

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİNDE
TEMEL İŞLEMLER VE PROSESLER - II
LABORATUARI DENEY FÖYÜ**

PROF.DR. YÜKSEL ARDALI

**ARŞ. GÖR. BİLGE AYDIN ER
ARŞ. GÖR. HANDAN ATALAY**

**SAMSUN
2020**

İÇİNDEKİLER

1. Vakum Filtrasyonu	3
2. Biyolojik Arıtım ve Aktif Çamur Kinetiği	5
3. Yoğunluk ve Viskozite Ölçümleri	13
4. İyon Değişirme İle Sertlik Giderimi	19
5. Ekstraksiyon	26
6. Gaz Transferi	32
7. Hava Sıyırma İle Amonyak Giderimi	45
8. Isı Aktarımı	50

1. DENEY VAKUM FİLTASYONU

1. DENEYİN AMACI: Ham çamurun filtrasyona karşı özgül direncinin ölçülmesi ve en iyi filtrasyon işlemi için gerekli koagülant dozunun tayin edilmesi.

2. GENEL BİLGİ:

Vakum filtrasyonu, atıksuların çamurunu ayırmak için kullanılan bir yöntemdir. Su, vakum altında gözenekli bir ortamdan geçer ve katı partiküller kalır. Filtrasyondan önce çamurun kimyasal şartları ayarlanarak katılar ve çamur sıvısı arasındaki kohezyon kuvvetleri azaltılabilir. Bazı kimyasal maddelerin ilavesi çözünmüş maddelerin çökmesine yardımcı olur. Bir başka deyişle bu kimyasal ayarlamalar çamur kekinin filtrasyona olan direncini azaltır. Vakum filtrasyonu için temel eşitlik;

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P \cdot A^2}{\mu(r \cdot c \cdot V + R_m \cdot A)}$$

Şeklinde verilir. Burada;

V = Filtrat Hacmi (cm³)

P = Uygulanan Vakum Basıncı (g/cm²)

A = Filtrat Alanı(cm²)

R_m= Filtre Ortamının Başlangıç Direnci

t = Zaman(s)

r = Çamur Kekinin Özgül Direnci(sn²/g)

c = Birim Filtrat Alanı Başına Katı Kek AğırlığıKg/cm³)

μ = Filtratın Mutlak Viskozitesi (g/cm.s) dir.

Yukarıdaki eşitlik integre edilip düzeltilirse;

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \cdot r \cdot c}{2 \cdot P \cdot A^2} V + \frac{\mu \cdot R_m}{P \cdot A}$$

eşitliği elde edilir.

Çamurun özgül filtrasyon direnci r ; ölçülen hacim değerlerine karşı, t/V değerlerinin grafiğe alınmasıyla bulunabilir. Çizilecek grafikteki doğrunun eğimi b olmak üzere çamur direnci; aşağıdaki biçimde elde edilir.

$$r = \frac{2 \cdot b \cdot P \cdot A^2}{\mu \cdot c}$$

Çamurun spesifik direnci, sayısal olarak birim kek ağırlığından, birim viskozitedeki, birim filtrat akış hızını elde etmek için gerekli basınç farkına eşittir.

Özgül filtrasyon direnci r , farklı çamurlar, Bunher Hunisi testinde, filtrasyon karakteristiklerini karşılaştırmak ve en iyi filtrasyon için gerekli koagülant miktarının bulunmasında kullanılır.

3. DENEYİN YAPILIŞI:

- 1- Uygun hacimde ham çamur alınır ve bunun başlangıçta toplam katı madde miktarı bulunur. Çamur örneği 4 kısma ayrılır Her birine değişik konsantrasyonlarda ferrik klorür ilave edilir.
- 2- Bunher Hunisine Vvatman No:1 veya 2 olan süzgeç kağıdı yerleştirilir ve filtre kağıdının alanı bulunur.
- 3- Filtre kağıdı ıslatılıp iyice yerleştirilir ve 100mL çamurlu su huniye alınır. Zaman tutularak 25mm civarında vakum uygulanır. Her 10mL'lik filtrat hacmi okununca zaman kaydedilir. Bu işleme 20 dakika kadar devam edilir.
- 4- 3. ve 4. adımlar, ferrik klorür dozajları farklı olan üç çamurlu su örneği içinde aynen tekrarlanır. Filtrat sıcaklığı ölçülüp, kayıt edilir.

4. HESAPLAMA VE TARTIŞMA SORULARI:

- 1- Her koagülant dozu için Vakum Filtrasyon verileri tablo halinde t/V değerleri de hesaplanarak yazılır.
- 2- Her doz için V 'ye karşı t/V grafiği çizilir, çıkan doğrunun eğimi bulunur.
- 3- Değişik dozlar için özgül filtrasyon dirençleri hesaplanır.
- 4- Özgül direnç değerleri doza karşı grafiğe geçirilir. Minimum r değerine karşılık gelen koagülant dozu tespit edilir.

2. DENEY BİYOLOJİK ARITIM VE AKTİF ÇAMUR KİNETİĞİ

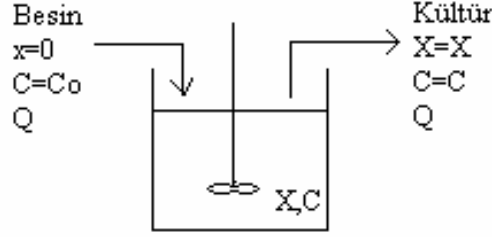
1. DENEYİN AMACI: · Biyokütle ve substrat konsantrasyonunun geri devirsiz reaktör içinde zamana bağlı değişimini, büyüme hızını ve biyolojik arıtım sistem kinetiğini incelemek.

2. GENEL BİLGİ:

Aktif çamur prosesleri atıksu içindeki organik maddeleri aerobik şartlar altında çeşitli mikroorganizmaların büyümesi için kullandıran sistemlerdir. Böylece substratlar mikrobiyal solunum ve mikroorganizma senteziyle uzaklaştırılırlar. Bu yöntemle çözünmüş veya kolloid halindeki çökelmez durumda bulunan organik maddeler flokleştirilerek çökeltilbilir hale getirilir. Aktif çamur mikroorganizmaları arasında bakteri, virüsler, maya, protozoa, rotifer, kurt ve larvalar bulunur. Bu sistem oksijen sağlayıcı bir mekanizma ile donatılmış biyolojik bir reaktör (havalandırma tankı), bir katı-sıvı ayırıcısı (son çökeltme havuzu) ve geri devir pompalarından oluşmaktadır.

Arıtılacak olan atıksu geri devredilmiş aktif çamur akışı ile biyolojik reaktöre girmeden hemen önce ya da hemen sonra karışır. Reaktördeki aktif çamur ile atıksu karışımında bulunan askıdaki katılar (MLSS) aktif çamur sistemlerinde genel olarak 2000-4000 mg/L arasındadır. Geri devirli sistemlerde reaktördeki MLSS nin sürekli aynı değerde kalmasını sağlamak amacıyla son çökeltme havuzundaki çökeltmiş aktif çamurun bir kısmı geri devredilir. Geri devir oranı istenen MLSS konsantrasyonuna ve geri devir akışındaki çökeltmiş aktif çamurun konsantrasyonuna bağlıdır. Geri devirsiz sistemlerde ise toplam hidrolik bekleme süresi (HRT) çamur yaşı da denilen MLSS bekleme süresine (SRT) eşittir ve bu sürede reaktörde istenen MLSS konsantrasyonunun üretilmediği, dışarıdan çamur ilavesine gerek olmadığı bilinmektedir.

