.



ŞEKİĞ: 1

AKTİF ÇAMUR SİSTEMİ

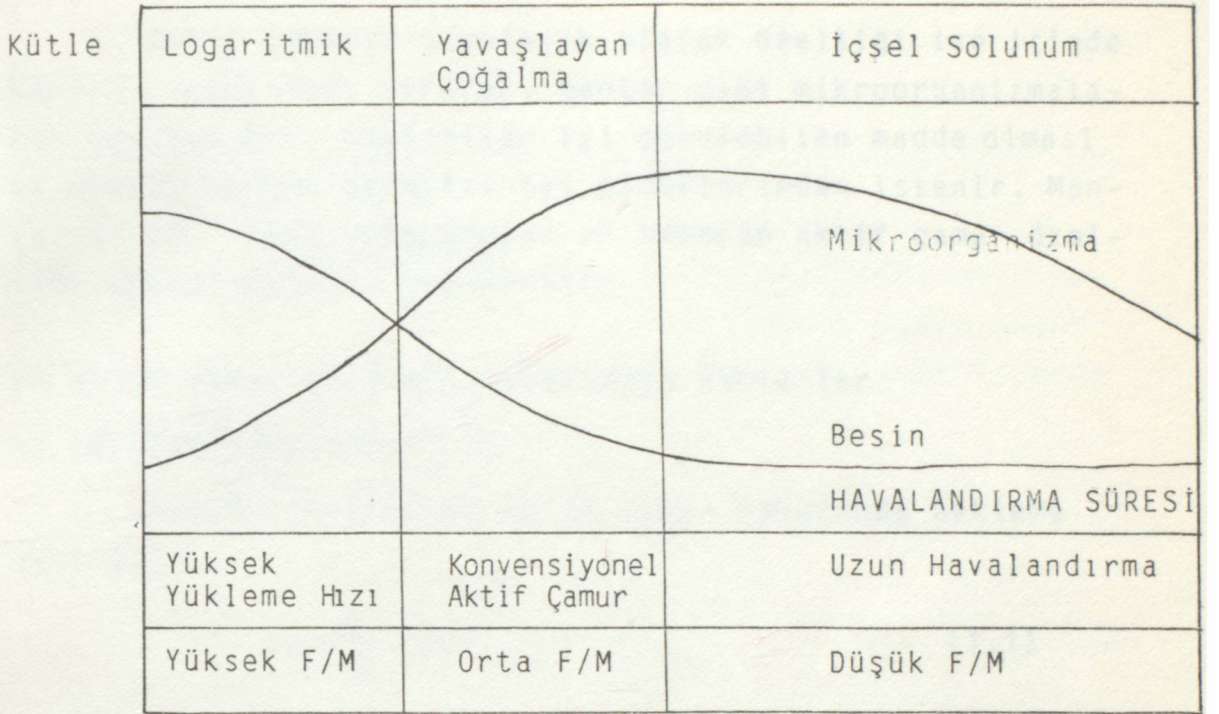
Mikroorganizmanın Çoğalması

Aktif Çamur Sisteminde çok çeşitli mikroorganizmalar bulunmaktadır. Bitkisel türdeki bakteriler: Algler, mantarlar, virüsler, rickettsialar.

Hayvansal türde olanlar: Protozoalar, rotiferler, krustaselerlerdir.

Bitkisel mikroorganizmalar suda çözünmüş organik maddeler ile, hayvansal mikroorganizmalar kollaidol veya süspansiyon maddelerle beslenebilirler.

Mikroorganizmalar genel olarak 3. fazda çoğalırlar. Bunlar Logaritmik, Yavaşlayan ve İçsel Solunum Fazıdır.



ŞEKİL: 2

6

F= Besin M= Mikroorganizma F/M= Çamur Yüğü

Logaritmik çoğalma fazında besin miktarı fazla ve mikroorganizma sayısı azdır ve maksimum hızda besin azalması ve mikroorganizma çoğalması olur. Dolayısı ile max. oksijen transferini gerektirir.

Yavaşlayan çoğalma fazında besin sınırlı ve mikroorganizma sayısı da haliyle sınırlı olacaktır.

İçsel solunum fazında besin sınırlı olduğundan çoğalma hızında azalmaktadır.

A) Aktif Çamurun Özellikleri:

Sümüksü bir yapıya sahip açık kahve veya gri sarımtırak renktedir. Tam karışımli halde süspansiyon halde durabilme özelliğine sahip olurlar. Karışım olmadığında ise kısa zamanda çökelirler. Kimyasal olarak bu önemli özelliği bünyesinde Organik azotun ve fosforun oluşudur. İnorganik madde olarak aliminyum, demir ve silisyum bileşikleridir.

Aktif Çamurun biyolojik olarak özelliği ise içinde bakteri, protozoa, rofifer, mantar gibi mikroorganizmaların bulunuşudur. Bakteriler iyi çökelebilen madde olması ve stabilizasyon derecesi iyi olduklarından istenir. Mantarlar ise kolay çökelemeyen ve kabaran aktif çamur özelliği gösterdiğinden istenmezler.

B) Aktif Çamur Sistemini Etkileyen Faktörler

a) Havalandırma Süresi (t)

Kullanılmış suyun aktif çamur havuzunda bekleme süresidir.

$$t = \frac{V}{Q} \text{ dur.} \quad (1.1)$$

V: Havuz hacmi

Q: Kull. Su. debisi.

Temizleme mekanizması aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- Kullanılmış suyun çeşidine
- Kullanılmış suyun konsantrasyonuna
- Aktif Çamur miktarına
- Aktif Çamur aktivitesine
- Çevre şartlarına bağlıdır.

Pratikte bütün organik maddeleri ifade eden BOI_5 , KOI , TOI gibi parametreler ele alınır. Hunker tarafından yapılan bir deneyle havalandırma süresi ile tasfiye verimi arasındaki bağıntı incelenmiştir. Havalandırma başlamış ve 4 saat sonra tam bir tasfiye gerçekleşmiştir. %90 lık bir BOI_5 gidermesi havalandırmanın ilk 2 saati içinde diğer %10'u ise son iki saati içersinde gerçekleşmiştir.

b) Çamur konsantrasyonu: ($MLSS \text{ kg/m}^3$)

MLSS Tam karışımllı sıvıda askıdaki katı miktarıdır. MLVSS tam karışımllı sıvıda askıdaki mikroorganizma katı

miktardır. Sabit havalandırma süresinde çamur konsantrasyonu artarsa biyolojik verimde artar.

c) Hacim Yüğü: (Organik yük, Biyolojik yük) $\text{kgBOI}_5/\text{m}^3$ gün

Aktif çamur havuzunun birim hacmi başına birim zamanda düşen organik madde miktarını belirtir. Atık suyun giriş BOI_5 değeri dikkate alınır. Düşük yüklü havuzlar için verim fazla olmakta (%94), çok yüklü tesislerde verim azalmaktadır. (%70).

d) Çamur Yüğü: (F/M) ($\text{kg BOI}_5/\text{kg MLSS}$ gün)

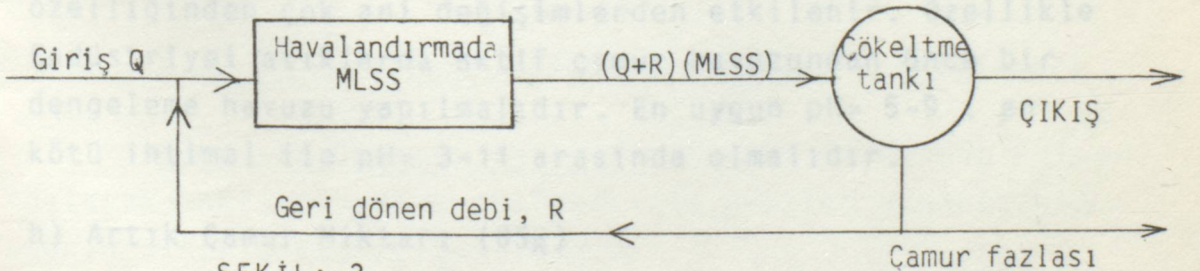
$$\frac{F}{M} = \frac{\text{Organik madde}}{\text{Mikroorganizma}} \text{ oranıdır.}$$

Hacim yükünün değeri çamur konsantrasyonuna bölünerek bulunabilir.

$$\frac{F}{M} = \frac{\frac{\text{kg BOI}_5}{\text{m}^3 \text{ gün}}}{\frac{\text{kg MLSS}}{\text{m}^3}} = \text{kg BOI}_5/\text{kg MLSS} \text{ gün } 6$$

Şekil, 1.1 deki Gıda ve bakteri üreme fazlarındaki düşük orta ve yüksek F/M değerleri verilmiştir. Çok yüksek F/M değerinde çamur kolay çökelmediğinden yüksek F/M değeri uygulanmaz.

e) Geri Devir Oranı: (R/Q) ve Çamur hacim indeksi (SVI) (ml/gr)



ŞEKİL: 3

Geri devir çamuru son çöktürme havuzunda çöktürülen aktif çamurun, aktif çamur havuzuna tekrar geri gönderilen kısmıdır. Havuza giren toplam debinin yüzdesi olarak tanımlanır.

Çamur hacim R/Q indeksi (SVI): ml/gr: Kurutulmuş halde 1 gr gelen aktif çamurun ıslak durumda iken işgal ettiği ml cinsinden hacmini gösteren değere denir. Çökeltme tankından çökelemeden çıkan maddeler tasfiye verimini düşürür. SVI değerleri

SVI < 50	mükemmel	çökelme.
50 < SVI < 100	İyi	çökelme
100 < SVI < 150	Orta	çökelme
150 < SVI	Kötü	çökelme

f) Çamur Ömrü (Gün) (SRT)

Katı madde bekletme süresi de denir.

$$SRT = \frac{\text{Havuzdaki aktif çamurun toplam ağırlığı}}{\text{Bir günde ayrılan katıların toplam ağırlığı}}$$

g) pH Değeri

Mikroorganizmaların yaşaması için belli bir pH değerinin olması gerekir. Aksi taktirde çamurun aktifliği düşer ve verim düşer.

pH değeri optimumun altında veya üstünde olması özelliğinden çok ani değişimlerden etkilenir. Özellikle Endüstriyel atıklarda aktif çamur havuzundan önce bir dengeleme havuzu yapılmalıdır. En uygun pH= 5-9 ; en kötü ihtimal ile pH= 3-11 arasında olmalıdır.

h) Artık Çamur Miktarı (ÜS_R)

Çamur aktivitesine sıcaklığa, pissuyun konsantrasyonuna ve tesis yüküne göre değişir.

$$US_R = q_R \cdot 0,6 (L_0 + S_0) - Se - b \cdot MLSS \quad (1.2)$$

L_0 : Giriş BOI_5

S_0 : Giriş ask. madde

Se : Çıkış ask. madde

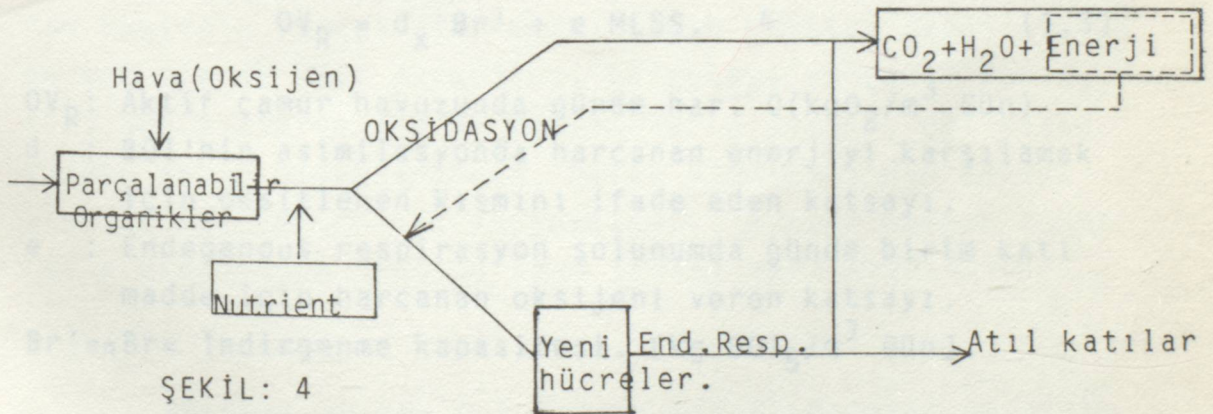
b : Ak. çam. kendi kendine par. değeri

C) Oksijen İhtiyacı

Aktif çamur tasfiye tesislerinin işletilmesi için harcanan paranın çoğu enerjiye gitmektedir. Bu enerji ise mikroorganizmaların organik maddeleri aktif çamur haline getirilebilmeleri için gereklidir. Aşağıdaki reaksiyonlar için oksijen ihtiyacı yeterli olmalıdır.

Toplam Oksijen İhtiyacı = Sabstrat Solunumu

+ Endogenous Respirasyon (İçsel solunum) + Nitri-fikasyon için oksijen ihtiyacı.



ŞEKİL: 4

ORGANİK MADDENİN AEROBİK-BİYOLOJİK OLARAK PARÇALANMASI

Substrat Oksijen İhtiyacı: Sentez sırasında kullanılacak enerjinin elde edilmesi ile yapılan organik maddenin oksitlenmesidir.

Endogenous Respirasyon Oksijen İhtiyacı: İçsel solunumda besin maddesi girişi olmaz. Yaşamlarının devamı

için depo maddeleri ve kendi hücre özleri oksitlenir. İçsel solunumun çamur yükü ve sıcaklığın bir fonksiyonudur.

Nitrifikasyon Oksijen İhtiyacı: Karbonlu maddeler oksitlendikten sonra nitrifikasyon başlar. Bunun içinde ilave bir oksijene ihtiyaç vardır. Nitrifikasyonun oluşmasında Azot, oksijen oranı 1/4,6 dır. Nitrifikasyonun oluşması için gerekli şartlar:

- pH değeri 7,6~8,00
- Tam nitrifikasyon için havalandırma tankındaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu >2,00 mg/l
- Karbonlu bileşiklerin oksitlenmesinin tamamlanmış olması gerekir.
- Bekleme süresi uygun olmalıdır.

Oksijen Sarfının Hesabı:

a) Nitrifikasyon dikkate alınmazsa:

$$OV_R = d_x Br' + e MLSS. \quad 4 \quad (1.3)$$

OV_R : Aktif çamur havuzunda günde har: $O(kgO_2/m^3 \text{ Gün})$

d : BOI'nin asimilasyonda harcanan enerjiyi karşılamak için oksitlenen kısmını ifade eden katsayı.

e : Endogenous respirasyon solunumda günde birim katı madde için harcanan oksijeni veren katsayı.

$Br' = \eta Br$ indirgenme kapasitesi. $[kg \text{ BOI}_5/m^3 \text{ Gün}]$

b) Nitrifikasyon dikkate alınırsa.

$$OV_R = d_x \eta Br + MLSS + q_R \quad 4,6 \cdot NO_3 - NA + (4,6 - 2,9) N_2 - ND - 2,9 \times NO_3 - NZ \quad (1.4) \quad 4$$

q_R : Hacimsal hidrolik yük $(m^3 \text{ k.su}/m^3 \text{ havuz hacmi} \times \text{gün})$

$NO_3 - NA$ = Son çöktürmenin çıkışında nitrat muht.
($gN/m^3 \text{ kul. su}$)

N_2 -ND = Denitrifikasyon suretiyle N_2 uzaklaştırılması
(gN/m^3 kull.su)

NO_3-N_2 = Havuz girişinde nitrat kısmı (gN/m^3 kull.su)

1.1.1.b. Damlatmalı Filtreler

Damlatmalı filtre sistemleri evsel pissuların arıtılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir ön çöktürme ve yataktan çıktıktan sonra da bir son çökeltme sistemine ihtiyaç vardır.

Filtre Yapısı

Kullanılmış su filtre yüzeyine serpilir ve daha sonra filtre içinden taşların yüzeyinden sızarak aşağı doğru akar. Suyun dağıtıldığı döner dağıtıcı kullanılmış suyun düşük bir yükte deşarj edilmesi suretiyle çalışır. Filtre tabanında drenaj sistemi bulunur.

Kullanılan Dolgu Malzemeleri

Dolgu yatağına havanın girmesi yukarıdan akan suların taşların yüzeyi ile teması temin edilir. Genel olarak en çok olarak kaya parçaları, kireçtaşı ve çakıl kullanılır. Son yıllarda ise bu malzemelerin yerine, çok fazla yüzeye sahip olduklarından, hafif olduklarından dolayı plastik malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca boşluk oranı fazla olduğundan yeterli hava temini ayrı avantajıdır.

Biyofilm Yapısı

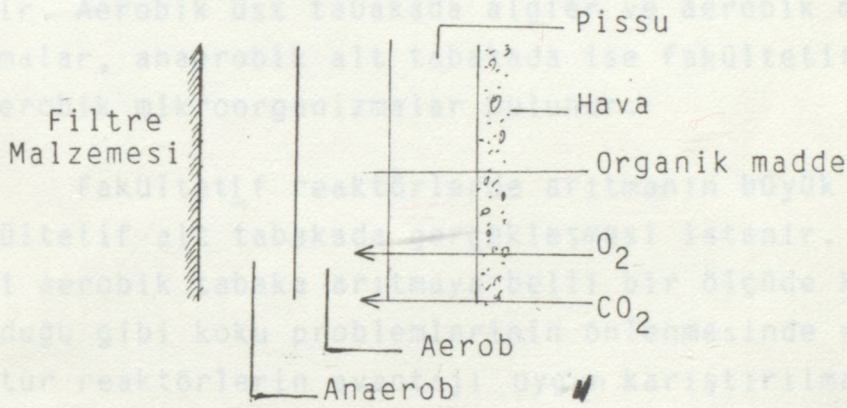
Aerobik arıtma 0.1 0.2 mm kalınlığındaki biyofilm tarafından gerçekleşir. Biyolojik reaksiyon aktif çamur sisteminin aynı olmakla beraber oksijen ve organik madde girişi farklıdır.