Laboratuvar şartlarında sürekli akımlı reaktöre benzeşimi sağlayabilmek için doldur-boşalt şeklinde reaktör çalıştırılır. Şekil 1'de bir kemostat sistemi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1. Kemostat

Geri devirsiz bir kemostat sisteminde biyokütle için kütle dengesi:

Biyokütledeki net artış = Biyokütle Büyümesi - Sistemden çıkan biyokütle

$$Vdx = V\mu Xdt - QXdt \quad (1)$$
$$\frac{dX}{dt} = (\mu - D)X$$

V :Reaktör hacmi, L,

X :Biyokütle konsantrasyonu, mg/L,

μ :Spesifik büyüme hızı, 1/zaman,

Q :Debi, L/zaman,

D :Seyrelme hızı.

Geri devirsiz bir kemostat sisteminde substrat için kütle dengesi:

Substrattaki net artış = Giriş subst. kons. - Çıkış subst. kons. - Büyüme için kullanılan substrat

$$VdS = QS_0dt - QCdt - V\mu Xdt / Y \quad (2)$$
$$\frac{dS}{dt} = (S_0 - S)D - \frac{\mu \cdot X}{Y}$$

S :Substrat konsantrasyonu,

Y :Dönüşüm oranı.

2.1. Büyüme Verimi ve Endojen Bozunma:

Şekil 1'de görülen substrat tüketimi ve biyokütle üretimi kinetiğinin birleştirilip düzenlenmesi sonucu (3) büyüme veriminin ve endojen bozunma sabitinin hesaplanması mümkündür. Bu eşitlikten elde edilen veriler yardımıyla reaktörlerdeki gerçek ve gözlemlenen verim hesaplanabilir.

$$\frac{S_0 - S}{X} = \frac{k_d}{Y} \theta + \frac{1}{Y} \quad (1.3)$$

$$q = \frac{\mu}{Y} \quad q = \frac{1}{Y_T} \cdot \mu + \frac{k_d}{Y_T} \quad (1.4)$$

$$Y_{obs} = Y - \frac{k_d \cdot X \cdot \theta}{(S_0 - S)} \quad (1.5)$$

q :Spesifik substrat kullanım düzeyi,

k_d :Endojen bozunma sabiti,

Y_{obs} :Gözlemlenen dönüşüm.

2.2. Kinetik Eşitlikler:

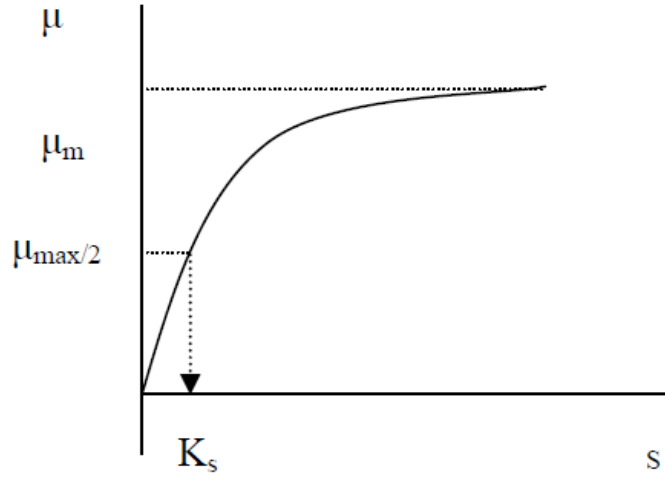
Aktif çamurda meydana gelen substrat uzaklaştırma ile ilgili olarak iki temel yaklaşım mevcuttur. Birinci yaklaşım aşağıda görülen Monod ve Michaelis-Menten kinetiğidir.

2.2.1. Monod Bağıntısı:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X = y \frac{dS}{dt} \quad (1.6)$$

- y :Hücre dönüşüm katsayısı (0-1 aralığında olur),
 dX/dt :Hücre büyüme hızı, kütle/ zaman,
 μ :Spesifik büyüme hızı, 1/zaman,
 dC/dt :Substrat kullanım hızı.

Substrat konsantrasyonunun spesifik büyüme hızı üzerine etkileri şu şekilde ifade edilir (Şekil 2);



Şekil 2. Substrat konsantrasyonunun spesifik büyüme hızı üzerine etkileri.

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S} \quad (1.7)$$

μ_{\max} :Maksimum spesifik büyüme hızı,

K_s :Doygunluk sabiti.

Endojen bozunma - İç çürüme (parçalanma) hızı ise;

$$\frac{dX}{dt} = k_e X \quad (1.8)$$

k_e : Hücre çürüme katsayısı

2.2.2. Michaelis - Menten Hız Eşitliği;

$$-r_e = \frac{k_s \cdot S}{(K_s + S)} \quad (1.9)$$

r_e : Substrat kullanım düzeyi,

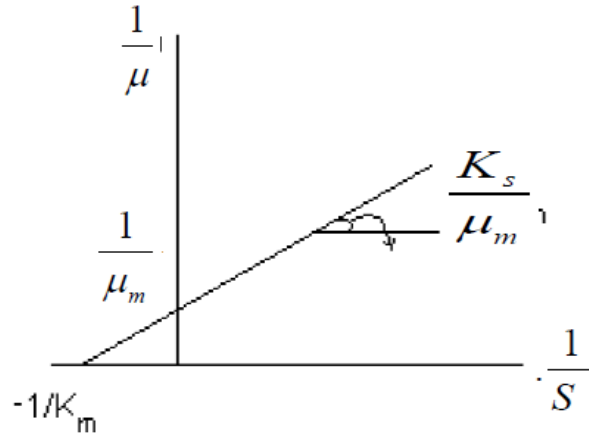
K_m : Kullanım hızı maksimum hızın yarısı olduğundaki substrat konsantrasyonu, kütle/hacim,

k_s : Maksimum substrat kullanım hızı, kütle substrat/kütle mikroorg. zaman

2.3. Lineweaver – Burk Yaklaşımı;

Substrat konsantrasyonunun büyüme hızı üzerine etkisini belirlemek için (1.10) kullanılacaksa, D_m ve K_m değerlerinin bilinmesi gerekir. Bunun için farklı substrat konsantrasyonlarında kesikli reaktörlerle testler yapılır ve hepsinde reaksiyon derecesi ölçülür. Şekil 3'deki gibi grafiğe aktarılarak D_m ve K_m bulunur.

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_m} + \frac{K_s}{\mu_m} \cdot \frac{1}{S} \quad (1.10)$$



Şekil 3. Lineweaver – Burk yaklaşımının grafiksel ifadesi.

2.4. Besin-Mikroorganizma Oranı (F/M) ve Çamur Yaşı:

Her an değişmekte olan besin-mikroorganizma oranı substrat kullanım özgül hızına bağlıdır $(1/X)(dC/dt)$ ifadesine eşittir. Bu ifadenin integrali alınırsa;

$$\frac{F}{M} = \frac{\Delta C}{X\Delta t} \quad (1.11)$$

M : Ortamdaki mikroorganizma konsantrasyonu,

F : Ortamdaki substrat konsantrasyonu,

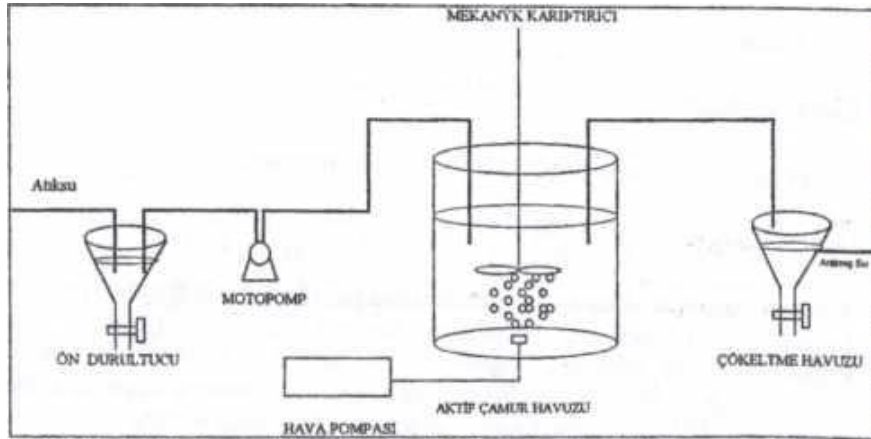
$\Delta C / \Delta t$: Substrat kullanım hızı.

Çamur yaşı (Reaktörde ortalama hücre kalış zamanı) (θ_c) ise reaktördeki toplam çamur miktarının birim zamanda reaktörden atılan çamur miktarına oranı olarak ifade edilir.

$$\theta_c = \frac{X}{X_u} \quad (1.12)$$

X_u : Atık aktif çamur akışındaki aktif biyolojik katılar.

KAYNAK: T.C. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 2013-2014 Öğretim Yılı Temel İşlemler Laboratuvarı Deney Föyü.



Şekil: Tek Kademeli Sürekli Geri Dönüşümsüz Aktif Çamur Sistemi

3. DENEYİN YAPILIŞI:

- 1- Reaktöre çalışacağınız hacimde atık suyu ve aktif çamuru koyunuz.
- 2- Alıkonma süresine göre atık suyun reaktöre gelme debisini ayarlayınız.
- 3- Arıtılmamış suyun pH, organik madde, çözünmüş oksijen ve biyolojik oksijen ihtiyacı analizlerini yapınız.
- 4- Reaktörden numune alarak çamur hacim indeksi değerini bulunuz.
- 5- Sistem yatışkın duruma gelince, atık suda yaptığınız analizleri arıtılmış suda da yapınız.

4. TARTIŞMA SORULARI:

- 1- Yapılan analizleri tablo haline getiriniz
- 2- Organik madde miktarına göre sistemin arıtım verimliliğini hesaplayınız.

5. HESAPLAMA:

1-Alıkonma Süresi: Reaktörde sıvının kalış süresine denir. Aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$t = V/Q$$

Burada;

t:Alıkonma Süresi

V: Reaktör Hacmi

Q:Akışkanın Debisi dir.

2- Arıtım verimliliği aşağıdaki ifadeyle tarif edilir;

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100$$

Burada;

E = Yüzde olarak arıtım verimliliği

S₀ = İşlem görmemiş suyun herhangi bir parametresi

S = İşlem görmüş suyun herhangi bir parametresi dir.

3-Çamur Hacim indeksi (ÇHI) ~ Çamur İndeksi:

$$SVI = V_{SR} / X_T$$

Burada;

SVI(Sludge Volume Index) = Çamur Hacim İndeksi(mL/g)

V_{SR} = Çöken Çamur Hacmi (mL/L)

X_T = Kuru Çamur Ağırlığı (g/L) dir.

Kuru Çamur Ağırlığı (g/L): 1g. kuru aktif çamurun, 30dk'lık çökme zamanı sonunda hangi hacme mL cinsinden sahip olduğunu gösterir. İyi floklaşan bir aktif çamurda bu indeks 50-100mL/g civarındadır. Şayet indeks 200mL/g üzerinde çıkarsa şişkin çamur durumu söz konusu olmaktadır. Bu durumdaki şişkin çamur son çökeltme havuzunda tutulamaz, çünkü bakteri flokları birbirinden ayrılır ve aralarında ipliksi bakteriler ve mantarlar meydana gelir.

6. DEĞERLENDİRME VE YORUM:

Öğrenci yapmış olduğu deney ve sonuçlarını değerlendirip yorumlar.

3. DENEY YOĞUNLUK- VİSKOZİTE ÖLÇÜMLERİ

1. DENEYİN AMACI

Sıvıların yoğunluğunun ve değişik yöntemler kullanılarak viskozitelerinin belirlenmesi

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Yoğunluk Ölçümü

Maddelerin 1 cm³'ünün gram cinsinden kütlesine **yoğunluk** (*özkütle*) denir. Öz kütle (ρ) ile gösterilir. Aynı hacme sahip iki cisimden, diğerine göre yoğunluğu fazla olanın kütlesi de daha fazladır.

Kütle (m) ve hacim (V) arasında;

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1.1)$$

bağıntısı vardır.

Yoğunluk (*özkütle*) birimi g/cm³'tür. Uluslararası birim sisteminde (SI) birim sisteminde yoğunluk kg/m³ olarak verilir. Saf maddelerin (element ve bileşik) yoğunlukları (*özkütle*) sabittir. Karışımların yoğunluğu (*özkütle*) ise sabit değildir. Bir maddenin yoğunluğundan söz ederken sabit bir sıcaklıktaki yoğunluğundan söz edilmelidir. Sıcaklık değiştiğinde maddenin hacmi değişeceğinden yoğunluğu da değişir. Özellikle gazlardaki değişiklik daha belirgindir.

Yoğunluk, maddenin karakteristik özelliği olmasına rağmen yalnız yoğunluğu bilinen bir maddenin hangi madde olduğu anlaşılamayabilir. Bir maddenin hangi madde olduğunun anlaşılabilmesi için birden fazla ayırt edici özelliğinin incelenmesi gerekir.

Sıvılar için yoğunluk belirlemede kullanılan yöntemlerden biri **piknometre** ile ölçümdür. Bu yöntemde bilinen hacimde cam bir tüp yoğunluğu ölçülecek olan sıvı ile doldurulur ve sıvının ağırlığı bulunur. Ağırlık/hacim oranından yoğunluk bulunur. Piknometreler küçük, hafif ve

genelde camdan yapılmış kaplardır. 20-25°C'deki akışkan olan bütün sıvıların özgül ağırlığını ve yoğunluğunu tayin eden araçlardır.



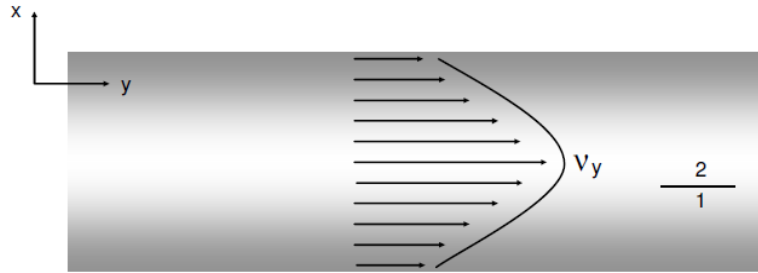
Şekil 2.1. Piknometre

Özgül ağırlık tayininde çeşitli piknometreler kullanılmaktadır. Bunlar;

- Sprengel ostwal (tüpü) piknometresi
- Reischauer tipi piknometreler
- Boot tipi piknometrelerdir.

En fazla kullanılanı Boot tipi piknometrelerdir.

2.2. Viskozite Ölçümü



Sıvının bir kısmının diğer bir sıvı tabakasının akımına karşı gösterdiği dirence **viskozite** denir. Sıvıların viskozluğu molekül yapıları ve moleküller arası etkileşmelerle yakından ilgilidir. Herhangi bir boru içinde akan bir sıvının akış hızı akımı sağlayan yürütücü kuvvet ile akımı engellemeye çalışan direncin büyüklüğüne bağlıdır.

2.2.1. Viskozite Üzerine Etki Eden Faktörler

Aynı sınıfa ait bileşiklerde, viskozite mol tartısı ile artar. Örneğin düz zincirli hidrokarbonlarda zincir uzadıkça viskozite artar. Hidroksil grubu içeren bileşiklerde hidrojen bağı viskoziteyi arttırır. Bu nedenle örneğin kloroformun mol tartısı suyunkinden daha büyük olmasına rağmen

viskozitesi daha azdır. Aynı şekilde gliserinin viskozitesinin fazlalığı molekülünün üç hidroksil bağı içermesindedir. Genel olarak; bir sıvının viskozitesi o sıvının moleküllerinin büyüklüğüne, biçimine ve kimyasal tabiatına bağlıdır. Ayrışma sıvılarda anormal derecede fazladır. Sıcaklık arttığında gazların viskozitesi arttığı halde sıvılarınki azalır.