Film üzerinde mikroorganizma büyümesi ve kopması sürekli devam eden bir olay olduğundan biyofilm reaktörleri kararsız sistemlerdir ve biyofilm kalınlığı devamlı

olarak değişmektedir. Film kalınlığı belli bir kalınlığa ulaştıktan sonra kopar ve tekrar kalınlık artmaya devam eder. Bu olay sürekli bir şekilde tekrar eder.

Sentez sonucunda yüzeyden kazanılan oksijen biyofilmin derinliğine kadar ulaşmamaktadır. Üst tabaka aerobik alt tabakalar ise aneorobik olarak biyofilm işlemi oluşturmaktadır.

- ŞEKİL - 5 -



1.1.1.c. Biyodisk Sistemi

Bu sistemin en önemli özelliği su ve havanın sabit, aktif çamurun hareketli oluşudur.

1.1.1.d. Oksidasyon Havuzları

Pissu tasfiye metodlarının en eski ve en basitidir. 1962 yılına kadar Amerika'daki pissu tasfiye tesisi olarak 1900 adete kadar yükselmiştir. Oksidasyon havuzları biyolojik tasfiyenin yanı sıra dengeleme veya çöktürme havuzu olarak da kullanılırlar. Derinliği 0.6 m 1.8 m yüksekliğinde inşa edilirler. Pissu tasfiyesinden çok alg üretilmesi amacı ile kullanılırlar. Oksidasyon havuzlarının boyutlandırılması için esas olarak yüzey yükü alınır. Kış aylarında sıcaklıkla ilgili olarak tasfiye verimi düşer. 20 gün sonunda kaliform bakteri indirgenmesi %99 olmaktadır. Oksidasyon havuzları kademeli olarak da yapılabilirse verim ve işletme emniyeti de artmış olur.

Çamur tasfiyesi birkaç ayda veya yılda, eğer az yüklenmişse gerek bile yoktur.

1.2. Fakültetif Sistemler

Fakültetif havalandırılmalı reaktörlerde suyun karışımı sağlanmaz. Bunun sonucunda mikroorganizmaların bir kısmı çökerek reaktör dibinde aneorobik bir tabaka oluşturur. Böylece fakültetif reaktörler, aerobik üst tabaka ve anaerobik alt tabaka olmak üzere iki bölgeden meydana gelir. Aerobik üst tabakada algler ve aerobik mikroorganizmalar, anaerobik alt tabakada ise fakültetif ve mutlak anaerobik mikroorganizmalar bulunur.

Fakültetif reaktörlerde arıtmanın büyük yükünün fakültetif alt tabakada gerçekleşmesi istenir. Ancak üstteki aerobik tabaka arıtmaya belli bir ölçüde katkıda bulunduğu gibi koku problemlerinin önlenmesinde etkin olur. Bu tür reaktörlerin avantajı uygun karıştırılması gerekmediği için enerji, ekipman ve iş gücünden tasarruf sağlanmasıdır.

1.3. Anaerobik Sistemler

Anaerobik sistemde organik madde serbest oksijen olmaksızın ayrıştırılır. Bu sistemlerin atıksu arıtılmasında en önemli uygulama alanları aerobik biyolojik ünitelerden çıkan çamurların (biyolojik kütle) stabilizasyonudur. Atıksuların anaerobik olarak doğrudan arıtılması mümkün olmasına rağmen aerobik sürece göre 30 misli daha yavaş gerçekleştiğinden genelde tutulmamaktadır.

Anaerobik ayrışma 2 aşamada gerçekleşir ve 2 tür bakteri etkindir. Birinci aşamada organik maddeler organik asitlere dönüştürülür. İkinci aşamada ise organik asitler CH_4 ve CO_2 ye dönüştürülür. İkinci aşamayı oluşturan mikroorganizmalar mutlak anaerobtur ve büyüme hız-

ları çok yavaştır. Tam karışımli bir anaerobik reaktörde bekleme süresi 10 30 gün arasında değişmektedir.

Ayrışma sırasında oluşan CN_4 gazı gerek ortamın ısıtılması, gerekse karıştırılması için ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlayabilmektedir. Aerobik sistemler sonunda oluşan ürünlerin (stabilize olmuş çamur) son uzaklaştır-
madan önce suyunun alınması gereklidir. Suyun uzaklaştı-
rılması için kullanılan temel işlemler santrifüj, filt-
rasyon, filtre presleri ve kurutma yataklarıdır.

2.4. Gazların Kimyası

Gazların suda ve diğer sıvılarda erimesi aşağıdaki kriterlere bağlıdır.

- Gazın yapısına bağlı çözünürlük katsayısı (K_p)
- Gazın toplam basıncı. Bu gaz fazındaki gazın p kısmi basıncı ile ilgilidir
- Suyun sıcaklığı ($T^\circ C$)
- Suyun içindeki maddeler

2.4.1. Erime ve Boyunluk Değeri

Sıvılar gaz fazına, gazlar da sıvı fazına dönüşümüne uğrayarak dolaşabilirler. Gazın sıvıda erimesi belirli bir konsantrasyona erişince durur. Sıvı ortamı gazı doyurur. Bu dinamik denge geneli olarak sıvıda gazın boyunluğuna ulaşır. Boyunluk değeri belirli bir sıcaklıkta ve basınçta sabittir.

$$C_s = K_p \cdot C_g \quad (g/m^3)$$

Boyunluğu gazın ve sıvının sıcaklığına ve basıncına bağlıdır. Çesitli gazlar için K_p değerleri Tablo 2.4.1'de verilmiştir.

2. HAVA VE GAZ TRANSFERİ

Gaz transferi fiziksel olarak gaz ile sıvı moleküllerin karşılıklı değişimidir. Çevre Mühendisliğinde genelde gaz denildiği zaman hava, sıvı denildiğinde su anlaşılır.

Arıtma tesislerinin biyolojik ünitelerinde kirliliği oluşturan organik maddenin mikroorganizmalar tarafından tüketilmesini sağlamak ve bunun sonucunda mikroorganizmaların uzaklaştırılması ile istenen arıtmı elde etmektir. Aerobik mikroorganizmaların beslenmesi için oksijene ihtiyaç vardır. Doğal yollardan kazanılan oksijen yeterli olmamakta suni havalandırma ihtiyacı yoluna gidilmektedir.

2.4. Gazların Erimesi

Gazların suda ve diğer sıvılarda erimesi aşağıdaki kriterlere bağlıdır.

- Gazın yapısına bağlı yayılma katsayısı (k_D)
- Gazın toplanma özelliği. Bu gaz fazındaki gazın p kısmi basıncı ile ilgilidir
- Suyun sıcaklığı ($T^{\circ}\text{C}$)
- Suyun içindeki maddeler

2.1.1. Erime ve Doygunluk Değeri

Sıvılar gaz fazına, gazlar da sıvı fazına sürekli olarak dönüşebilir. Gazın sıvıda erimesi belli bir konsantrasyona erişince durur. Sıvı artık gaza doymuştur. Bu dinamik eşitlik genel olarak sıvıda gazın doygunluğa ulaşmasıdır. Doygunluk değeri kütlelesel olarak aşağıdaki eşitliktir.

$$c_s = k_D \cdot c_g \quad (\text{g/m}^3) \quad (2.11)$$

Büyüklüğü gazın ve sıvının yapısına ve sıcaklığa bağlıdır. Çeşitli gazlar için k_D değerleri Tablo:1 de verilmiştir.

ÇEŞİTLİ GAZLARIN YAYILMA KATSAYILARI (k_D)							
GAZ ADI	Mol ağırlığı	Yoğunluk (0°C ve 101.3 kPa basınçta)	Yayılma katsayısı (k_D)				Kaynama noktası
	g/mol	kg/m ³	0°C	10°C	20°C	30°C	°C
Hidrojen, H ₂	2.016	0.08988	0.0214	0.0203	0.0195	0.0189	-253
Metan, CH ₄	16.014	0.7168	0.0556	0.0433	0.0335	0.0306	-162
Azot, N ₂	28.01	1.251	0.0230	0.0192	0.0166	0.0151	-196
Oksijen, O ₂	32.00	1.429	0.0493	0.0398	0.0337	0.0296	-183
Amonyak, NH ₃	17.03	0.771	1.300	0.943	0.763		- 33.4
Hidrojen sülfür, H ₂ S	34.08	1.539	4.690	3.65	2.87		- 61.8
Karbondioksit, CO ₂	44.01	1.977	1.710	1.23	0.942	0.738	- 78.5
Ozon, O ₃	48.00	2.144	0.641	0.539	0.395	0.259	-112
Hava		1.2928	0.0288	0.0234	0.0200	0.0179	

TABLO: 1

c_g (g/m³), İdeal gaz kanununun uygulanmasından elde edilir. İdeal gaz kanunu,

$$p.V = n.R.T \quad (2.12)$$

şeklinde ifade edilir.

p = Gaz fazındaki gazın kısmi basıncıdır. (P_a)

V = Gaz karışım hacmi (m³)

n = V hacmindeki mol sayısı

R = İdeal gaz sabiti (8.31 J/K mol)

T = Mutlak sıcaklık (K)

Gaz toplanması

$$\frac{n}{V} = \frac{p}{R.T} \quad (\text{mol/m}^3) \quad (2.13)$$

Kütlesel toplanma (c_g) söz konusu gazın molekül ağırlığı (M.W) ile çarpılarak bulunur.

$$c_g = \frac{p \cdot M.W}{R.T} \quad (g/m^3) \quad (2.14)$$

den;

$$c_s = k_D \cdot \frac{M.W}{R.T} \cdot p \quad (g/m^3) \quad (2.15)$$

bulunur. Bu ifade Henry Kanunu olarak bilinir. Daha genel olarak

$$c_s = k_H \cdot p \quad (2.16)$$

olarak yazılır.

$$k_H = k_D \cdot \frac{M.W}{R.T} \quad (g/m^3) \text{ Henry sabitidir.} \quad (2.17)$$

Bu katsayının uygulanması için söz konusu gazın kısmi basıncının bilinmesi gerekir. Örneğin bu basınç hacımsal birleşimin yüzdesi olarak hava birleşiminden elde edilebilir (Dalton Kanunu). Kuru havanın %20,948'i Oksijen, %78,084'ü Azot; %x,934 Argon, %0,032 CO₂ ve %0,002 diğer gazlar oluşturur. O halde oksijenin kısmi basıncı

$$p = 101325 \cdot 0,20948 = 21226 \text{ p}_a$$

$$p_0 = 101325 \text{ p}_a \text{ (standart basınç)}$$

$$p_a = \text{Paskal} \quad 1 \text{ Paskal} = 1 \text{ Newton/m}^2$$

Havalandırma uygulamasında sıcaklıktan dolayı buhar basıncı (p_w) oluşur. Buhar basıncı diğer gazların kısmi basıncını düşürür. Düzeltilmiş haliyle

$$p' = p \frac{P - p_w}{P} \quad (2.18)$$

ifade edilir. P toplam basınçtır. p_w değerleri Tablo:2 de verilmiştir.

BUHAR BASINCI		
Sıcaklık	Buhar basıncı	
°C	kPa	mm Hg
0	0.611	4.58
5	0.872	6.54
10	1.23	9.21
15	1.71	12.8
20	2.33	17.5
25	3.17	23.8
30	4.24	31.8

TABLO: 2

2.1.2. Sıcaklığın Eriyebilirlik Üzerine Etkisi

Sıcaklığın değişmesiyle Le Chatelier prensibine göre eriyebilirlik de değişir. Sıcaklık arttıkça eriyebilirlik de azalır. k_D yayılma katsayısı, Van't Hoff'un sıcaklık bağımlılığını genelleştirmek için uygulandığında

$$\frac{d(\ln k_D)}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \quad (2.19)$$

R = İdeal gaz sabiti

T = Mutlak sıcaklık

ΔH = 1 mol gazın emilmesine karşılık gelen sıcaklık

Bu eşitliğin integrasyonu ile

$$l_n \frac{(k_D)_2}{(k_D)_1} = \frac{\Delta H}{R} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_1 \cdot T_2} \quad (2.20)$$

Gaz transferi olayında karşılaşılan sıcaklık sınırları içinde $T_1 \cdot T_2$ önemli ölçüde değişmeyeceği kabul edilirse ($\Delta H/R \cdot T_1 T_2 = \text{sabit} = u$)

$$(k_D)_2 = (k_D)_1 \cdot e^{u(T_2 - T_1)} \quad \text{olur.} \quad (2.21)$$

Bu eşitlik dar bir sıcaklık sınırları içinde uygulanabilir. ΔH doygunluğun bir fonksiyonu olduğundan Tablo 1'deki k_D değerleri, yüksek sıcaklık ve ara sıcaklıklar için orantı ile bulunabilir. Pratik olarak aşağıdaki deneysel formül kullanılabilir.

$$c_s = \frac{468}{31,6 + T^{0C}} \quad (\text{g/m}^3) \quad 1 \quad (2.22)$$

veya $4 \leq T \leq 30$ 0C sıcaklık için

$$c_s = 14.652 - 4.1022 \cdot 10^{-1} \cdot T + 7.9910 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 - 7.7774 \cdot 10^{-5} \cdot T^3 \quad (\text{g/m}^3) \quad (2.23)$$

2.1.3. Kirleticilerin Eriyebilirlik Üzerine Etkisi

$c_s = k_D \cdot c_g$ eşitliği sadece saf su için geçerlidir.

Suyun içindeki diğer maddeler gazların eriyebilirliklerini olumsuz yönde etkiler. Herhangi bir sudaki eriyebilirlik

$$c_s = \frac{k_D}{\gamma} \cdot c_g \quad 1$$

ile ifade edilir. Saf su için $\gamma = 1$ dir. Suyun içindeki çözünmüş maddeler arttıkça γ artar ve eriyebilirlik azalır. Kirliliğin artması aşağıdaki formüllerle ifade edilir.

$$\log \gamma = f \cdot c_{imp} \quad (\text{Elektrolit olmayanlar için}) \quad 1 \quad (2.24)$$

$$\log \gamma = f \cdot I \quad (\text{Elektrolit olanlar için}) \quad 1 \quad (2.25)$$

f= Suda çözünen maddeye bağlı bir katsayı

I= Elektrolitin iyonik kuvveti

c_{imp} ve I ölçümlerden elde edilebilir. f'in ise her bir işlem için deneysel olarak belirlenmesi gerekir. Pratik olarak belirlenmesi için çok az bilgi mevcuttur. Oksijen erimesi konusunda deniz suyunda Tablo 3'de verilenlerden deneysel bir formül gerçekleştirilmiştir.

$$\frac{1}{\gamma} = 1 - 9 \times 10^{-6} c_{imp} \quad 1 \quad (2.26)$$

$c_{imp} = g/m^3$ klorür ile ifade edilen deniz suyu tuzluluğu.

Çözünmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürürler ve dolayısı ile diğer gazların kısmi basınçları artar. Bununla beraber buharlaşan eriyikler gaz fazında belirli bir kısmi basınç meydana getirip diğer gazların kısmi basınçlarını azaltırlar. Ancak bu etkiler çok küçük olup ihmal edilebilirler.

Tablo 1'deki k_D değeri ve Tablo 3'deki c_s değerleri direk olarak suya veya özellikle kanalizasyona uygulanabilir.

2.2. Dağılma (Diffüzyon)

Dağılma, herhangi bir maddenin mevcut bir alana düzenli olarak yayılma eğilimi olarak tanımlanabilir. Gaz fazındaki gazların dağılımı sıvıdakine göre daha hızlıdır. (yaklaşık 10^4 katı) Fick kanununa göre kütle transfer hızı

760mm Hg BASINCINDA TATLI VE TUZLU SUYUN ÇÖZÜNMÜS OKSİJEN DOYGUNLUK KONSANTRASYONLARI						
Sıcaklık °C	Klorür konsantrasyonu g/m ³					Her 100mg klorür farkı
	0	5.000	10.000	15.000	20.000	
	(c _s) Erimiş oksijen g/m ³					
0	14.6	13.8	13.0	12.1	11.3	0.017
1	14.2	13.4	12.6	11.8	11.0	0.016
2	13.8	13.1	12.3	11.5	10.8	0.015
3	13.5	12.7	12.0	11.2	10.5	0.015
4	13.1	12.4	11.7	11.0	10.3	0.014
5	12.8	12.1	11.4	10.7	10.0	0.014
6	12.5	11.8	11.1	10.5	9.8	0.014
7	12.2	11.5	10.9	10.2	9.6	0.013
8	11.9	11.2	10.6	10.0	9.4	0.013
9	11.6	11.0	10.4	9.8	9.2	0.012
10	11.3	10.7	10.1	9.6	9.0	0.012
11	11.1	10.5	9.9	9.4	8.8	0.011
12	10.8	10.3	9.7	9.2	8.6	0.011
13	10.6	10.1	9.5	9.0	8.5	0.011
14	10.4	9.9	9.3	8.8	8.3	0.010
15	10.2	9.7	9.1	8.6	8.1	0.010
16	10.0	9.5	9.0	8.5	8.0	0.010
17	9.7	9.3	8.8	8.3	7.8	0.010
18	9.5	9.1	8.6	8.2	7.7	0.009
19	9.4	8.9	8.5	8.0	7.6	0.009
20	9.2	8.7	8.3	7.9	7.4	0.009
21	9.0	8.6	8.1	7.7	7.3	0.009
22	8.8	8.4	8.0	7.6	7.1	0.008
23	8.7	8.3	7.9	7.4	7.0	0.008
24	8.5	8.1	7.7	7.3	6.9	0.008
25	8.4	8.0	7.6	7.2	6.7	0.008

TABLO: 3

$$\frac{dM}{dt} = - D.A. \frac{\partial c}{\partial x} \quad (g/s) \quad 1 \quad (2.27)$$

ile ifade edilir.

D= Moleküler dağılma katsayısı (m^2/s)

x= A alanından olan uzaklık

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \text{Konsantrasyondaki deęişiklik}$$

Negatif işaret; dağılma, toplanmanın aksi yönünde olduğunu belirtir.

Sudaki gazların moleküler dağılım katsayıları için D değerleri tablo 4 de verilmiştir.