Akış orta noktada en hızlı, kenarlara gidildikçe azalır. Tam orta noktada $V_y = \max.$ ve tam tabaka üzerinde $V_y = 0$ olur. Birbirlerine göre 1 cm uzaklıkta bulunan birim alanda iki paralel sıvı düzlemin arasındaki hız farkını birim olarak tutmak için gereken kuvvete **viskozite katsayısı** denir ve η ile gösterilir. Bazı maddeler için viskozite katsayısı değerleri tabloda verilmiştir.

$$\eta : \text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-1} \text{ (MKS)}$$

$$\eta : \text{dyn.s.cm}^{-2} = 1 \text{ P (CGS) Viskozite birimi olarak Poise (P) kullanılır.}$$

Tablo 2.1. Bazı maddelerin 25 °C'de ve 1 atm basınçta η değerleri

MADDE	C ₆ H ₆	H ₂ O	H ₂ SO ₄	Zeytinyağı	Gliserin	O ₂
η (cP)	0,60	0,89	19,00	80,00	954,00	0,021

- Viskozite katsayısı azaldıkça viskozite artar, akışkanlık azalır.
- Viskozite katsayısı arttıkça viskozite azalır, akışkanlık artar.
- Çok yüksek hızlı olmayan akışlara laminer akım denir. Newton yasasına uyar.
- Çok hızlı olan akışlara türbülans akım denir ve Newton yasasına uymaz.

Viskozite ölçümü için birbirinden farklı birkaç yöntem vardır. Viskozite ölçmek için kullanılan araçlara “viskozimetre” viskozite ölçme işlemine ise “viskozimetri” denir. Kılcal viskozimetre, düşen küre viskozimetresi, dönme viskozimetresi ve Engler viskozimetresi çok kullanılan viskozite ölçen araçlardan bir kaçıdır.

2.2.2. Oswald Viskozimetresi ile Viskozite Ölçümü

Yarıçapı r olan kılcal bir borudan (l = kapiler boru boyu) t zamanında ve sahip P basıncı altında akan bir sıvının hacmi Poiseuille eşitliğine göre aşağıdaki gibidir.

$$V = \frac{P \cdot \pi \cdot t \cdot r^4}{8 \cdot l \cdot \eta} \quad (1.2)$$

Bu eşitlikten η çekersek;

$$\eta = \frac{P \cdot \pi \cdot t \cdot r^4}{8 \cdot V \cdot l} \quad (1.3)$$

olur.

İki farklı sıvı için kılcal borunun uzunluğu, yarıçapı ve akan sıvı hacmi sabit olduğuna göre, bu sabitler k ile gösterilirse;

$$\eta = P \cdot k \cdot t \quad (1.4)$$

olarak yazılabilir.

Viskozimetrelerde yoğunluğu ρ olan sıvıyı kapilerden aşağıya iten P basıncı;

$$P = h \cdot \rho \cdot g \quad (1.5)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada h ve g her bir sıvı içinde sabit olduğuna göre 1.4 eşitliğinde 1.5 'i yerine yazılıp eşitlik düzenlenirse iki sıvı arasındaki viskozite katsayısı oranı;

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\rho_1 \cdot t_1}{\rho_2 \cdot t_2} \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilir.

Sıvılardan biri referans sıvısı olarak alınır. Deneme sıcaklığındaki yoğunluklar çizelgelerden bulunur.

Sıvıların viskozitesi ile sıcaklık arasında

$$\eta = A \cdot e^{E/RT} \quad (1.7)$$

bağıntısı vardır. Her iki tarafın logaritması alınırsa;

$$\log \eta = \frac{E}{2.303 RT} + \log A \quad (1.8)$$

1.8 eşitliği elde edilir.

Burada;

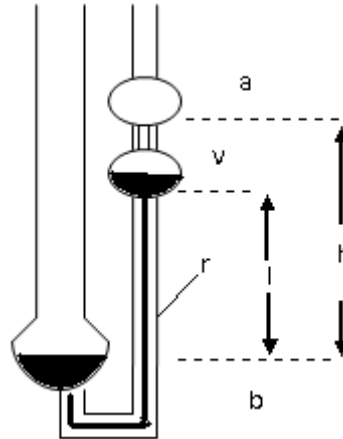
A ve E : Sıvıya özgü sabitler

T : Mutlak sıcaklık ($^{\circ}K$)

$\log \eta$ ile $1/T$ arasında çizilen grafiğin eğimi ile E değeri hesap edilir. Bulunan E değeri 1.7 eşitliğinde yerine konularak viskozite katsayısı bulunur. 1.6 eşitliğinde viskozite katsayısı bilinmeyen η_2 çekilirse;

$$\eta_2 = \frac{\eta_1 \cdot \rho_2 \cdot t_2}{\rho_1 \cdot t_1} \quad (1.9)$$

eşitliği bulunur. Burada yoğunluk ve akım süreleri farklı sıcaklıklarda ölçülerek yerine yazılır ve viskozite değeri hesaplanır.

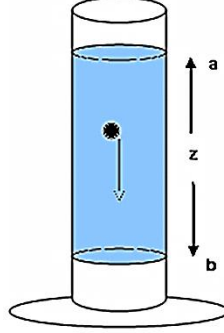


Şekil 2.2. Ostwald viskozimetresi

Şekildeki V akan sıvının hacmini, t akma süresini, r kılcalın yarı çapını, h akmanın başladığı andaki hidrostatik yüksekliği, l işaretli iki çizgi arasında kalan kılcalın uzunluğunu, ρ sıvının yoğunluğunu, η ise viskozluğunu göstermektedir.

Bir metal bilyenin sıvı içinde limit düşme hızı ölçülerek de viskozluk bulunabilir. Sıvı içinde düşmekte olan bir metal küre yerçekimi kuvveti ile buna ters yönde olan Stokes sürtünme kuvvetinin etkisi altındır. Bu iki

kuvvet eşitliğinde küre limit hıza erişir ve sıvı içinde düzgün doğrusal bir hareketle aşağıya düşer.



Şekil 2.3. Stokes yasası uyarınca viskozluk tayini

Şekil 2.3’de görülen belli bir limit hıza ulaşma aralığı geçildikten sonra kürenin a ve b arasındaki z yüksekliğinden limit hızla düşme süresi olan t ölçülür. Buradan $V=z/t$ limit hızı bulunur.

3. DENEYİN YAPILIŞI

3.1. Yoğunluk ölçümü deneyleri:

a) Sıvı yoğunluğunun piknometrik ölçümü;

- Temizlenmiş, kurutulmuş piknometre şişesini boş olarak tartınız.
- Yoğunluğu ölçülecek sıvıyı piknometrenin işaretli çizgisine kadar doldurunuz.
- Sıvı ile doldurulmuş piknometreyi tartınız.

b) Katı yoğunluğunun piknometrik ölçümü;

- Temizlenmiş, kurutulmuş piknometre şişesini boş olarak tartınız (m_1).
- Piknometreye yoğunluğu ölçülecek katı maddeden 1g kadar ilave ederek yeniden tartınız (m_2).
- İçerisinde katı madde bulunan piknometre şişesine referans sıvıyı işaret çizgisine kadar doldurarak tartınız (m_3).
- İçerisinde sadece referans sıvı bulunan piknometreyi tartınız.

3.2. Viskozite Ölçüm Deneyleri

• Size verilen bilyenin çapını mikrometre ile birkaç kez ölçülerek ortalamasını alınız. Aynı bilyeyi tartarak ağırlığını not ediniz. Buradan bilyenin yoğunluğunu hesaplayınız. Viskozite ölçülecek sıvı ile doldurulmuş olan kabın içine bilyeyi atınız. Kaptaki işaretli kısımdan faydalanarak bilyenin düşme zamanı bulunuz, bu işlemi birkaç kez tekrar ederek ortalama olarak $V=h/t$ oranını bulunuz. Sonuçları;

$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho_k - \rho_s)}{9.V}$$

denkliğinde yerine koyarak viskoziteyi bulunuz. g = yerçekimi ivmesi (cm/sn²)

• Aynı deneyi viskozitesi bilinen saf su ile yaparak karşılaştırmalı olarak aynı sıvının viskozitesini tekrar tayin ediniz, sonuçları karşılaştırınız. Burada kullanılacak denklik ise;

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{t_1}{t_2} \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

4. TARTIŞMA VE SORULAR

1. Deneyden elde edilen sonuçları yorumlayınız.
2. Viskozite üzerinde sıcaklığın etkisini tartışınız.
3. Piknometre ile yapılan ölçümlerde karşılaşılan hataları ve nedenlerini tartışınız.
4. Viskozite ve viskozimetri terimlerini tanımlayınız.
5. Akışkan nedir?
6. Akışkanlar viskozitelerine göre kaçaya ayrılır, kısaca açıklayınız.
7. Viskozite ölçüm yöntemleri nelerdir, açıklayınız.

5. DEĞERLENDİRME VE YORUM

Öğrenci yapmış olduğu deney ve sonuçlarını değerlendirip yorumlar.

4.DENEY İYON DEĞİŞTİRME DENEYİ

1. DENEYİN AMACI: Yumuşatılan suda katyonik reçinenin değişim kapasitesinin belirlenmesi.

2. GENEL BİLGİ:

İyon değiştirme, iyonların çözeltiden katı bir yüzeye ya da katı bir yüzeyden çözeltiliye aktarıldığı fiziksel ve kimyasal bir işlemdir. Bu işlem, temelde çözeltili içerisindeki iyonların katı bir yüzeyde elektrostatik güçlerle tutulan benzer yüklü iyonlarla değiştirilmesi esasına dayanır. Yani katyonlar pozitif yüklü iyonlarla, anyonlar da negatif yüklü iyonlarla yer değiştirirler. İyon değiştirici olarak en çok kil, zeolitler, iyon değiştirme reçineleri ve toprak humusu kullanılmaktadır. İyon değiştiricilerin yüzey üzerindeki tutunma istekleri kimyasal yapılarına göre değişiklik gösterebilir. İyon değiştiricinin boyutu, yüzey alanı ve kapasitesi iyon değişiminde verimi etkileyen faktörlerdendir. İyon değiştiriciye tutunabilen iyonlara örnek olarak;

- H^+ , OH^- iyonları
- Na^+ , K^+ , Cl^- gibi tek yüklü monoatomik iyonlar
- Ca^{2+} , Mg^{2+} gibi çift yüklü monoatomik iyonlar
- SO_4^{2-} , PO_4^{3-} gibi poliatomik iyonlar
- Organik bazlı, molekül içeren amino grupları, $-NR_2H^+$
- Organik asitler, çoğunlukla molekül içeren $-COO^-$ (karboksilik asit) fonksiyonel grupları
- Aminoasitler, peptitler ve proteinler gibi iyonize olmuş biomoleküller verilmiştir.

İyon değişimi geri dönüşümü olan bir prosesdir ve rejenere edilebilir. İyon değiştirme işleminin yaygın olarak kullanıldığı alanlar sertlik giderimi ve

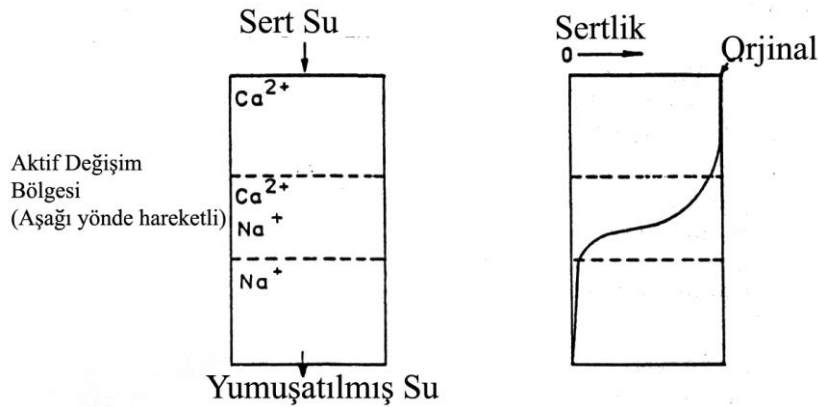
endüstriyel kullanım için demineralize (iyon içermeyen) su teminidir. Ayrıca, endüstriyel atık su arıtımında organik karbon, fenol, pestisit, klorlu bileşikler ve renk giderimi için de iyon değiştirme işlemi kullanılabilir. Bunların dışında, nükleer endüstride ve kimyasal analizlerde kromatografik metotlarda iyon değiştirmeden faydalanılmaktadır.

İyon değiştiriciler fonksiyonel gruplarına dörde ayrılırlar;

- Kuvvetli asidik, (Sulfonik asit grupları, sodyum polisitren sülfonat)
- Kuvvetli bazik, (Trimetilamonyum grupları)
- Zayıf asidik, (Karboksilik asit grupları)
- Zayıf bazik, (amino grupları ve polietilen amin)

2.1. Su Yumuşatma Teorisi

Su yumuşatmada en fazla kullanılan iyon değişim materyali üreticiler tarafından sodyum şeklinde sağlanan sulfonat-sitrat tabanlı reçinedir. Bu reçinenin, kalsiyum ve magnezyum iyonlarına karşı güçlü bir benzerliği vardır. Kalsiyum ve magnezyumun uzaklaştırılmasından sonra demir iyonları da uzaklaştırılabilir. Yumuşatma, suda denge konumuna veya kabul edilebilir sertliğe erişene kadar suda reçineyi karıştırarak yapılan bir seri süreç ile gerçekleştirilebilir.



Bununla birlikte, suyu reçine boncuklarından oluşmuş bir kolondan aşağıya doğru sürekli geçirmek daha kullanışlıdır. Değişim tepkimesi,

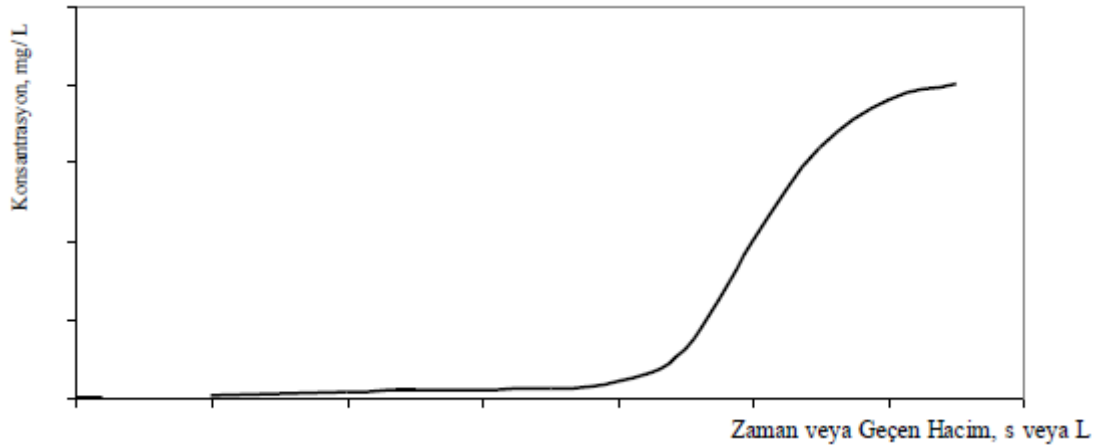
yatağın üst kısımları süreç sonuna ulaştığında alt kısımlarda henüz iyon değişimi olmasına fırsat vermeyecek kadar hızlı olur. Böylece yumuşatma kolonlarında aktif değişim bölgesinin hareketiyle, reçinenin bütün derinliklerde tüketilmesine kadar sürer. Yumuşatma işleminin ortalarında kolondaki durum şekilde gösterilmiştir. Aktif değişim bölgesi kolonun altına ulaştığında çıkış suyunun sertliği yükselir. Bu kırılma noktasıdır ve bu durumda sodyum klorür çözeltisi kullanılarak reçinenin yenilenmesi gerekir.