SUDAKİ GAZ DAĞILMA KATSAYILARI			
	D ($10^{-9}m^2/s$)=		
	Sıcaklık		
	10°C	20°C	30°C
N ₂	1.27	1.64	2.20
O ₂	1.39	1.80	2.42
CH ₄	1.16	1.50	2.02
CO ₂	1.30	1.68	2.26
H ₂ S	1.09	1.41	1.90
H ₂	3.98	5.13	6.90

TABLO: 4

A alanı boyunca emilen toplam gaz miktarı

$$M = 2A \cdot (c_s - c_o) \sqrt{\frac{D \cdot t}{\pi}} \quad (\text{g}) \quad 1 \quad (2.28)$$

ifadesinde x e bağılı olmayıp suyun sınırsız derinliği şartlarında ulaşır. Kütle transfer hızı

$$\frac{dM}{dt} = A \cdot (c_s - c_o) \sqrt{D/\pi t} \quad (\text{g/s}) \quad 1 \quad (2.29)$$

elde edilir.

Buraya kadar eşitlikler Laminer akış için geçerliydi. Türbülanslı akış için Prandtl teorisine göre toplam moleküler dağılım katsayısı

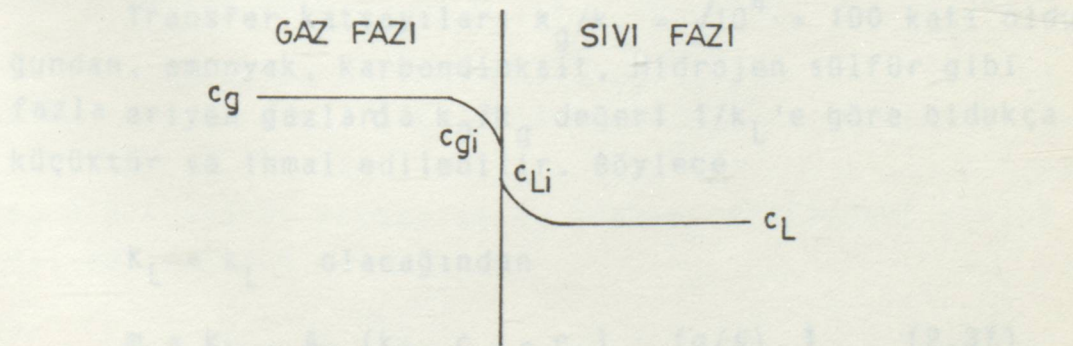
$$D_t = D + D_e \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad 1 \quad (2.30)$$

ile ifade edilir.

$$\begin{aligned} D_e &= U \cdot 1 \quad (\text{m}^2/\text{s}) \\ u &= \text{hız} \quad (\text{m/s}) \end{aligned} \quad (2.31)$$

2.3. Gaz Transfer Katsayıları

Gaz fazından suya gaz transferi, sıvı fazdan gaz fazına konsantrasyon değişikliği Şekil 6 daki gibi düşünülebilir.



Şekil 6: Gaz, sıvı, arafazında gaz konsantrasyonunun dağılımı. 1

2.3.1 Gaz fazında c_g den c_{gi} ye konsantrasyonun azalması sıvı fazdaki gaz emilmesi tarafından meydana gelir. $c_s = k_D \cdot c_g$ eşitliğine göre c_{gi} ile c_{Li} birbirine eşittir. Fick kanununa göre

$$\text{Gaz fazı için} \quad m = k_g \cdot A \cdot (c_g - c_{gi}) \quad (\text{g/s}) \quad (2.32)$$

$$\text{Sıvı fazı için} \quad m = k_L \cdot A \cdot (c_{Li} - c_L) \quad (\text{g/s}) \quad (2.33)$$

k_g = Gaz fazındaki kısmi gaz transfer katsayısı (m/s)

k_L = Sıvı " " " " " (m/s)

c_{gi} ve c_{Li} bilinmeyenler olup

$c_{Li} = k_D \cdot c_{gi}$ den (2.32) ve (2.33) eşitliği eşitlenerek

$$m = \left(\frac{1}{k_L} + \frac{k_D}{k_g} \right)^{-1} \cdot A \cdot (k_D \cdot c_g - c_L) \quad (2.34)$$

elde edilir. Toplam gaz transfer katsayısı K_L her iki kısmi katsayı ve yayılma katsayısından oluşur.

$$\frac{1}{K_L} = \frac{1}{k_L} + \frac{k_D}{k_g} \quad (\text{s/m}) \quad (2.35)$$

2.34 eşitliği

$$m = A \cdot K_L \cdot (k_D \cdot c_g - c_L) \quad (\text{g/s}) \quad 1 \quad (2.36)$$

Transfer katsayıları $k_g/k_L = \sqrt{10^4} = 100$ katı olduğundan, amonyak, karbondioksit, Hidrojen sülfür gibi fazla eriyen gazlarda k_D/k_g değeri $1/k_L$ 'e göre oldukça küçüktür ve ihmal edilebilir. Böylece

$K_L = k_L$ olacağından

$$m = k_L \cdot A \cdot (k_D \cdot c_g - c_L) \quad (\text{g/s}) \quad 1 \quad (2.37)$$

$$\text{ve } K_L = \frac{D}{d_L} \quad (2.41)$$

olur.

2.3.1.2. Nüfuz etme teorisi

Gaz sıvıya doğru yayılır ve nüfuz eder. Film teorisinin aksine düzgün olmayan yayılma olarak tanımlanır. Transfer edilen toplam gaz kütlesi;

$$M = 2 \cdot A \cdot (k_D \cdot c_g - c_L) \sqrt{\frac{Dt}{\pi}} \quad (g) \quad (2.42)$$

$$\frac{M}{t} = m = 2 \cdot A \cdot (k_D \cdot c_g - c_L) \cdot \sqrt{\frac{D}{\pi t}} \quad (g/s) \quad (2.43)$$

2.43 eşitliğinin tek bilinmeyen t açığa çıkma zamanıdır. Nüfuz etme teorisine göre t_c = sabittir . ve genelde tahmin edilir. $t = t_c$ olur.

$$m = 2 \cdot \sqrt{\frac{D}{\pi \cdot t_c}} \cdot A \cdot (k_D \cdot c_g - c_L) \quad (g/s) \quad (2.44)$$

$$K_L = 2 \cdot \sqrt{\frac{D}{\pi t_c}}$$

2.3.1.3. Yüzey Yenileme Teorisi

Genelde, nüfuz etme teorisine eşittir. Ancak kütle transferin açığa çıkma zamanı, nüfuz etme teorisinde sabittir. Yüzey yenileme teorisi bu zamanı sabit kabul etmez. Ayrıca dağılma düzensizdir. s yüzey yenilenme ortalama oranıdır. (frekansıdır).

$$m = \int_0^{\infty} A \cdot (k_D \cdot c_g - c_L) \sqrt{\frac{D}{\pi \cdot t}} \cdot s \cdot e^{-st} \cdot dt$$

$$m = \sqrt{D \cdot s} \cdot A \cdot (k_D \cdot c_g - c_L) \quad 1 \quad (2.45)$$

$$k_L = \sqrt{D \cdot s} \quad \text{ile ifade edilir.} \quad (2.47)$$

2.3.1.4. Teorilerin karşılaştırılması

Açıklanan teorilerin özeti aşağıdaki tablodadır. 1

TEORİ	ŞİVİ YÜZEYİN ÖZELLİKLERİ	DAĞILMA ŞEKLİ	k_L
Film	Durgun	Düzgün	D/d_L
Nüfuz etme	Yüzeyin yenilen- mesi sıvı ele- mentlerin sabit açığa çıkma zamanı	düzensiz	$2 \cdot \sqrt{D}/\pi t_c$
Yüzey Yenileme	Yüzey yenilenmesi gaz fazındaki açığa çıkma zamanının fre- kans dağılımı	düzensiz	$\sqrt{Ds}$

Herbir teorinin temelinde sıvının hidrodinamik ko-
şullarına bağlı olarak bir bilinmeyen parametre vardır.

k_L bu değişen parametredir.

Karışımın artmasıyla:

- d_L film kalınlığı azalacak
- t_c açığa çıkma zamanı azalacak
- s yüzey yenilenmesinin ortalama oranı artacak
- d_L azalacak s artacaktır.

k_L teöriden teoriye değişmesine rağmen k_L ler eşitlenerek
aşağıdaki ilişkiler çıkar. (2.49)

$$d_L = \sqrt{D \cdot \pi \cdot t_c} = \sqrt{D/s} \quad (2.46)$$

$$t_c = d_L^2 / D \cdot \pi = 1/s \cdot \pi \quad (2.47)$$

$$s = D/d_L^2 = 1/t_c \cdot \pi \quad (2.48)$$

Düzensiz dağılmayı uygulayarak nüfuz etme teorisi yüzey yenileme teorisinden daha faydalı olabilir. Çünkü temas süresi bazı olaylarda tahmin edilebilir. Bununla beraber yüzey yenilemenin ortalama oranı s ölçülemez ancak k_L değeri ve dağılma katsayısından yeniden hesaplanabilir. Kısaca nüfuz etme teorisi mühendislikte daha çok kullanılmaktadır.

2.4. Gaz Transfer Katsayısını Etkileyen Faktörler

Gaz transfer katsayısını etkileyen ana faktörler sıcaklık, doygunluk değeri ve atık suyun yapısıdır.

Sıcaklık bütün gaz transfer olaylarını etkiler. İki sıcaklık etkisi vardır. Birincisi yayılma katsayısı artan sıcaklıkla birlikte artar, ikincisi viskosite artan sıcaklıkla birlikte azalır. Viskositenin azalması yükselen hava kabarcık hızını artırır ve $t_c = dB/V_r$ açığa çıkma zamanını azaltır.

dB = Hava kabarcık çapı (m)

V_r = " " hızı (m/s)

A nın artışı büyük ölçüde yüzey gerginliğinin sıcaklığa bağlı olmasındandır. Kabarcıkların çapı, σ yüzey gerginliği ve p kabarcık yüzeyinde bölgesel basınç olarak $d_B = 4\sigma/p$ dir. Sıcaklığın artması ile yüzey gerginliği azalır ve A sahası küçülür. Gaz transferi için en uygun genel formül

$$(k_L \cdot \frac{A}{V}) \cdot T_2 = (k_L \cdot \frac{A}{V}) T_1 \cdot \theta^{T_2 - T_1} \quad (2.49)$$

Oksijen için sıcaklık katsayısı $\theta = 1.016 \sim 1.047$ dir. Ayrıca k_d nin sıcaklıkla ilgisinden dolayı sıcaklık arttıkça doygunluk değeri düşer.

Atık sular içinde bulunan çözünmüş katılar, organikler ve deterjanlar oksijen transfer hızını etkiler. Gaz-sıvı ortak yüzeyde birikir ve yayılmaya engeller.

2.4.1. Oksijen Transfer Katsayısı

Normal şartlar altında yayılma katsayısı D ve açığa çıkma zamanı t_c ve karşılaşma alanı A nin büyüklüğü ve birim hacme düşen yüzey alanı $a = \frac{A}{V}$ sabit alınabilir. Böylece normal şartlar altında k_2 sabiti

$$k_2 = 2 \cdot \frac{A}{V} \cdot \sqrt{\frac{D}{\pi t_c}} = \frac{A}{V} \cdot k_L = a \cdot k_L (s)^{-1} \quad (2.50)$$

şeklinde tanımlanır.

k_2 veya $k_L \cdot a$ = Genel gaz transfer katsayısı

2.44 eşitliği ile bulunan ifade

$$\frac{m}{v} = \frac{dc}{dt} = k_2 \cdot (c_s - c) \quad (g/m^3 s) \quad 2 \quad (2.51)$$

halini alır. Bu ifadenin integrasyonu ile

$$c = c_s - (c_s - c_0) e^{-k_2 t} \quad (2.52)$$

veya

$$\frac{c_s - c}{c_s - c_0} = e^{-k_2 t} \quad 2 \quad (2.53)$$

k_2 transfer katsayısı konsantrasyon değişim zamanı ölçülerek bulunur.

$$\log \frac{c_s - c}{c_s - c_0} = \log e^{-k_2 t}$$
$$= -k_2 \cdot t \cdot \log e \approx -0,4343 k_2 t \quad (2.54)$$

Gaz transferi deneylerini değerlendirmede normal deney şartları altında c_s bilinmelidir. c_s i etkileyen sıcaklık, çözülmemiş maddeler, basınç, önceden belirlenmiş cetvel değerlerinden sapmalara sebep olabilir. Deneysel şartlarda k_2 ve c_s in sayısal değerlendirilmesi sonucu yapılan hatalar da meydana çıkar.

2.4.2. Verimlilik Katsayısı

Normal şartlar altında havalandırma için bir t_k sabit zaman kabul edilirse formüller genelleştirilebilir. c_0 havalandırıcının girişinde, c_e dışarı çıkan durumda gaz konsantrasyonu olsun. 0 zaman

$$\frac{c_s - c_e}{c_s - c_0} = e^{-k_2 t_k} = \text{sabit} = 1-K \quad 1 \quad (2.55)$$

Gaz konsantrasyonundaki artış (veya azalış)

$$\frac{c_s - c_e}{c_s - c_0} = 1 + \frac{c_0 - c_e}{c_s - c_0} = 1-K$$

$$(c_e - c_0) = K (c_s - c_0) \quad (2.56)$$

ve buradan

$$K = 1 - e^{-k_2 t_k} \quad 1$$

elde edilir ve K= verimlilik katsayısı olarak tanımlanır.

2.4.3. Oksijen Transfer Kapasitesi

Bir havalandırma sisteminin oksijen verme kapasitesi aşağıdaki şartlarda oksijen transfer oranı olarak tanımlanır. 10°C ve 101.3 kpa basınçta, 2.51 eşitliğine göre 0C oksijen alma kapasitesi

$$oc = k_2 \cdot c_s' \quad (g \text{ O}_2/m^2.s) \quad 1 \quad (2.57)$$

ile ifade edilir.

c_s' = Saf su doygunluk değeri

$V(m^3)$ hacmindeki suyun oksijen alma kapasitesi

$$OC = k_2 c_s \cdot V \quad (g \text{ O}_2/s) \quad (2.58)$$

olur. 2.54 ve 2.57 eşitliklerinden

$$oc = k_2 \cdot c_s' = 2.303 \cdot c_s' \cdot \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \log \frac{c_s - c_1}{c_s - c_2} \quad (2.59)$$

$$tg\alpha = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \log \frac{c_s - c_1}{c_s - c_2} = 0,4343 k_2 \quad (2.60)$$

$$oc = 2.303 \cdot c_s' \cdot tg\alpha \quad 1 \quad (2.61)$$

c_s' değeri 10°C sıcaklık ve 101.3 kPa basınç için geçerli idi. Diğer deneysel sıcaklıklar için düzeltme faktörü ile çarpılması gerekir.

$$(k_2)_{10} = (k_2)_T \cdot \sqrt{\frac{D_{10}}{D_T}} \quad 7 \quad (2.62)$$

$$\sqrt{\frac{D_{10}}{D_T}} = 1.0188^{10^\circ C - T} \quad (2.63)$$

$$(k_2)_T = 2.303 \cdot tg\alpha \quad (2.64)$$

2.4.4. Oksijen Girişi

Birim hacim su için harcanan hava debisi: (0°C ve 101.3 kPa şartlarında)

$$G = \frac{Q_g}{V} \quad (m^3/m^3.s) \quad 1 \quad (2.65)$$

Q_g = Hava debisi

Oksijen girişi:

$$OU = \frac{OC}{G} \quad (gO_2/m^3) \quad (2.66)$$

Batma derinliğine göre oksijen girişi:

$$\frac{OU}{di} \quad (gO_2/m^3.m) \quad 4 \quad (2.67)$$

2.4.5. Havalandırma Verimliliği

Birim enerjideki kazanılan oksijen, havalandırma verimliliğini verir. ($OE = kg O_2/kwh = g O_2/J$)'ne kadar büyükse havalandırma verimi o kadar iyidir.

$$1J = 1Nm$$

$$1W = 1J/s = 1Nm/s$$

$$OE = \frac{OC}{NG} \quad (kgO_2/kwh) \quad (2.68)$$

$$NG = Güç(w)$$

$$NG = Q_g \cdot h \cdot \rho \cdot g / \eta^{(w)} \quad 1 \quad (2.69)$$

η = Toplam verim

Q_g = Verilen hava debisi (m^3/sn)

h = mss yük kaybı (m)

g = Yer çekimi (m/sn^2)

ρ = Yoğunluk (kg/m^3)

2.5. HAVALANDIRICILARIN SINIFLANDIRILMASI

2.5.1 Basınçlı Havalandırıcılar

Basınçlı havayı orifislerden veya deliklerden suya vererek havalandırma yapan sistemlerdir. Çevre Mühendisli uygulama alanında en sık rastlanan türlerden biridir. Transfer olayı hava kabarcığı yükselirken meydana gelir. Hava transferi kabarcık ebadının küçülmesi difüzörlerin batma derinliğinin artması ve yükselme hızının azalması veya bekleme süresinin uzamasıyla artar. Ayrıca havalandırma tankının şekli, büyüklüğü, tipi, difüzörlerin yerleştirilmesi ve havanın debisi ile hava transferini etkiler.

Difüzörlü havalandırma 3 çeşittir.

2.5.2. Küçük Kabarcıklı Havalandırma

Delik çapları 0,2 0,3 mm dir. 2-3 mm çapında hava kabarcıkları meydana getirir. Çabuk tıkanır. İyi bir ön tasfiye ve bakım gereklidir. Derinlik 0,6-6,0 m arasındadır. Oksijen girişi: 8-12 g O_2/Nm^3m ⁴

Oksijen verimi: 1,3-1,8 kg O_2/kwh .

2.5.3. Orta Kabarcıklı Havalandırıcılar

Delik çapları 1-5 mm dir. Delikleri zor tıkanır ve temizlemesi kolaydır. Orta ve büyük arıtma tesislerinde geniş çapta kullanılır. Difüzör derinliği 1,00 m civarındadır. Oksijen girişi: 5-7 g O_2/Nm^3xm ⁴

Oksijen verimi: 0,8-1,1 kg O_2/kwh .

2.5.4. Büyük Kabarcıklı Havalandırma

Delik çapları 5 25 mm dir. Tıkanma pratik olarak yoktur. Çökeltme ünitesi olmayan küçük tesislerde, Endüstriyel atıkların arıtımında uygulama alanı bulabilirler.