2.2. Yenilenme Teorisi

Yumuşatılan sudan giderilen her mili eşdeğer sertlik için bir mili eşdeğer NaCl'e gerek vardır. Yani CaCO₃ cinsinden 1 gr sertlik için 1,17 g NaCl'e gerek olacaktır. (Eşdeğer ağırlıklar CaCO₃:50.0; NaCl:58,5)

Uygulamada, bu miktar NaCl ile yeterli değildir. Çünkü çok uzun temas süreleri gerektirir. Teorik miktarın iki ya da daha fazla katı kadar NaCl kullanılır. Yenilenme verimliliği böylece %50'ye ulaşabilir. Olabildiğince yüksek yenileme derecesi, reçinenin değişim kapasitesini artırır. Ama yumuşatmada kapasitenin tamamen kullanılmasına neden olacak düzeyde kullanım ekonomik değildir. Başka bir deyişle yüksek yenilenme verimliliği, kolonun düşük düzeyde kullanılmasına bağlıdır, tersi verimsizlik anlamına gelir. İyon değişim yatağının işletimi durumu, yenilenme verimi ve kolon kullanımı %50 civarlarında olduğunda verimlidir. Yenilenmeden sonra damıtılmış ve iyonları uzaklaştırılmış su artan yenileme maddelerinin yıkanarak temizlenmesi için yataklardan geçirilir. İyon değişimi ile yumuşatılacak olan su, geçiş yollarını tıkayan, akış hızını azaltan ve değişim sürecini etkileyen askıda katı maddelerden arındırılmış olmalıdır. Yatağa girebilecek çok ince katıları uzaklaştırmak ve olabilecek hava boşluklarını yok etmek, için kolon aralıklarıyla geri yıkanır. (Böylece yatak akışkanlaşır ve reçine yatağı karıştırılmış olur.) Yumuşatmada yataktan geçen su akış hızı, genellikle yatağın yüzey alanının cm²'si başına 40 mL/dak'dan fazla olmamalıdır. Yenilenme hızları bunun onda biridir.

Sudaki iyonları bünyesindeki katı maddeye bağlı olan iyonlarla değiştiren üniteye iyon değiştirici, içindeki katı maddeye de reçine denir. Bir katı yüzeyi ile bir sıvı arasında iyon alışverişi gerçekleşir. Yüzeyde gerçekleşme özelliği ile bir tür adsorpsiyon işlemidir. İyon değiştirici kolon uygulamalarında iyon değiştirme işlemi reçinelerin yerleştirildiği kolonlarda gerçekleştirilir. Reçineler kolonlarda dengede olmayan koşullarda çalışırlar. Kolonlarda iyon değiştirme Aktif karbon adsorpsiyonundaki gibi sorpsiyon tabakası prensibiyle gerçekleşir. Bu işlem kolon boyunca tipik bir kırılma eğrisi profili ile gerçekleşir. Sıvıda giderilmesi istenen maddenin ilk konsantrasyonu C_0 ile ifade edilmektedir. Teorik olarak reçinede bu maddenin konsantrasyonunun sıfır olduğu kabul edilir. Şekil 1’de kırılma eğrisinde de görüldüğü üzere, sıvının kolondan geçmesi sonucu belirli bir noktada kırılma başlar ve bu genellikle C_0 konsantrasyonunun % 5’i çıkış suyunda görülmeye başladıktan sonra gerçekleşir. Bu nokta sorpsiyon tabakasının en altta bulunması ile başlayacaktır. İyon değiştiriciden çıkan sıvıdaki madde konsantrasyonunun başlangıç konsantrasyonunu % 95’ine eşitlenmesi kolonun artık dolduğunu ve devre dışı bırakılması gerektiğini gösterir.



Şekil 1. İyon değiştirme kolonunda kırılma eğrisi

Kırılma eğrisinin üzerinde kalan alan kolon tarafından tutulan madde miktarını ifade etmektedir. Kırılma noktasına kadarki bölge kırılmaya kadar tutulan miktarı, konsantrasyonun başlangıç konsantrasyonuna eşitlenmesi

sonucu kırılma eğrisinin üstünde kalan alan ise tutulabilecek maksimum madde miktarını ifade etmektedir. Kırılma eğrisindeki bu alanın hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + e^{\frac{k_1}{Q}(q_0 \cdot M - C_0 \cdot V)}} \quad \frac{C_0}{C} = 1 + e^{\frac{k_1}{Q}(q_0 \cdot M - C_0 \cdot V)}$$
$$\ln\left(\frac{C_0}{C} - 1\right) = \frac{k_1 \cdot q_0 \cdot M}{Q} - \frac{k_1 \cdot C_0 \cdot V}{Q}$$

C : Çıkıştaki madde konsantrasyonu, mg/ L

C₀ : Başlangıçtaki madde konsantrasyonu, mg/ L

k₁ : Hız sabiti

q₀ : Maksimum reçine kapasitesi, g/ g

M : Kolondaki reçine kütlesi, g

V : Geçen sıvı hacmi, L

Q : Akım hızı, L/ saat

Yukarıdaki denklem doğrusal, y=ax+b formundadır. Buna göre lineer regrasyon ile k₁ ve q₀ değerleri bulunur. q₀ yani maksimum reçine kapasitesi önemli bir parametredir.

KAYNAK: T.C. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 2013-2014 Öğretim Yılı 1201655 Temel İşlemler Laboratuvarı Deney Föyleri.

3. DENEYİN YAPILIŞI:

Reçine yatağının hacminin bulunması için gerekli ölçümler alınır (yatak yüksekliği, kolon çapı).

Reçine kolonuna, belirli sertlikteki su yaklaşık 50cm³/dk debisinde verilir. Su kolona girdiği andan itibaren zaman tutulur. Kolon çıkışından 5 dk'lık periyotlarla numune alınır ve alınan numunelerin sertlik içeriği ölçülür. Bu işleme reçinenin değişim kapasitesinin bittiği zamana kadar devam edilir. Elde edilen verilerle gerekli hesaplamalar yapılır.

4. HESAPLAMA VE TARTIŞMA SORULARI:

- 1- Numunelerin sertlik derişimleri hesaplanır.
- 2- Sonuçlar tablo halinde gösterilerek, zamana karşılık numunelerin sertlik konsantrasyonları grafiğe alınır. Elde edilen grafikteki kırılma noktası yani reçinenin rejenerasyon zamanı belirlenir.
- 3- Deneysel verilerden faydalanılarak; arıtılan su hacmi, ıslak yatak hacmi ve kolonun iyon değişim kapasitesi hesaplanır.

$$\text{Kolon değişim kapasitesi } \left(\frac{\text{mg}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{reçine tarafından tutulan CaCO}_3 \text{ miktarı (mg)}}{\text{ıslak yatak hacmi (cm}^3\text{)}}$$

5. DEğERLENDİRME VE YORUM:

Öğrenci yapmış olduğu deney ve sonuçlarını değerlendirip yorumlar.