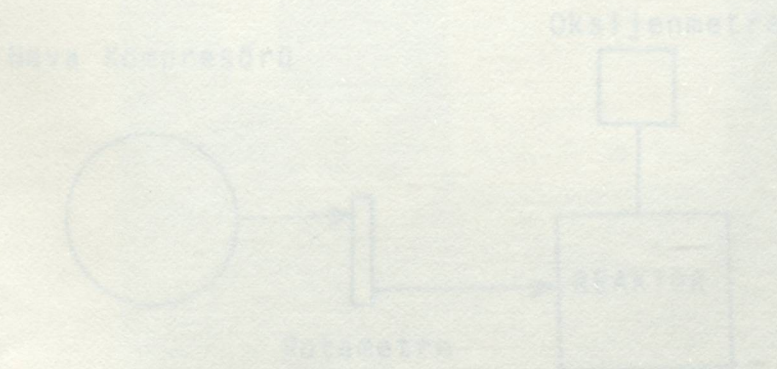
Oksijen girişi: 4-6 g O_2/Nm^3xm ⁴

Oksijen verimi: 0,009-0,9 kg O_2/kwh .

2.6. Yüzeysel Havalandırıcılar

Mekanik havalandırıcılar suya az bir şekilde batırılmış dönen cihazlar olup, dönme nedeni ile suyu normal yüzeyinin üstüne püskürtür ve havalandırmayı sağlarlar. Püskürtme ile türbülans ve havada uçan su damlacıkları meydana gelir. Damlacıkların küçük olması yüzey alanının büyümesi ve oksijen transferinin artması demektir. Damlacıklar su yüzeyine ve sirkülasyonla su yüzeyinin altına geçerler. Gücün yeterli olması halinde havalandırıcının hareketi tank boyunca sirkülasyonu tamamlamış olur.

Batma Derinliği: Havalandırıcının kullanılmış suya batma derinliği, havalandırıcının kapasitesi ve gücünü etkiler. Uygun batma derinliğinde harcanan güce uygun oksijen transferi sağlanır. Uygun batma derinliğinden daha fazla batırılırsa sadece karıştırıcı vazifesi görür ve güç artar. Batma derinliği sıfıra ulaştığında bir miktar damlacık oluşur, türbülans ve güç düşer. Sonuç olarak Oksijen transferi yok denecek kadar azalır.



Şekil 8: Deney akış şeması

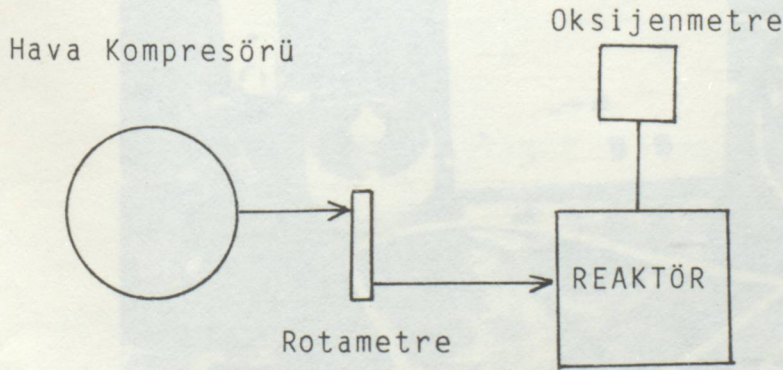
2.7. DENEY

Ekonomik ve en verimli oksijen transferini verecek sistemler araştırıldı. Bunun için 11 ayrı malzeme çeşitli şekillerde kullanıldı. Yüzeyleri ayrı çapta delinen plastik borular, inşaat malzemeleri ve akvaryum taşı seçildi. Her bir deneyin oksijen transfer katsayıları, oksijen alma kapasiteleri ve oksijen girişleri hesaplandı.

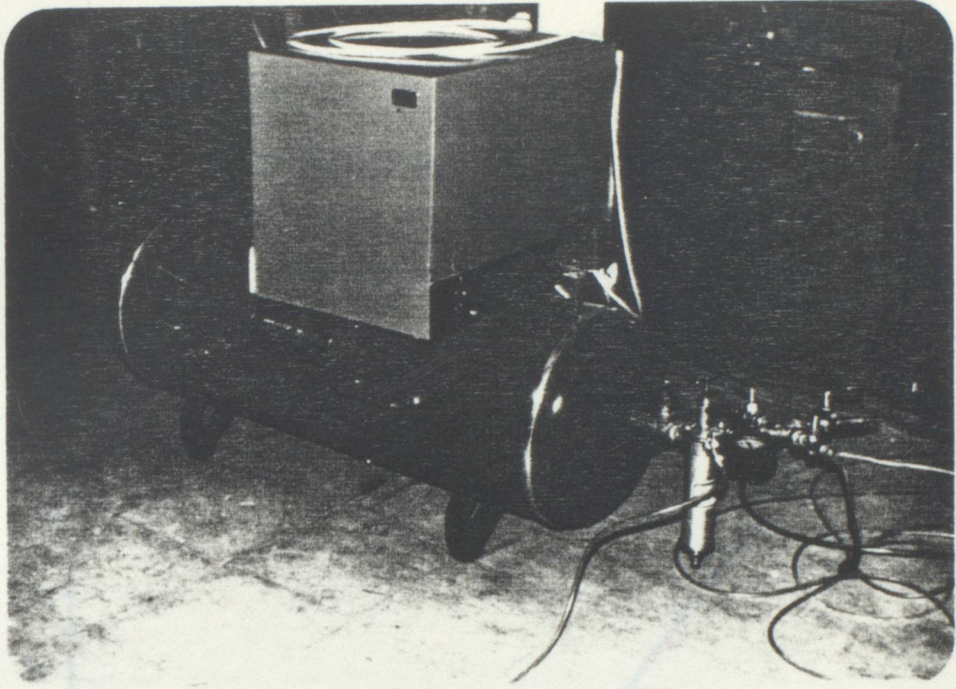
2.7.1. Deney Aletleri

- Hava kompresörü
- Rotametre
- Oksijenmetre
- Reaksiyon kabı (Reaktör)
- Saat
- Termometre

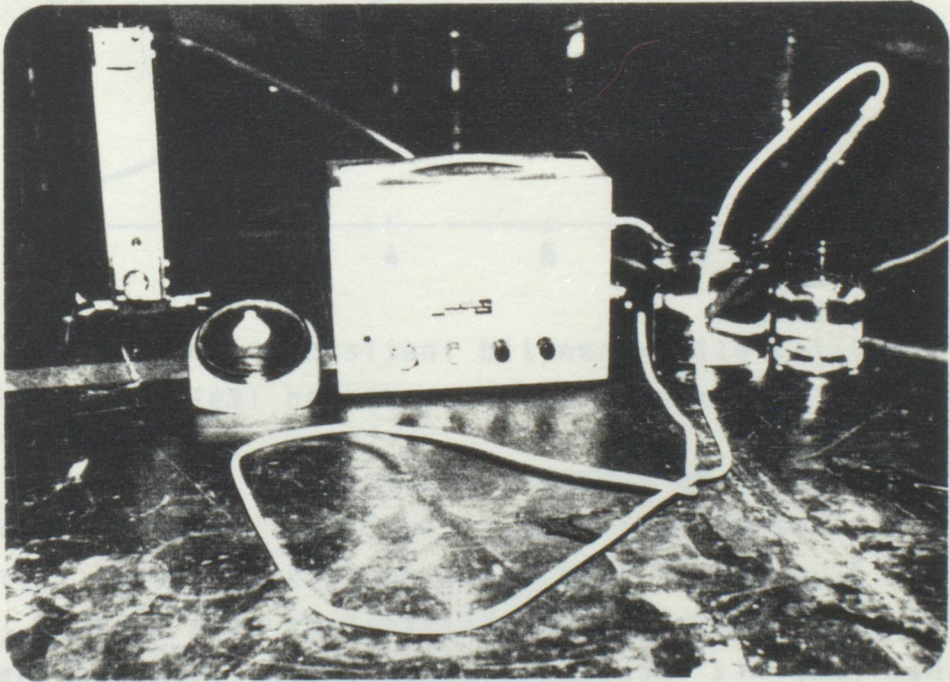
Havanın debisi, rotametreye girip çıkmasıyla ölçülerek reaktöre girer. Akım şeması aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 8: Deney akım şeması



Hava Komprasörü



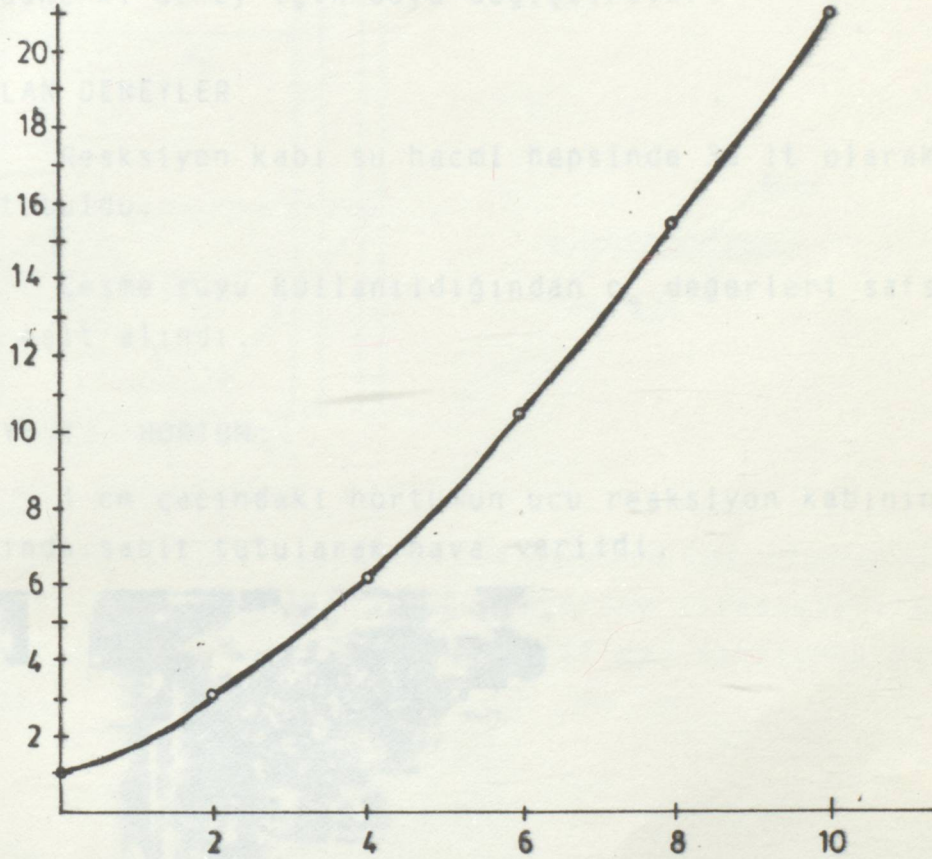
Rotametre, saat, oksijenmetre

2.7.2. Deneyin Yapılması

Deneye Başlamadan Önce

Rotametre hava sayacı ile kalibre edildi. Rotametre birimlerine karşılık gelen debi okunmuş, aşağıda çizilmiştir.

Hava debisi (lt/dak)



Rotametre birimleri

Oksijenmetre oksijeni bilinen su ile kalibre edildi. Kalibre işlemi her bir deneyden önce kontrol edildi.

Reaksiyon kabı suyunun çözünmüş oksijeni oksijenmetre ile ölçüldü. Oksijenin sıfıra indirgenmesi için her mg/l çözünmüş oksijen için 8 mg/l Na_2SO_3 ve 5 mg/l CaCl_2 kaptaki suya karıştırıldı. Sıfır değil de, belli miktara getirmek istendiğinde yukarıdaki kimyasal maddelerden aynı oranda daha az atıldı. Her iki durum içinde reaksiyon süresi için 30 dakika bekletildi.

Rotametre debisi kaydedildi.

DENEY: 2 Deney Sırasında

Oksijenmetrede çözülmüş oksijen değerleri kısa zaman aralıklarında okundu.

Oksijen konsantrasyonu istenilen seviyeye geldiğinde yani doygunluğa yaklaştığında deney tamamlandı ve bir daha ki deney için suyu değiştirildi.

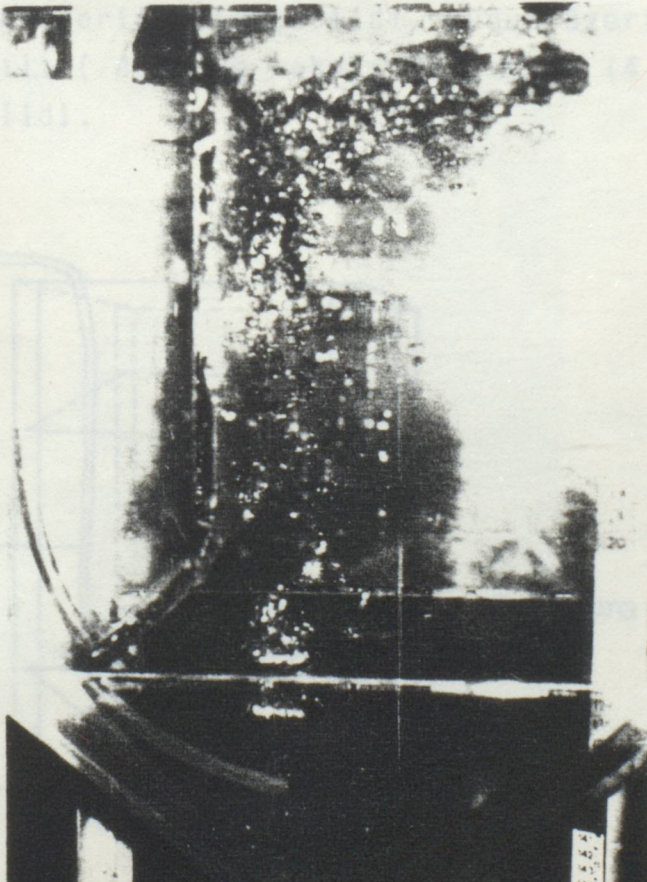
YAPILAN DENEYLER

Reaksiyon kabı su hacmi hepsinde 35 lt olarak sabit tutuldu.

Çeşme suyu kullanıldığından c_s değerleri safsuyunkine eşit alındı.

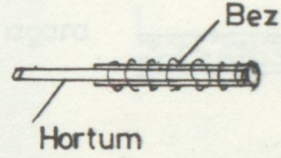
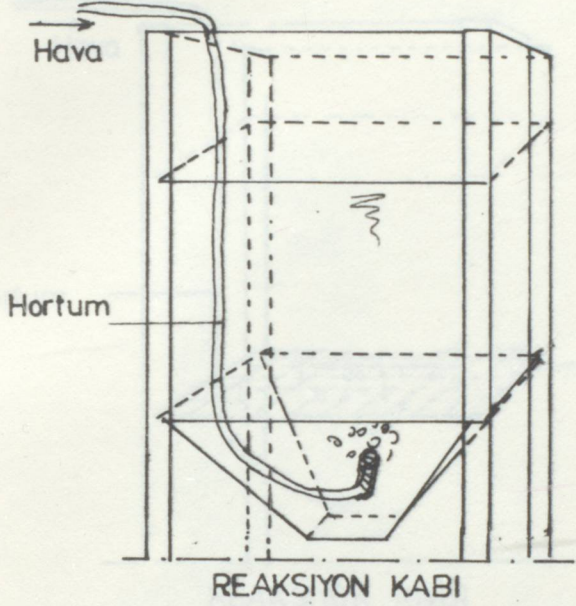
DENEY: 1 HORTUM:

1 cm çapındaki hortumun ucu reaksiyon kabının alt kısmında sabit tutularak hava verildi.



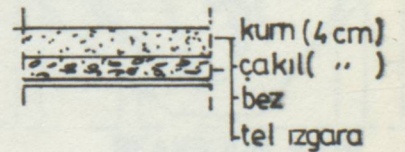
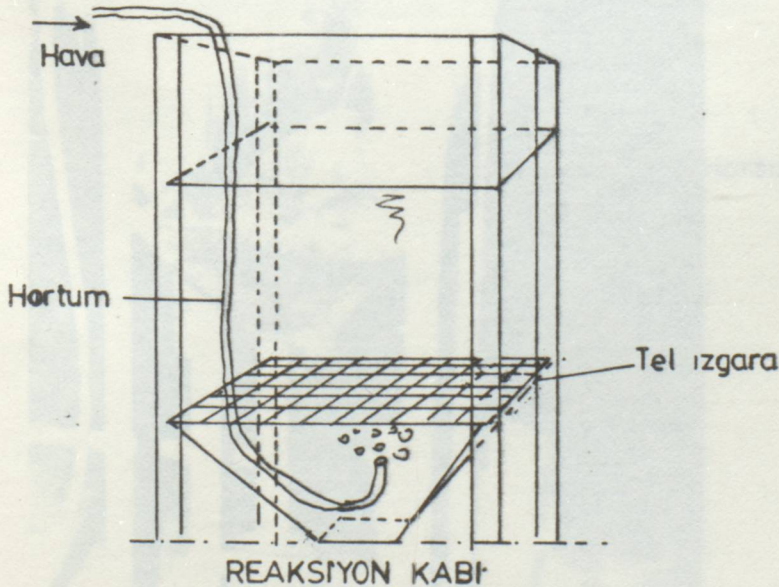
DENEY:2 BEZLİ HORTUM:

Deney 1'deki hortumun ucuna bez bağlanarak hava verildi.



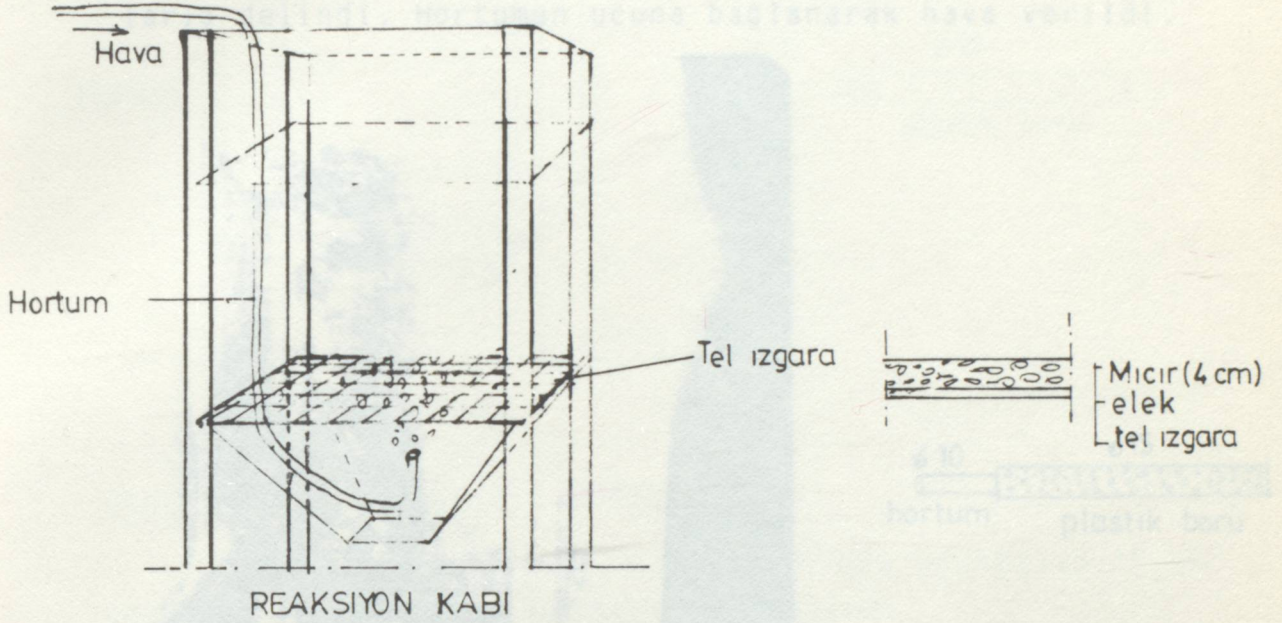
DENEY:3 KUM+ÇAKIL

Deney 1'deki sabit hortum üzerine tel ızgara ve onun üzerine bez gerildi. Bunun üzerine sırasıyla inşaat çakılı (4cm) ve kaba inşaat kumu (4 cm) serilerek hava verildi.



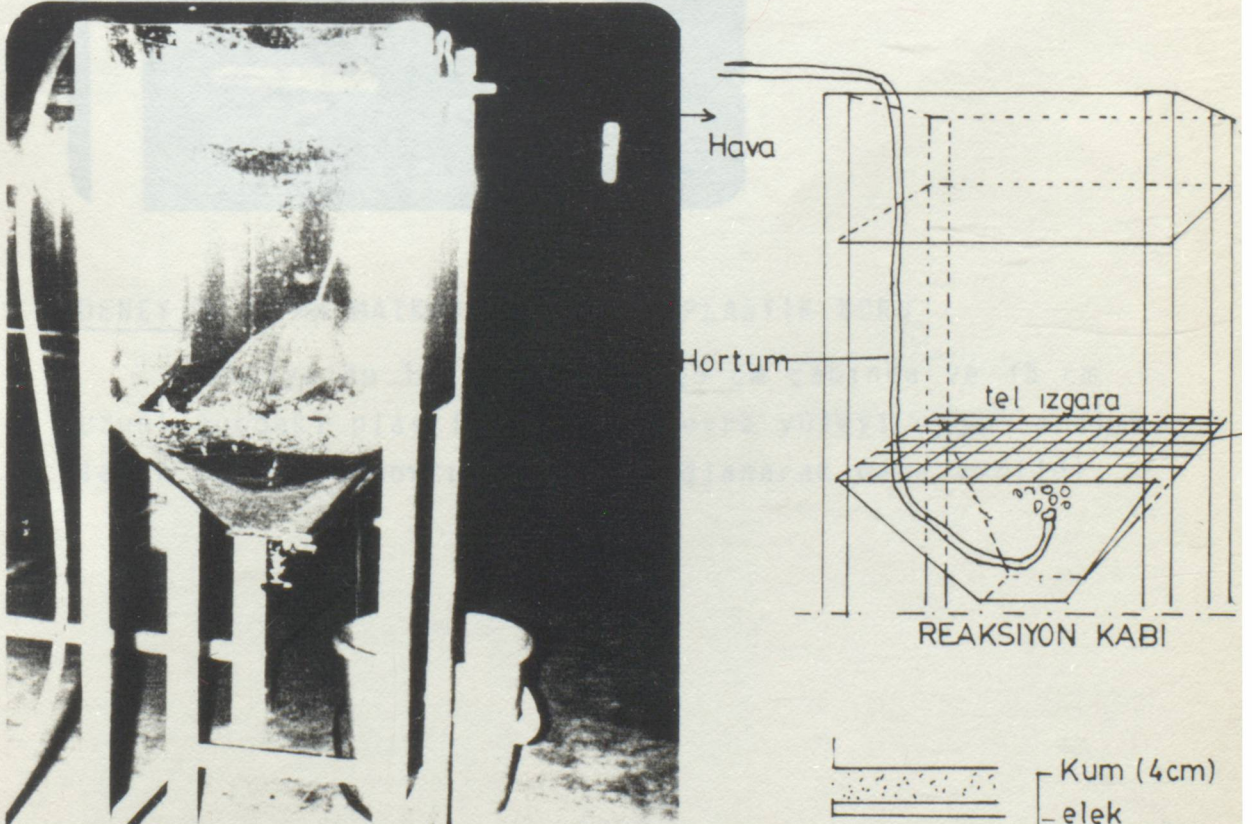
DENEY:4 1 NO'LU MICIR : A DELTNEK PLASTİK BORU:

Deney 3'deki tel ızgara üzerine sırasıyla 1 mm çaplı elek ve 1 no'lu micir konarak hava verildi.



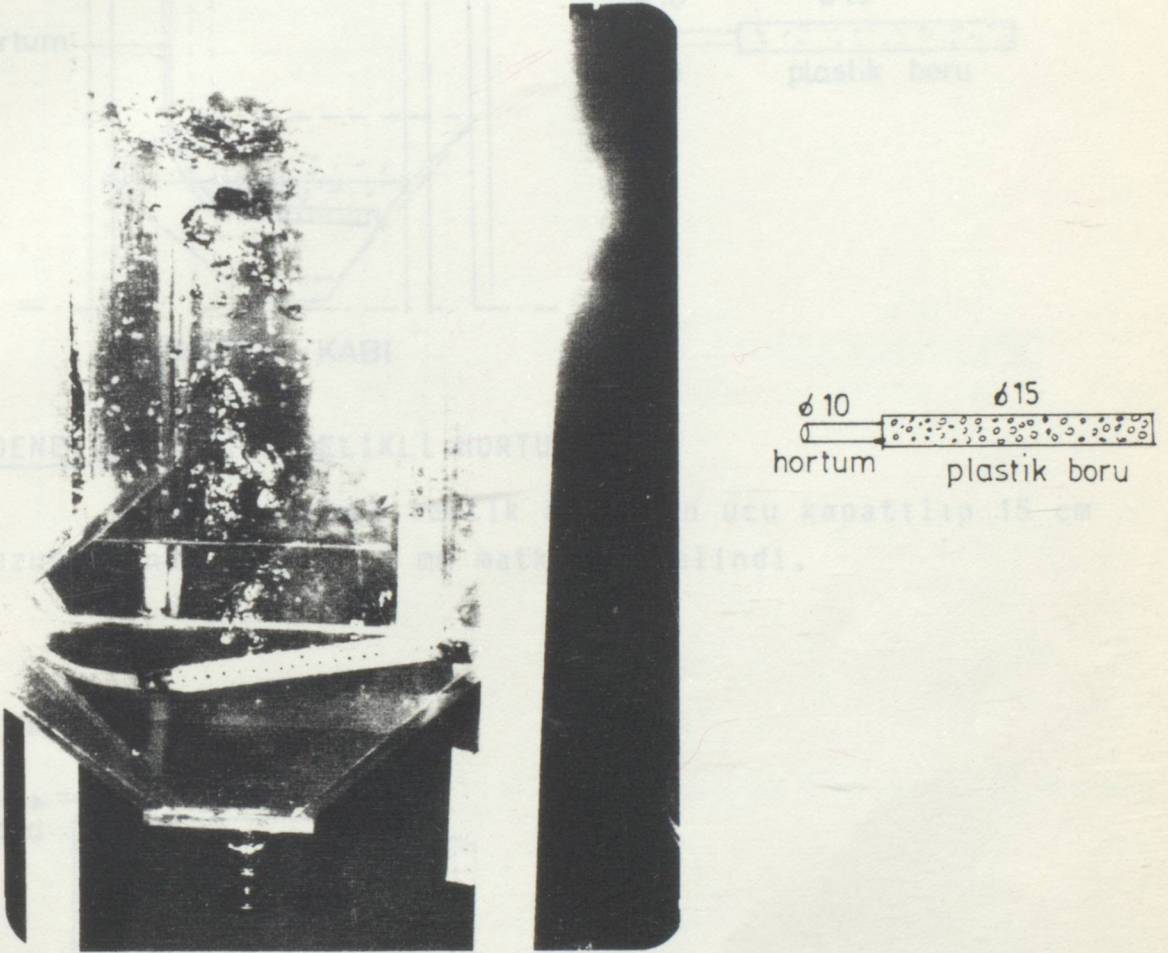
DENEY:5 KUM:

Tel ızgara üzerine 1 mm çaplı elek ve kaba inşaat kumu serilerek hava verildi.



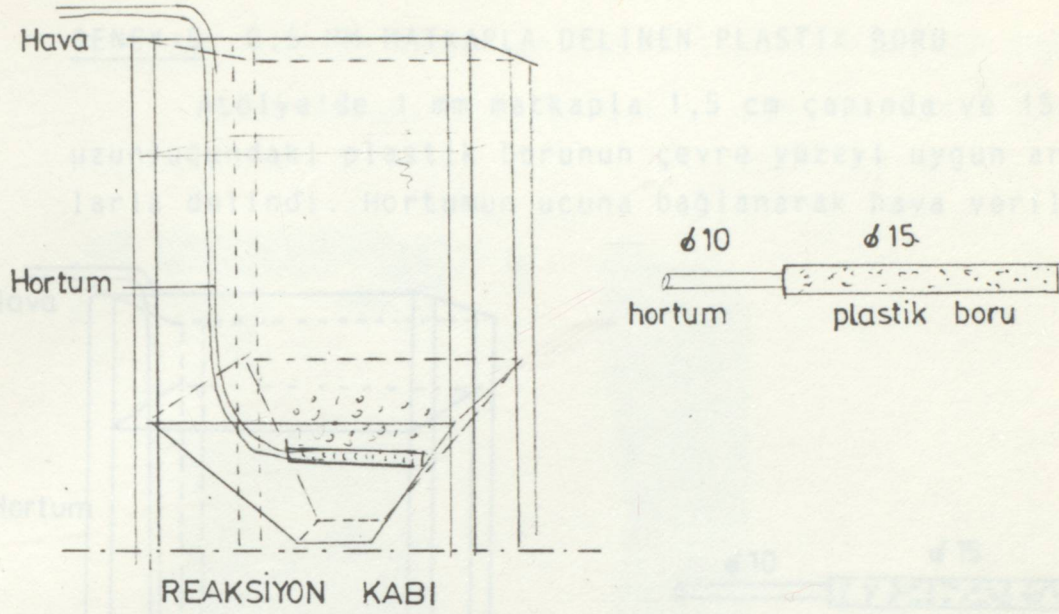
DENEY:6 3 MM MATKAPLA DELİNER PLASTİK BORU:

Atölye'de 3 mm matkapla, 1,5 cm çapında ve 15 cm uzunluğundaki plastik borunun çevre yüzeyi uygun aralıklarla delindi. Hortumun ucuna bağlanarak hava verildi.



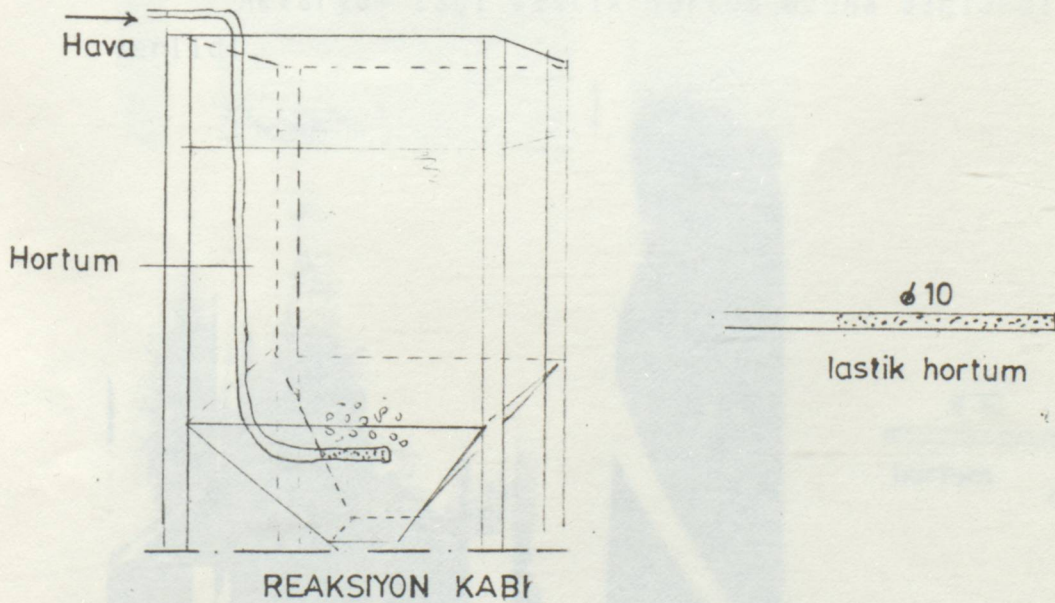
DENEY:7 1 MM MATKAPLA DELİNER PLASTİK BORU

Atölye'de 1mm matkapla 1,5 cm çapında ve 15 cm uzunluğundaki plastik borunun çevre yüzeyi uygun aralıklarla delindi. Hortumu ucuna bağlanarak hava verildi.



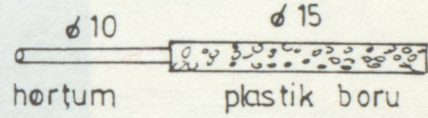
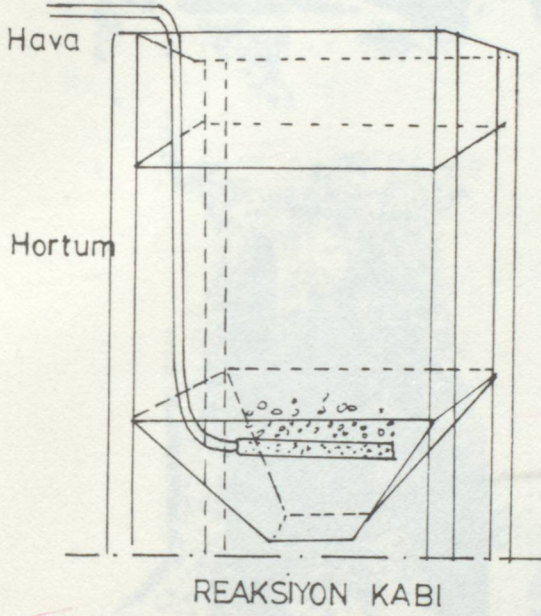
DENEY:8 LASTİK DELİKLİ HORTUM

1 cm çapındaki lastik hortumun ucu kapatılıp 15 cm uzunluğunda çevresi 1 mm matkapla delindi.



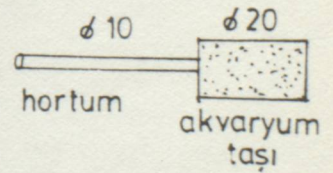
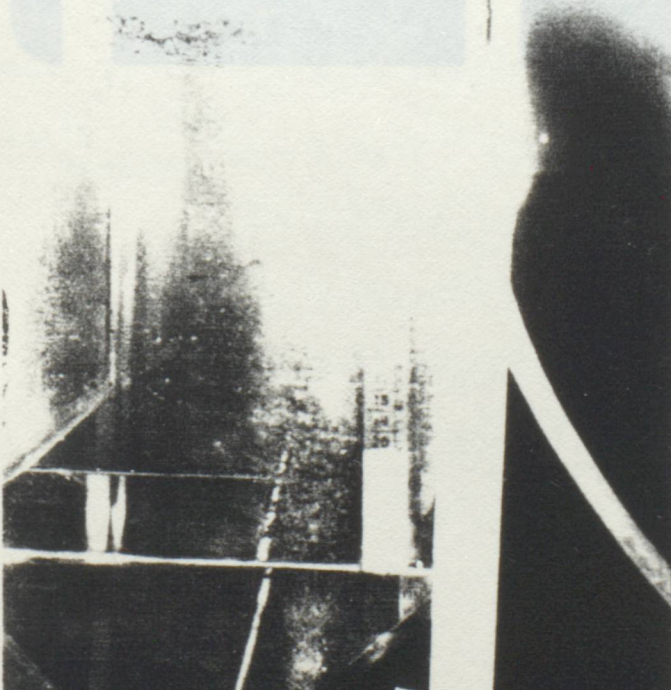
DENEY:9 0,5 MM MATKAPLA DELİNEN PLASTİK BORU

Atölye'de 1 mm matkapla 1,5 cm çapında ve 15 cm uzunluğundaki plastik borunun çevre yüzeyi uygun aralıklarla delindi. Hortumun ucuna bağlanarak hava verildi.