5.DENEY EKSTRAKSİYON

1. DENEYİN AMACI

Tek kademeli kesikli olarak işletilen bir ekstraksiyon sürecinde ikili bir karışımdan istenilen ürünün uygun bir çözücü ile ekstraksiyon sürecinin incelenmesidir.

2. GENEL BİLGİLER

Herhangi bir fazda bulunan bileşiğin bir başka faza çekilmesi işlemine *ekstraksiyon* denir. Ekstraksiyon bir tepkime karışımından bir bileşiği ayırmada en çok kullanılan bir yöntem olup, kısaca bir karışımdan bir bileşiği çözücü ile çekme işlemi olarak tanımlanabilir. Amaç, çözeltilerden, katı veya sıvı karışımlardan bir maddeyi ayırmak ve istenmeyen safsızlıklardan uzaklaştırmaktır.

Ekstraksiyon;

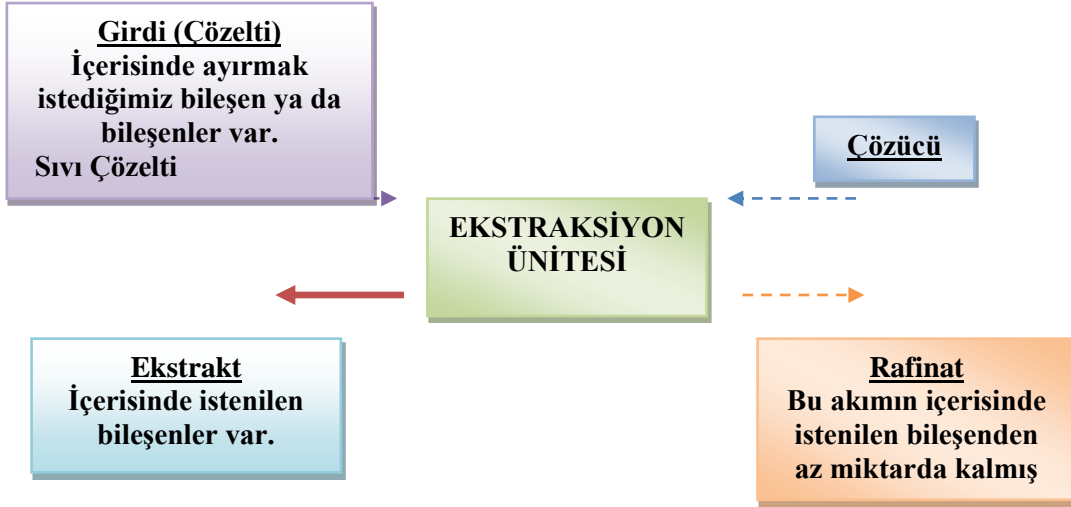
- Katı-Sıvı Ekstraksiyonu
- Sıvı-Sıvı Ekstraksiyonu

olmak üzere iki ana başlık altında toplanır.

Katı-sıvı ekstraksiyon; başlıca doğal ve biyolojik örneklerle ilgili uygulamalarda kullanılır. Katı-sıvı ekstraksiyonunda katının içerdiği maddelerden biri veya bir bölümü uygun bir çözügen ile ekstrakte edilir. Katıların ekstraksiyonu genellikle uzun zaman aldığı için sürekli ekstraksiyon yöntemleri tercih edilir. Maddenin katı içinden diffüzenmesi yavaş bir işlem olduğu için katı örnek ince toz haline dönüştürüldükten sonra ekstrakte edilmelidir. Böylece maddenin çözügenle daha fazla teması sağlanır. Katı-sıvı ekstraksiyonunda ise Soxhlet Ekstraktörü denen bir cihaz kullanılır.

Sıvı-sıvı ekstraksiyonu; birbiri içinde çözünmeyen, karışmayan ve aynı kap içerisine konulduklarında dışarıdan bir etki yapılmadığı takdirde ayrı fazlar halinde kalan iki sıvı arasındaki kütle aktarımıdır. Biri girdi diğeri

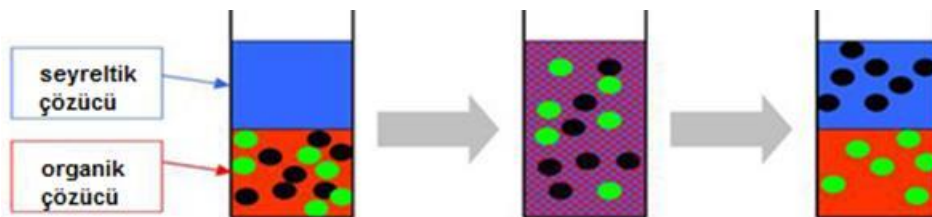
çözücü olarak adlandırılan bu ikili sistemde çözücü, girdi içerisindeki istenilen bileşene seçimli olarak hareket eder.



Şekil 2.1. Bir Ekstraksiyon Sisteminin Bileşenleri

Nernst'in dağılım prensibine göre bir maddenin A ve B fazlarındaki konsantrasyonları arasındaki ilişki $C_A/C_B = K(\text{sabit})$ şeklindedir. Maddenin iki farklı fazdaki konsantrasyonu maddenin o fazdaki çözünürlüğü ile ilgilidir. Organik kimyasal bileşikler suda çözünmediği için veya çok az çözündüğü için ayrı bir faz halinde ayrılırlar. Suda çözünmüş halde bulunan az miktardaki organik bileşiğin uygun bir çözücüdeki çözünürlüğü sudaki çözünürlüğünden daha çok olduğundan bu bileşik ekstraksiyon ile sudan çekilir. Organik bileşiğin su ve organik çözücü içerisindeki çözünürlük derecelerinin birbirine çok yakın olması durumunda ters akım ekstraksiyonu uygulanır.

Sıvı-sıvı ekstraksiyonu bir deney tüpü içerisinde veya ayırma hunisi kullanılarak yapılsa bile, birbiri ile karışmayan iki sıvı çalkalanarak moleküllerin birbiri ile temas etmeleri sağlanır ve böylece istenilen bileşenin çözücü fazına transferi başarılmış olur.



Şekil 2.2. Bileşenlerin Fazlar Arası Transferi

Ekstraksiyon A ve B gibi birbiri içinde çözünmüş, kaynama noktaları birbirinden farklı olmayan sıvı karışımların ayrılmasında kullanılan bir ayırma işlemidir. Bu işlemde B'yi A'dan daha çok çözen ve A ile karışmayan C gibi bir üçüncü çözücü kullanılır. İçinde ekstrakte edilmesi istenen madde bulunan faza (A+B) rafinat (ağır evre), çözücünün bulunduğu faza (B +C) ise ekstrakt (hafif evre) denir. Endüstriyel ekstraksiyon uygulamalarında; fazların önce karıştırılıp sonra bir başka bölmede ayrıldıkları, tek veya çok kademeli sistemler, paralel akımlı ve zıt akımlı olarak kullanılırlar. Ayrıca tepsi(tabakalı) ve dolgulu kolonlarda ekstraksiyon için kullanılabilir.

3. DENEYİN ADI

Sıvı sıvı ekstraksiyonu ile atık sularda deterjan (anyonik yüzey aktif madde) tayini.

3.1. YÖNTEMİN ESASI VE PRENSİBİ

Bu metot, metilen mavisinin anyonik yüzey aktif maddelerle reaksiyona girdiğinde mavi renkli tuz veya iyon çifti oluşturması prensibine dayanır. Metot; anyonik yüzey aktif maddeleri ile (LAS, diğer sülfonatlar ve sülfat esterleri gibi) uygun sonuçlar vermektedir. Bu metot ile tayin edilen maddeler 'metilen mavisini aktif maddeleri' olarak ifade edilir. Metilen mavisinin, anyonik deterjanlarla reaksiyonu sonucu oluşan mavi renkli tuz, kloroformda Bu bu deneyde kolorimetrik ölçüm 652 nm'de yapılmaktadır. Metot: 0.025 - 100 mg LAS /L konsantrasyon aralığı için uygulanabilmektedir.