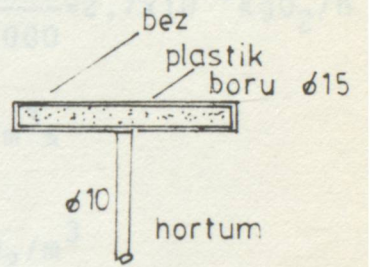
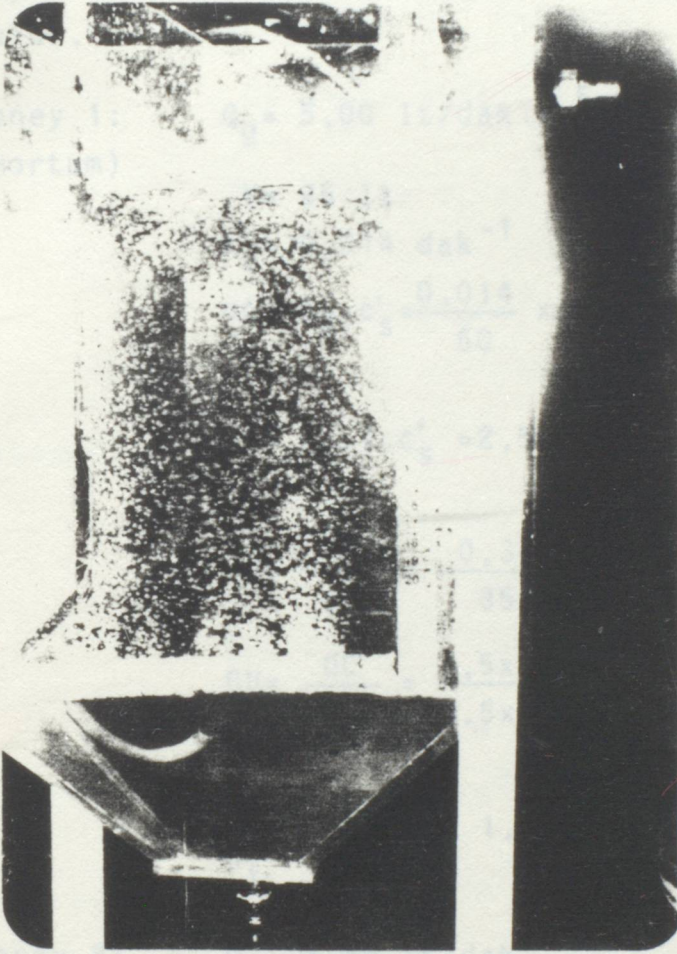
DENEY:10 AKVARYUM TAŞI

Akvaryum taşı lastik hortum ucuna bağlandı ve hava verildi.



DENEY:11 0,5 MM MATKAPLA DELİNEN BEZLİ PLASTİK BORU

Deney 9'daki plastik boruya bez sarılarak hava verildi.



2.7.3. DENEY SONUÇLARI:

11 ayrı deneyin oksijen alma kapasiteleri ve oksijen girişleri aşağıdaki gibi hesaplandı. Deneylerde reaksiyon kabı $V=35$ lt ile batma derinliği $d_i=0,25$ m sabit tutuldu.

Deney 1: $Q_g = 5,00$ lt/dak. = $\frac{5,00 \times 60}{1000} = 0,30$ m³/sn
(Hortum)

$$V = 35 \text{ lt}$$

$$k_2 = 0,014 \text{ dak}^{-1}$$

$$oc = k_2 \cdot c'_s = \frac{0,014}{60} \times 11.1 = 2,5 \times 10^{-3} \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{s}$$

$$OC = k_2 \cdot V \cdot c'_s = 2,5 \times 10^{-3} \times 0,03 \times \frac{3600}{1000} = 2,7 \times 10^{-3} \text{ kgO}_2/\text{h}$$

$$G = \frac{Q_g}{V} = \frac{0,30}{35} = 8,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{s}$$

$$OU = \frac{OC}{G} = \frac{2,5 \times 10^{-3}}{8,5 \times 10^{-3}} = 0,29 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$\frac{OU}{d_i} = \frac{0,29}{0,25} = 1,16 \text{ gO}_2/\text{m}^3 \cdot \text{m}$$

Deney 2: $Q_g = 4,00$ lt/dak

(Bezli Hortum) $oc = 3,9 \times 10^{-3} \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{s}$

$$OC = 4,21 \times 10^{-4} \text{ kgO}_2/\text{h}$$

$$G = 6,85 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{s}$$

$$OU = 0,57 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$\frac{OU}{d_i} = 2,27 \text{ gO}_2/\text{m}^3 \cdot \text{m}$$

Deney 3: (Kum+Çakıl)

$$Q_g = 5,00 \text{ lt/dak}$$

$$oc = 5,5 \times 10^{-3} \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{s}$$

$$OC = 5,90 \times 10^{-4} \text{ kgO}_2/\text{h}$$

$$G = \frac{0,30}{35} = 8,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{s}$$

$$OU = 0,65 \text{ g O}_2/\text{m}^3$$

$$\frac{OU}{d_i} = 2,60 \text{ gO}_2/\text{m}^3 \cdot \text{m}$$

Deney 4: (1 no'lu micir)

$$Q_g = 5,00 \text{ lt/dak}$$

$$oc = 7,0 \times 10^{-3} \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{s}$$

$$OC = 7,6 \times 10^{-4} \text{ kgO}_2/\text{h}$$

$$G = 7,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{s}$$

$$OU = 0,82 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$\frac{OU}{d_i} = 3,30 \text{ gO}_2/\text{m}^3/\text{m}$$

Deney 5: (Kum)

$$Q_g = 5,0 \text{ lt/dak}$$

$$oc = 7,5 \times 10^{-3} \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{s}$$

$$CO = 8,1 \times 10^{-4} \text{ kgO}_2/\text{h}$$

$$G = 8,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{s}$$

$$OU = 0,88 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$\frac{OU}{d_i} = 3,52 \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{m}$$

Deney 6: (3 mm matkapla denilen plastik boru)

$$Q_g = 5,00 \text{ lt/dak}$$

$$oc = 5,5 \times 10^{-3} \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{s}$$

$$OC = 5,9 \times 10^{-4} \text{ kgO}_2/\text{h}$$

$$G = 8,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{s}$$

$$OU = 0,65 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$\frac{OU}{d_i} = 2,6 \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{m}$$

Deney 7: (1 mm matkapla denilen plastik boru)

$$Q_g = 5,00 \text{ lt/dak}$$

$$oc = 7,9 \times 10^{-3} \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{s}$$

$$OC = 8,5 \times 10^{-4} \text{ kgO}_2/\text{h}$$

$$G = 8,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{s}$$

$$OU = 0,93 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$\frac{OU}{d_i} = 3,72 \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{m}$$

Deney 8: (Lastik delikli hortum)

$$Q_g = 4,0 \text{ lt/dak}$$

$$oc = 7,2 \times 10^{-3} \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{s}$$

$$OC = 7,8 \times 10^{-4} \text{ kgO}_2/\text{h}$$

$$G = 6,85 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{s}$$

$$OU = 1,05 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$\frac{OU}{d_i} = 4,20 \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{m}$$

Deney 9: (0,5 mm matkapla denilen plastik hortum)

$$Q_g = 4,00 \text{ lt/dak}$$

$$oc = 9,43 \times 10^{-3} \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{s}$$

$$OC = 1,02 \times 10^{-3} \text{ kgO}_2/\text{h}$$

$$G = 6,85 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{s}$$

$$OU = 1,38 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$\frac{OU}{d_i} = 5,51 \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{m}$$

Deney 10: (Akvaryum taşı)

$$Q_g = 2,5 \text{ lt/dak}$$

$$oc = 0,012 \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{s}$$

$$OC = 1,30 \times 10^{-3} \text{ kgO}_2/\text{h}$$

$$G = 4,29 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{s}$$

$$OU = 2,80 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$\frac{OU}{d_i} = 11,2 \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{m}$$

Deney 11: (0,5 mm matkapla denilen bezli plastik hortum)

$$Q_g = 3,5 \text{ lt/dak}$$

$$oc = 0,015 \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{s}$$

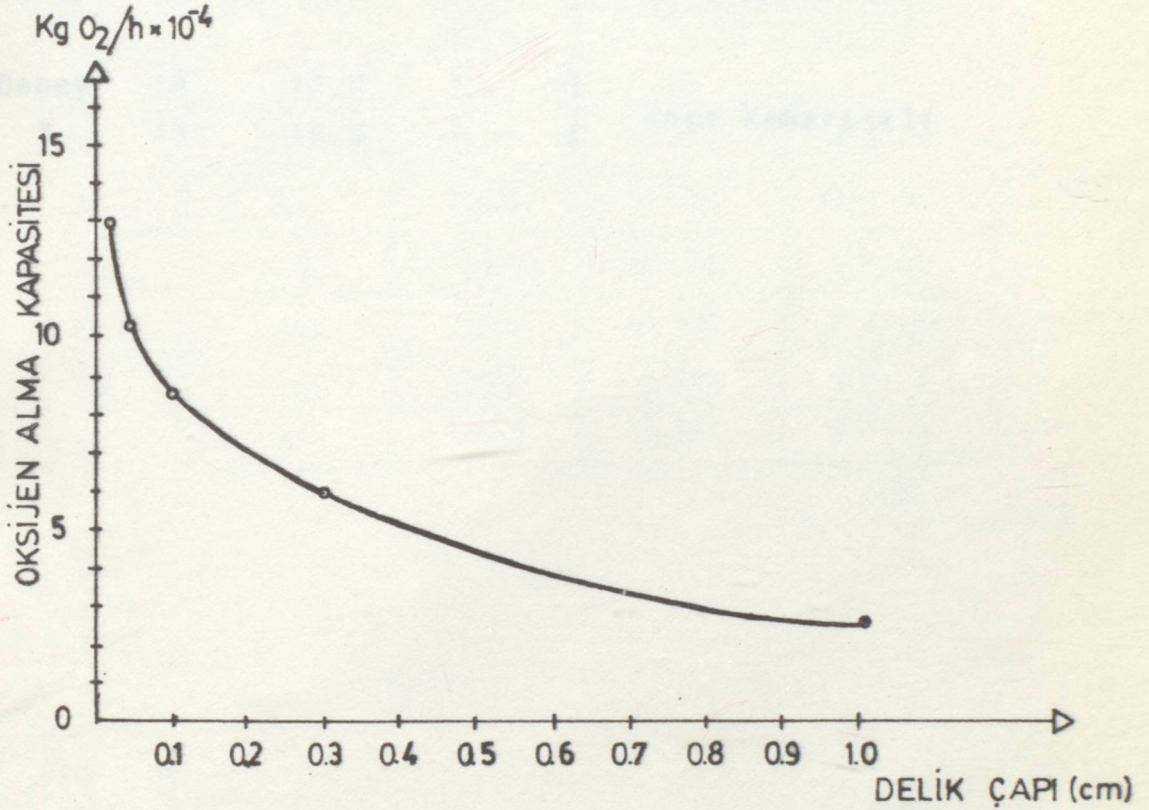
$$OC = 1,62 \times 10^{-3} \text{ kgO}_2/\text{h}$$

$$G = 6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{s}$$

$$OU = 2,50 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$\frac{OU}{d_i} = 10,0 \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{m}$$

Bu deney sonuçlarına göre oksijen kapasiteleri delik çaplarına göre aşağıdaki grafikte çizilmiştir. Grafikte delik çapları küçüldükçe oksijen alma kapasitesinin arttığı açıkça görülmektedir.



Ayrıca en fazla oksijen girişi akvaryum taşında elde edilmiştir. İnce, orta ve büyük kabarcıklı oksijen girişleri, batma derinliğine göre standart değerlerde bulunmuştur. 5 no'lu deney olan kum büyük kabarcıklı sınıfa dahildir. İşletme kolaylığı ve malzemesi ucuz olduğundan fazla yüklü olmayan tesisler de kullanılabilir.

Sınır Değerler:

İnce kabarcıklı havalandırıcılar	8-12	gO ₂ /m ³ m
Orta	"	"
Büyük	"	"

Deney	5	4,0	$\text{gO}_2/\text{m}^3\text{m}$	]	Büyük Kabarcıklı
"	7	4,0	"		
"	8	4,2	"		

Deney	9	5,5	"	]	Orta Kabarcıklı
-------	---	-----	---	---	-----------------

Deney	10	11,2	"	]	İnce Kabarcıklı
"	11	10,0	"		

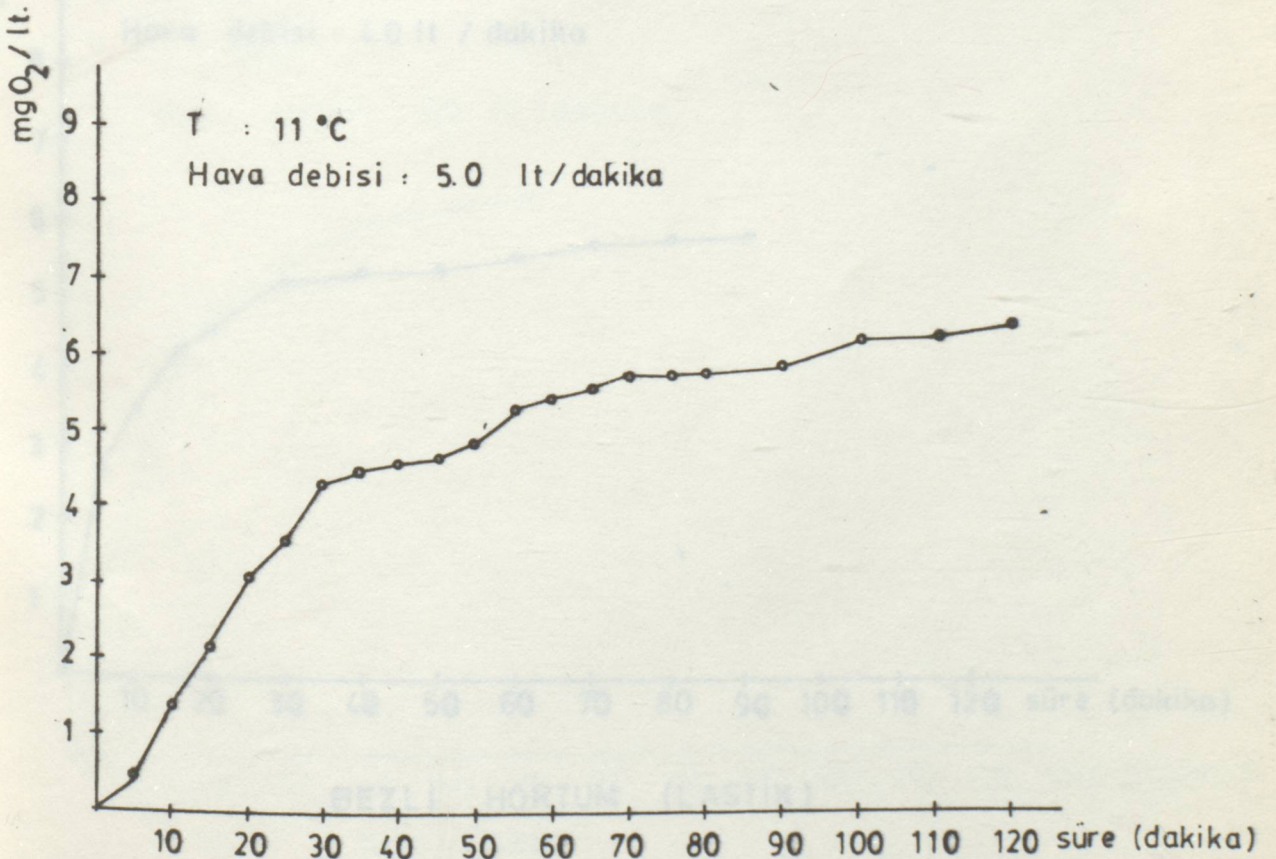
2.7.4.EKLER:

T = 11°C c_s = 11.1 HORTUM

Zaman	g O ₂ /m ³	$(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})^{-1}$	$-\ln(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})$	$k_2 = \frac{\ln \frac{c_s - c_0}{c_s - c}}{t}$
0	0	1	0	—
10	1.4	1.144	0.134	0.0134
20	3.1	1.386	0.326	0.0163
30	4.3	1.630	0.488	0.0162
40	4.6	1.704	0.533	0.0130
50	4.9	1.787	0.580	0.0120
60	5.4	1.942	0.664	0.0110

(1)

$$k_2 = \frac{0.0819}{6} = 0.014 \text{ dak}^{-1}$$

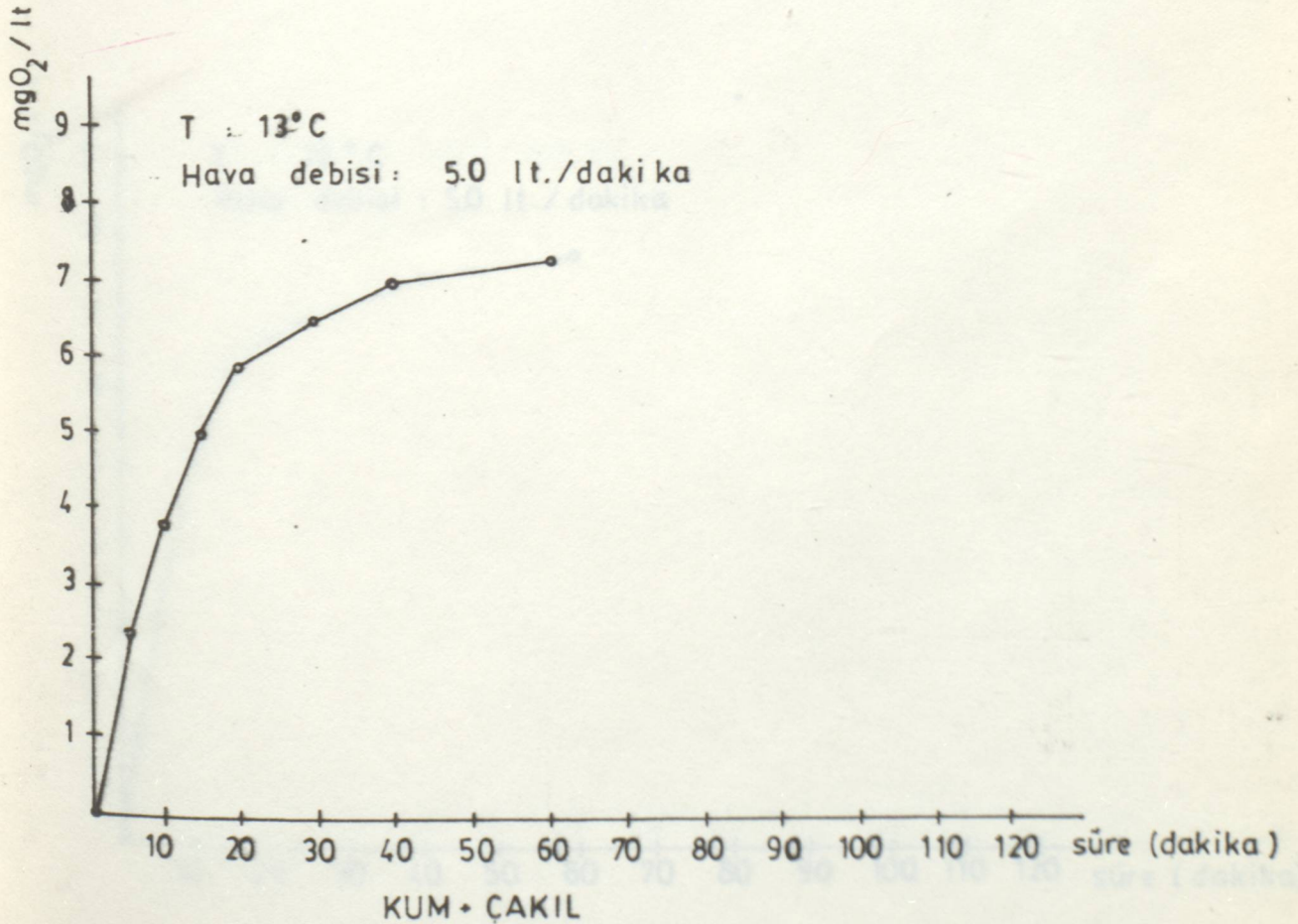


T = 13°C $c_s = 10.6$ KUM + ÇAKIL

Zaman	$g O_2 / m^3$	$(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})^{-1}$	$-\ln (\frac{c_s - c}{c_s - c_0})$	$k_2 = \frac{\ln \frac{c_s - c_0}{c_s - c_0}}{t}$
0	0	1	0	—
10	3.8	1.552	0.4392	0.0439
20	5.9	2.232	0.8028	0.0401
30	6.5	2.551	0.9366	0.0312
40	7.0	2.897	1.0636	0.0266
50	7.3	3.153	1.1485	0.0229
60	7.4	3.249	1.1784	0.0196

(3)

$$k_2 = \frac{0.1843}{6} = 0.0307 \text{ dak}^{-1}$$

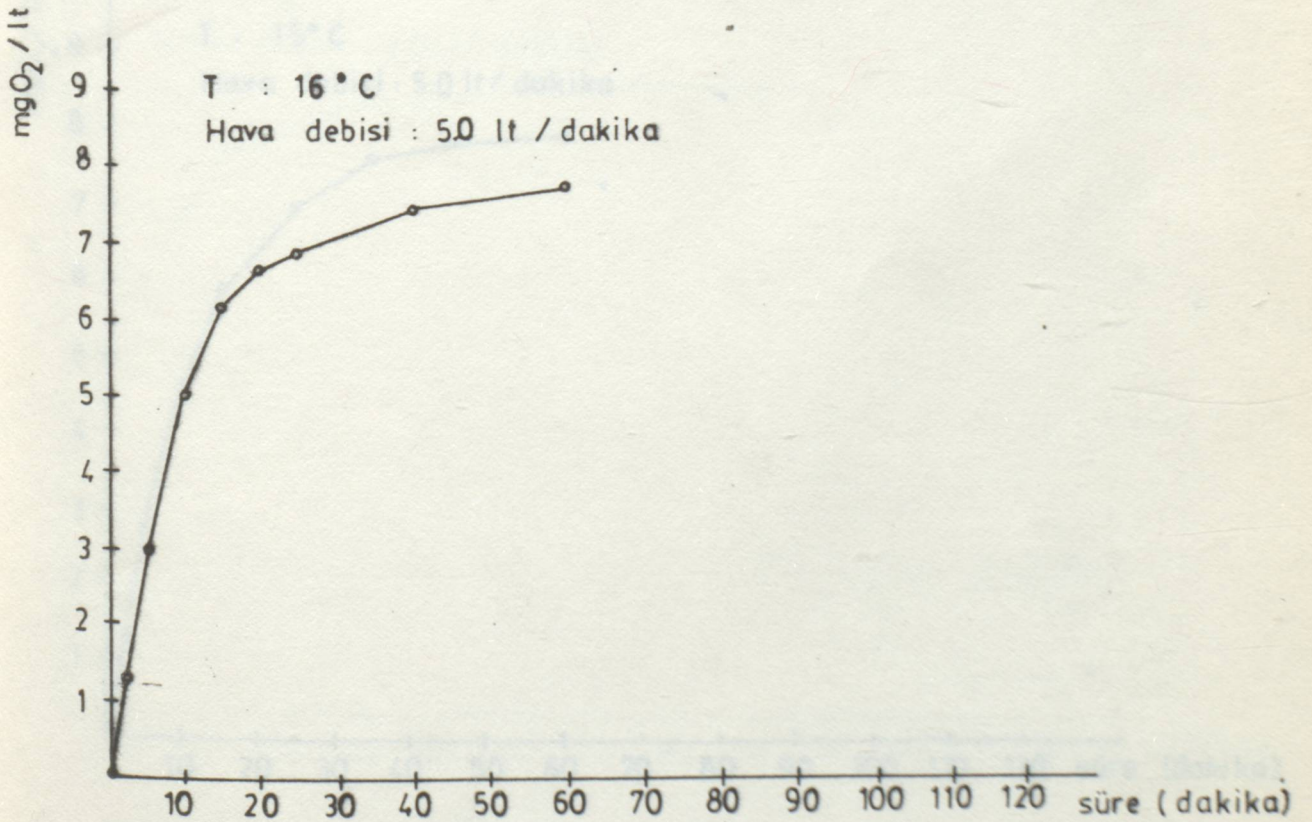


T = 16°C c_s = 10 1 NOLU MICIR

Zaman	g O ₂ / m ³	$(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})^{-1}$	$-\ln(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})$	$k_2 = -\frac{\ln \frac{c_s - c_0}{c_s - c_0}}{t}$
0	0	1	0	—
1	5.0	1.990	0.6882	0.0688
2	6.7	3.000	1.0986	0.0549
3	7.1	3.407	1.2258	0.0409
4	7.4	3.792	1.3330	0.0333
5	7.6	4.102	1.4115	0.0282
6	7.7	4.277	1.453	0.0242

(4)

$$k_2 = \frac{0.2503}{6} = 0.0417 \text{ dak}^{-1}$$



1 NOLU MICIR

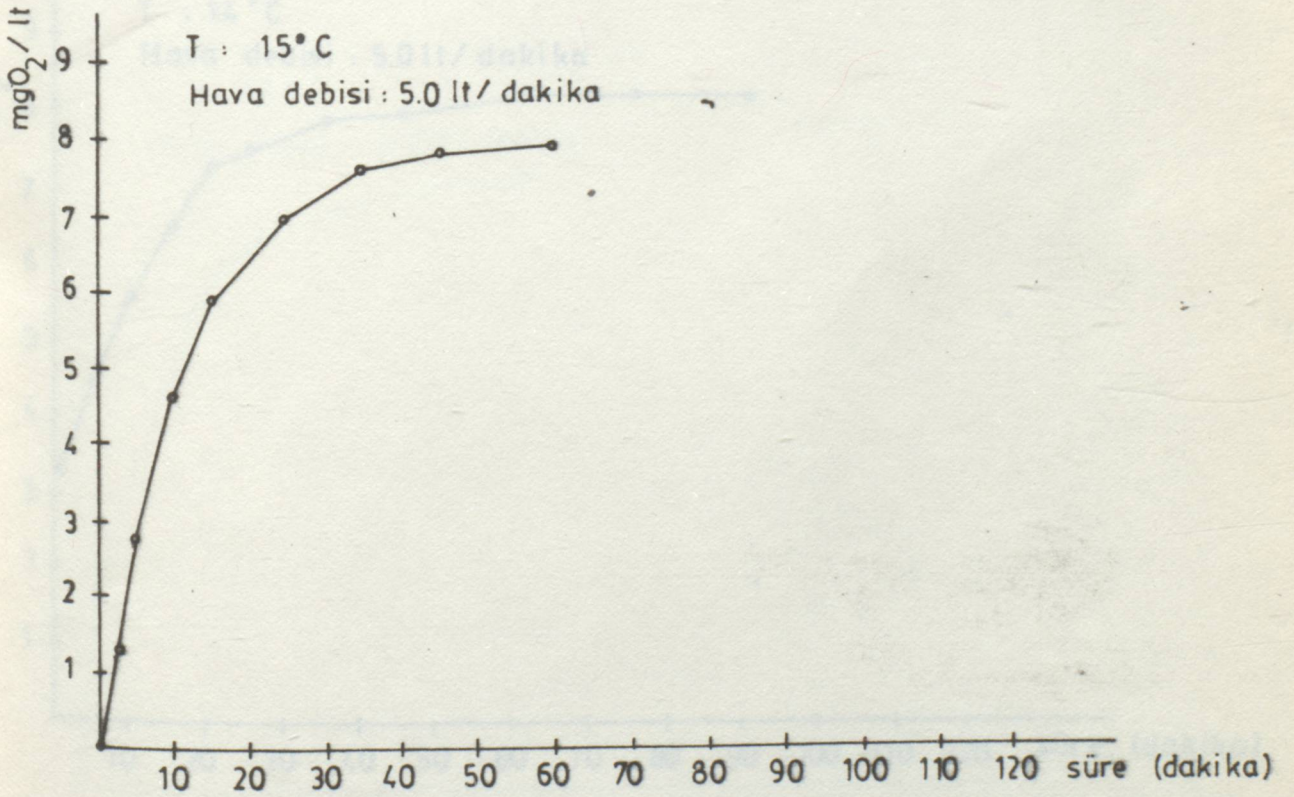
T = 15 °C $c_s=10.2$

KUM

Zaman	$g O_2/m^3$	$(\frac{c_s-c}{c_s-c_0})^{-1}$	$\ln(\frac{c_s-c}{c_s-c_0})$	$k_2 = \frac{\ln \frac{c_s-c}{c_s-c_0}}{t}$
0	0	1	0	—
5	2.8	1.375	0.3185	0.0637
15	5.9	2.353	0.8558	0.0571
25	7.0	3.147	1.1465	0.0458
35	7.6	3.857	1.3500	0.0386
45	7.8	4.171	1.4281	0.0317
60	7.9	4.347	1.4696	0.0245

(5)

$$k_2 = \frac{0.2614}{6} = 0.044 \text{ dak}^{-1}$$



KUM

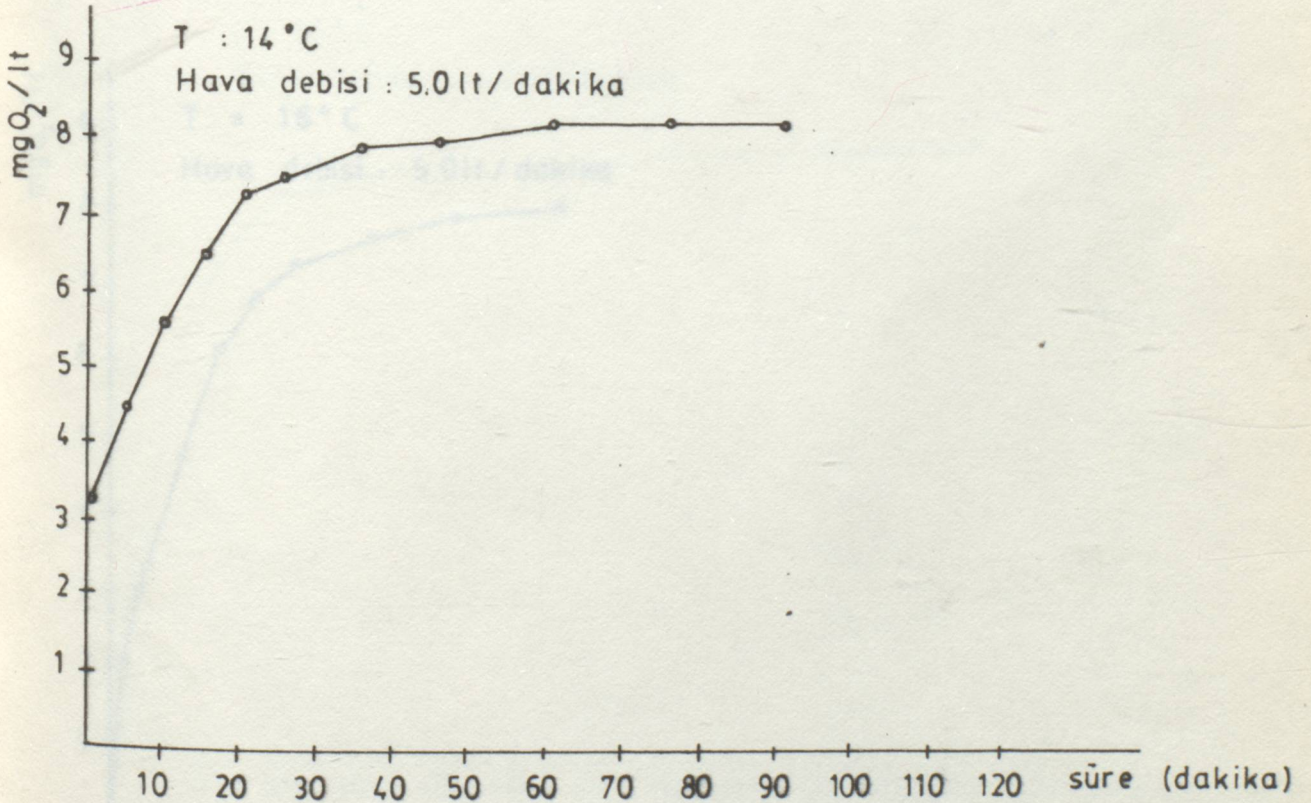
3 mm MATKAPLA DELİNEN PLASTİK BORU

T = 14 °C c_S = 10.40

Zaman	g O ₂ /m ³	$(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})^{-1}$	$-\ln(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})$	$k_2 = \frac{\ln \frac{c_s - c}{c_s - c_0}}{t}$
0	3.3	1	0	—
10	5.7	1.502	0.4069	0.0407
15	6.6	1.851	0.6155	0.0410
25	7.5	2.409	0.8794	0.0352
35	7.9	2.783	1.0235	0.0292
45	8.0	2.895	1.0630	0.0236
60	8.3	3.294	1.1920	0.0199

(6)

$$k_2 = \frac{0.1896}{6} = 0.032 \text{ dak}^{-1}$$



3 mm MATKAPLA ATÖLYEDE DELİNEN PLASTİK BORU

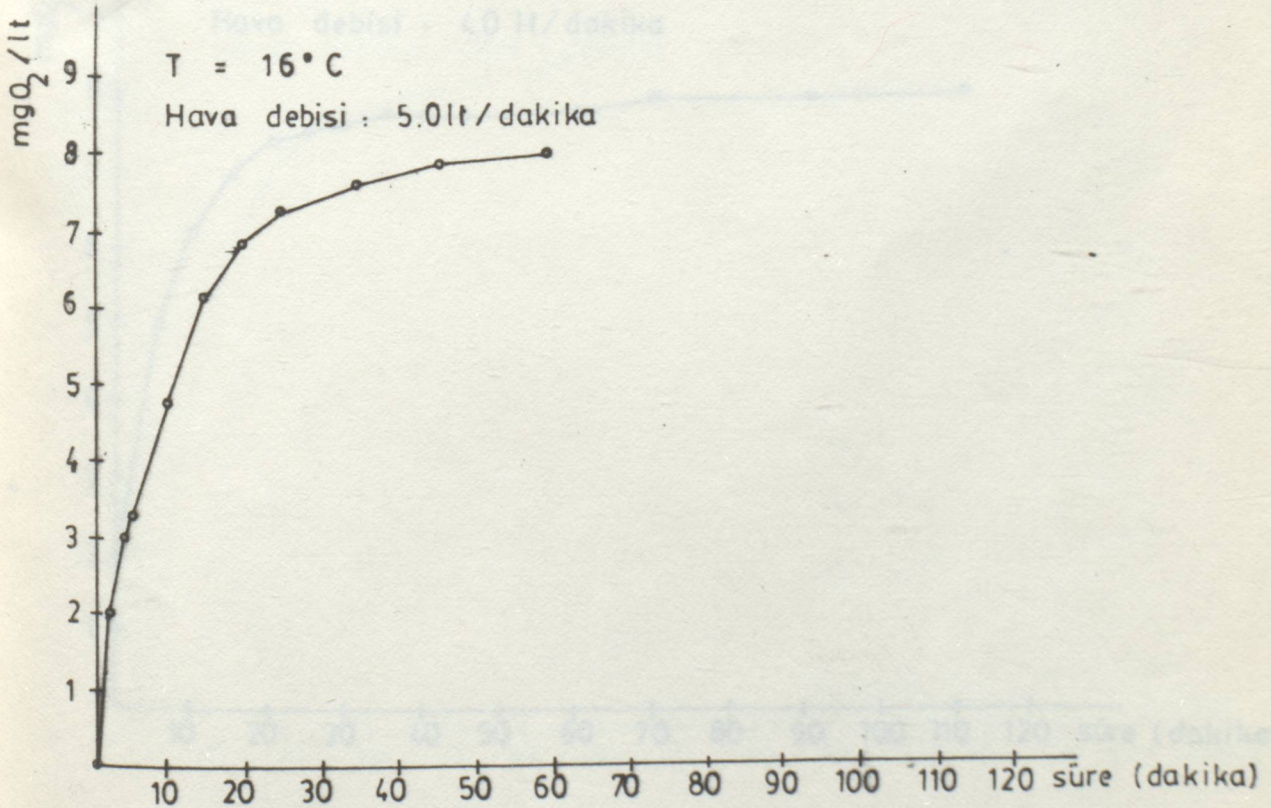
1mm MATKAPLA DELİNEN PLASTİK BORU

T = 16°C c_s = 10.0

Zaman	gO ₂ /m ³	$(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})^{-1}$	$\ln(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})$	$k_2 = -\frac{\ln \frac{c_s - c_0}{c_s - c_0}}{t}$
0	0	1	0	—
10	4.8	1.914	0.6493	0.0649
15	6.2	2.610	0.9594	0.0640
25	7.3	3.655	1.2961	0.0518
35	7.7	4.277	1.4531	0.0415
45	7.9	4.674	1.5421	0.0343
60	8.0	4.902	1.5897	0.0265

(7)

$$k_2 = \frac{0.283}{6} = 0.047 \text{ dak}^{-1}$$



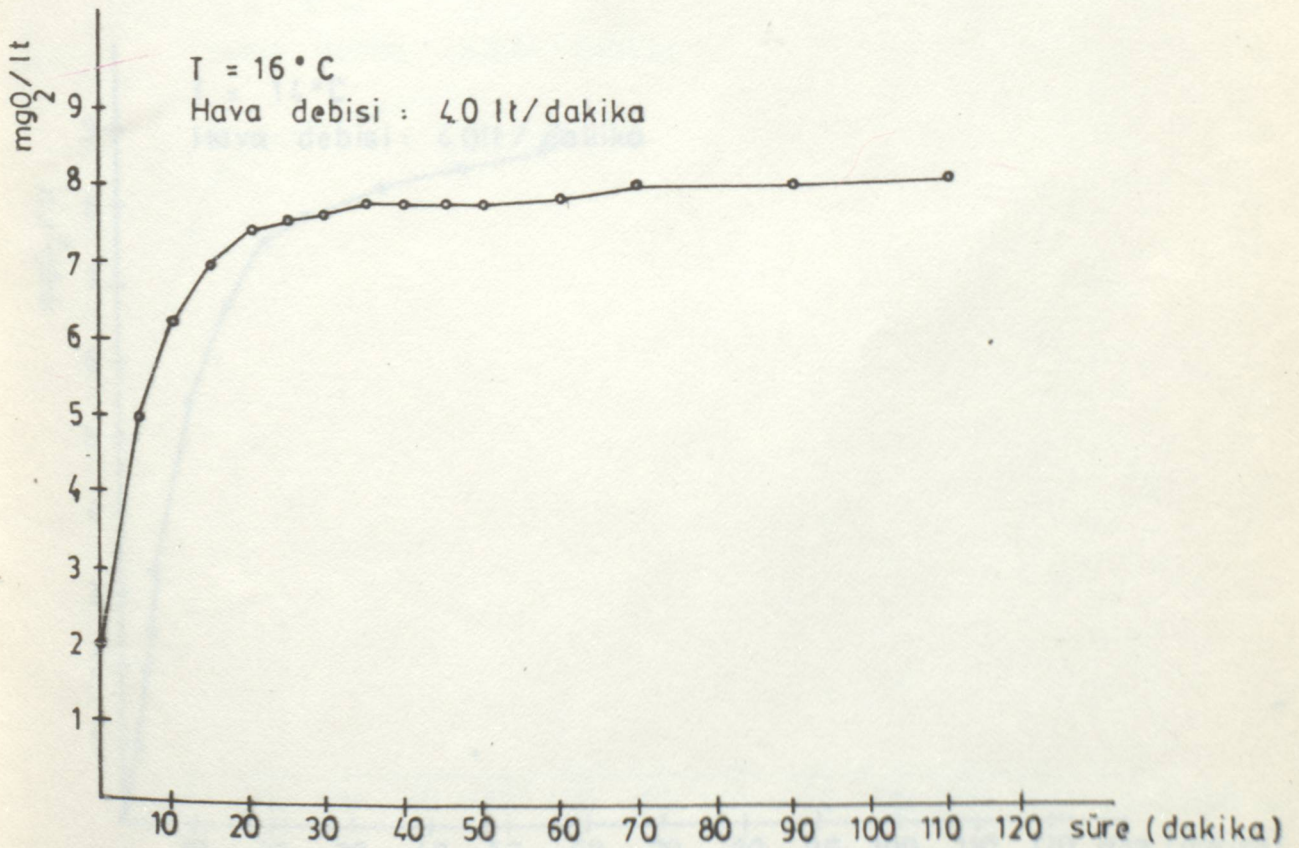
LASTİK DELİKLİ HORTUM

T = 16 °C c_s = 10.0

Zaman	g O ₂ /m ³	$(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})^{-1}$	$-\ln(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})$	$k_2 = -\frac{\ln \frac{c_s - c_0}{c_s - c_0}}{t}$
0	2	1	0	—
10	6.2	4.351	1.4705	0.1470
20	7.4	12.385	2.5165	0.1258
30	7.7	22.300	3.1355	0.1045
40	7.8	32.200	3.4719	0.0868
50	7.8	32.200	3.4719	0.0868
60	7.9	53.67	3.9828	0.0664

(8)

$$k_2 = \frac{0.2561}{6} = 0.043 \text{ dak}^{-1}$$



LASTİK (DELİKLİ) HORTUM

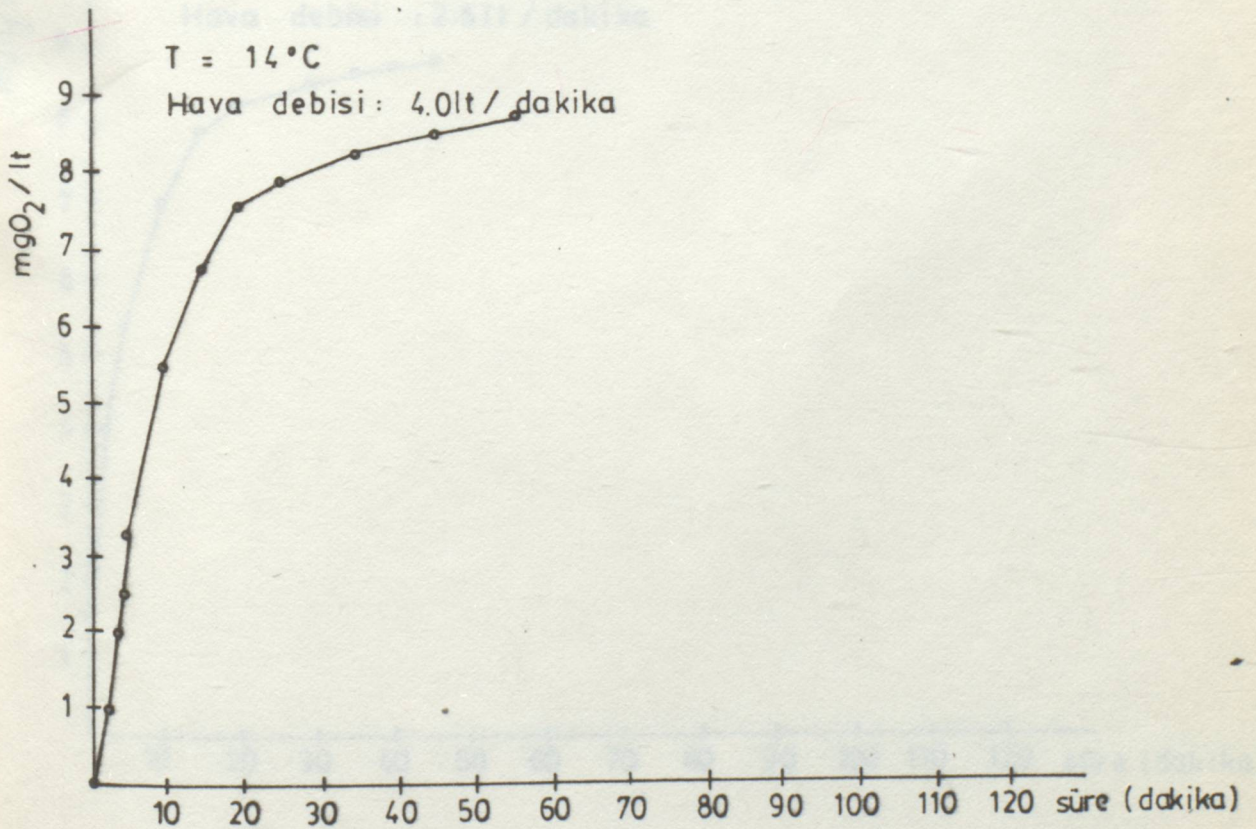
0.5 mm. MATKAPLA DELİNE N PLASTİK BORU

T = 14°C c_s = 10.4

Zaman	g O ₂ /m ³	$(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})^{-1}$	$-\ln (\frac{c_s - c}{c_s - c_0})$	$k_2 = \frac{\ln \frac{c_s - c_0}{c_s - c_0}}{t}$
0	0	1	0	—
5	3.3	1.4596	0.3782	0.0756
15	6.8	2.8478	1.0465	0.0698
20	7.6	3.6388	1.2917	0.0640
30	8.0	4.2258	1.4412	0.0480
45	8.5	5.2929	1.6664	0.0370
60	8.8	6.2381	1.8307	0.0305

(9)

$$k_2 = \frac{0.3255}{6} = 0.054 \text{ dak}^{-1}$$



0.5 mm. MATKAPLA ATÖLYEDE DELİNE N PLASTİK BORU

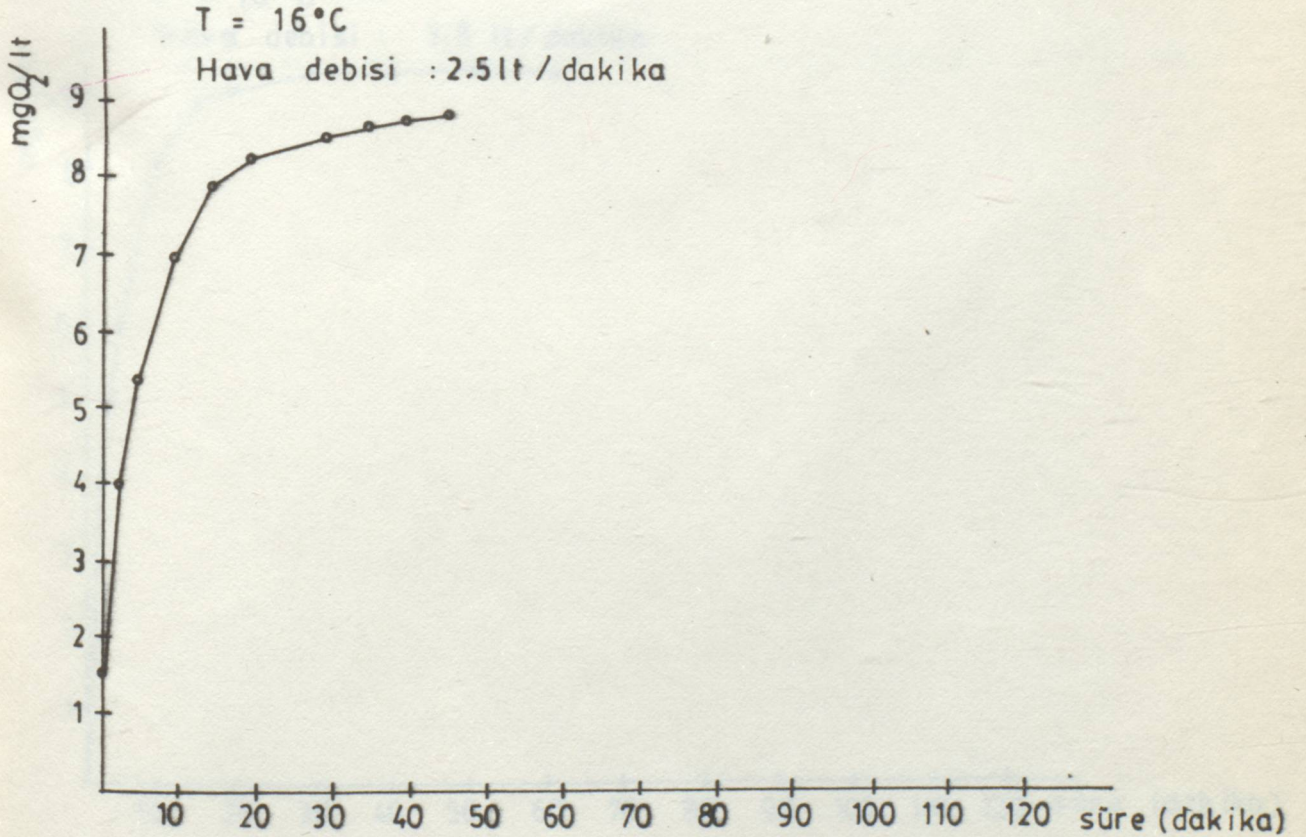
AKVARVUM TAŞI

T = 16°C c_s = 10.0

Zaman	gO ₂ /m ³	$(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})^{-1}$	$\ln(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})$	$k_2 = -\frac{\ln \frac{c_s - c_0}{c_s - c_0}}{t}$
0	15	1	0	—
5	54	1 839	0.6091	0.1218
10	70	2 803	1.0307	0.1031
20	83	4 886	1.5863	0.0793
35	87	6 333	1.8458	0.0527
45	89	7 4348	2.0062	0.0446
60	90	8 1429	2.0971	0.0350

(10)

$$k_2 = \frac{0.4365}{6} = 0.073 \text{ dak}^{-1}$$



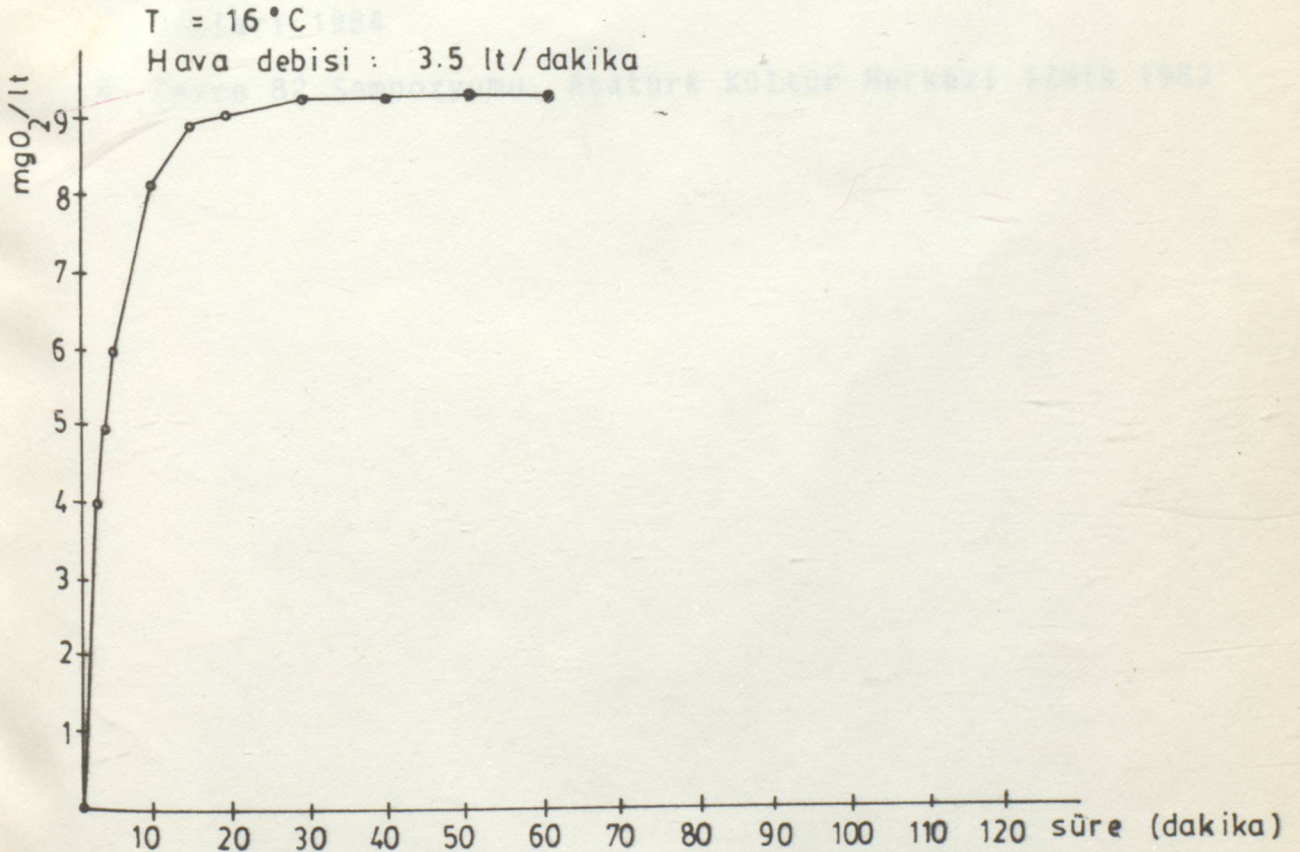
0.5mm MATKAPLA DELİNEN BEZLİ PLASTİK BORU

T = 16°C c_s = 10.0

Zaman	g O ₂ /m ³	$(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})^{-1}$	$-\ln(\frac{c_s - c}{c_s - c_0})$	$k_2 = \frac{\ln \frac{c_s - c_0}{c_s - c}}{t}$
0	0	1	0	—
10	8.2	5.432	1.6924	0.1692
20	9.1	10.579	2.3589	0.1179
30	9.3	13.400	2.5953	0.0865
40	9.4	15.462	2.7384	0.0685
50	9.5	18.273	2.9054	0.0581
60	9.5	18.273	2.9054	0.0484

(11)

$$k_2 = \frac{0.5486}{6} = 0.091 \text{ dak}^{-1}$$



0.5mm MATKAPLA DELİNEN BEZLİ PLASTİK BORU

REFERANS

- 1- Pöpel, H.J "Aeration and Gas Transfer" Delf University of Technology, 1975
- 2- Metcalf a. Eddy Inc. Wastewater Ing, Tota Mac. Graw-Hill. Puplisehing Co. New Delhi 1979
- 3- A.T.V. Abwassertechnik B.II. Verlag Von Wilhelm Ernst Berlin 1975
- 4- Baştürk, A. Lisansüstü Yaz Okulu, Yıldız Üniversitesi 1984
- 5- Ali Kalender, Doktora Tezi, İ.T.Ü.
- 6- Sorab Arcevelia Pissu Tasfiye Metodları İller Bankası 1975
- 7- Eroğlu V. Su Tasfiyesi İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, ders notları 1984
- 8- Çevre 82 Sempozyumu, Atatürk Kültür Merkezi İZMİR 1982