3.2. DENEYİN DÜZENİ

3.2.1.Kullanılan Araç ve Gereçler

- Spektrofotometre
- Ayırma hunisi

3.2.2. Kullanılan Kimyasallar

- Stok Lineer Alkali Benzen Sülfonat (LAS): %100 aktif esaslı 1.00 g LAS'a esit olacak şekilde referans madde tartılarak alınır. Distile suda çözülerek 1 L'ye tamamlanır. Bu çözeltinin 1 ml'si 1 mg LAS içermektedir. Çözelti biyobozunmayı engellemek için buzdolabında saklanmalı ve haftalık hazırlanmalıdır.
- Standart LAS Çözeltisi: 10 ml stok LAS çözeltisi distile su ile 1000 ml'ye seyreltilir. Bu çözeltinin 1 ml'si 10 µg LAS içermektedir.
- Sodyum Hidroksit Çözeltisi (NaOH), 1 N
- Sülfürik Asit Çözeltisi (H₂SO₄), 1N ve 6N
- Kloroform (CHCl₃)
- Metilen Mavi Reaktifi: 100 mg metilen mavisi 100 ml distile su içerisinde çözülür. Bu çözeltiden alınan 30 ml'lik hacim 1000 ml'lik bir balon jöjeye alınır. 500 ml distile su, 41 ml 6 N sülfürik asit ve 50 g sodyum fosfat monobazik monohidrat (NaH₂PO₄.H₂O) ilave edilir. Çözünme tamamlanana kadar çalkalanır ve 1000 ml'ye distile su ile tamamlanır.
- Yıkama Çözeltisi: 1000 ml'lik balon jöje içerisine 500 ml distile su ve 41 ml 6 N (veya 6.8 mL derişik sülfürik asit) sülfürik asit konulur. 50 g NaH₂PO₄.H₂O eklenerek çözülene kadar çalkalanır. 1 L'ye distile su ile tamamlanır.
- % 30'luk Hidrojen Peroksit (H₂O₂)
- Fenolftalein

3.2.3. DENEYİN YAPILIŞI

- Alınacak numune hacmi tahmin edilen LAS konsantrasyonuna göre Tablo 3.1'de verilen değerlere göre belirlenerek ayırma hunisine alınır. Eğer tahmin edilen

konsantrasyon 2 mg/L'nin üzerinde ise 40-200 µg arasında MBAS içecek şekilde distile su ile 100 mL'ye seyreltilir.

Tablo 3.1. LAS konsantrasyonuna göre alınması gereken numune hacmi

Tahmin edilen LAS konsantrasyonu (mg/L)	Alınan numune hacmi (mL)
0.025-0.08	400
0.08-0.4	250
0.4-2.0	100

- Çözeltiye 1-2 damla fenolftalein damlatılır ve 1 N NaOH ile fenolftalein indikatörünün pembe rengi görünecek şekilde alkali yapılır. Sonra 1N H₂SO₄ ile oluşan pembe renk giderilir.
- 10 mL kloroform ve 25 mL metilen mavisi reaktifi eklenerek 30 sn. süreyle iyice çalkalanır. Daha uzun süreli çalkalama emülsiyon problemine yol açabilir. Kloroform fazı çekilmeden önce ayırma hunisi tekrar karıştırılıp fazların tekrar ayrılması beklenir.
- Kloroform fazı ikinci bir ayırma hunisine alınır. İlk ayırma hunisinin borusu az miktarda kloroform ile çalkalanır. Ekstraksiyon her seferinde 10 mL kloroform çözeltisi ile üç kez tekrarlanır. Eğer su fazındaki mavi renk açılırsa veya kaybolursa deneyin daha küçük hacimdeki numune ile tekrarlanması gerekir.
- Tüm ekstraktlar ikinci ayırma hunisinde toplanır. 50 mL yıkama çözeltisi ilave edilir ve 30 sn süre ile şiddetli bir şekilde çalkalanır. Bu kademedem emülsiyon oluşmaz. Fazların ayrılması için beklenip, hafifçe karıştırılır. Kloroform tabakası cam yününden geçirilerek 100 mL'lik balon jøjeye alınır. Tıkama her seferinde 10 mL kloroform kullanılarak iki defa tekrarlanır. Cam yünü ve huni kloroformla yıkanır.

Balon joje işaretli yere kadar kloroform ile tamamlanır ve iyice çalkalanır.

- Karışımın adsorpsiyon değeri aynı şekilde işlem görmüş distile su ile hazırlanan şahide karşı 652 nm dalga boyuna ayarlanmış spektrofotometrede okunur.

3.2.4. Hesaplama

$$\text{MBAS (mg/L)} = \frac{\mu\text{g LAS (100 mL son hacimdeki)}}{\text{mL ilk numune hacmi}}$$

4. TARTIŞMA VE SORULAR

1. Ekstraksiyon nedir açıklayınız.
2. Kaç çeşit ekstraksiyon vardır? Bunlar nelerdir açıklayınız.
3. Ekstrakt ve rafinat terimlerini açıklayınız.
4. Ekstraksiyon işleminin uygulama alanları nelerdir.

5. DEĞERLENDİRME VE YORUM

Öğrenci yapmış olduğu deney ve sonuçlarını değerlendirip yorumlar.

Kullanılan Simgeler:

MBAS: Metilen Mavisi Aktif Bileşikleri

LAS: Lineer Alkil Benzen Sulfonat

6. DENEY GAZ TRANSFERİ

1. DENEYİN AMACI

Laboratuarda havalandırma deneyinin amacı oksijenlenme kapasitesini ölçmek ve difüzörlerin su içindeki derinliği ve hava debisinin oksijen aktarımı üzerindeki etkisini belirlemektir.

2. GENEL BİLGİLER

Gaz transferi gerek fiziksel, gerek kimyasal ve gerekse biyolojik arıtma süreçlerinde uygulanan temel işlemlerden biridir. Gaz transferi sayesinde proses için ihtiyaç duyulan gazların yüksek hızda hava fazından sıvı fazına; bazı durumlarda da sıvı fazından gaz fazına geçişi sağlanır.

Su ve atık su ortamında bulunabilen yüzey aktif ve hidrofobik özellik taşıyan maddelerin gaz transferini olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Bu tür maddeler, gaz transferinin gerçekleştiği ara yüzeylerde film tabakası oluşturarak transfer sürecini olumsuz yönde etkilerler. Bu hal *Gibbs Adsorpsiyon Eşitliği* ile ifade edilmektedir. Gaz transfer katsayısının yüzey aktif madde konsantrasyonlarındaki artışla azaldığı ifade edilmektedir. Bu olumsuz etki mevcut yüzey aktif maddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilgilidir. Ayrıca su ve atık su içerisinde bulunan safsızlıklar da suyun gazlara olan doygunluk konsantrasyon değerlerinde (denge konsantrasyonlarında) düşüşe neden olmaktadır.

Gaz transferi kısaca gaz moleküllerinin sıvı-gaz ara yüzeyinde yer değiştirmesi olarak tanımlanabilir. Bu değişim süreci sonunda sıvı faz içerisindeki gazların konsantrasyonları, gazların o koşuldaki denge konsantrasyonlarına bağlı olarak artma veya azalma gösterir. Eğer herhangi bir gazın sıvı fazındaki konsantrasyonu mevcut koşuldaki (basınç, sıcaklık, safsızlık vb.) denge konsantrasyonundan düşük ise gaz hava fazından sıvı fazına geçiş yapar (*gaz absorpsiyonu*); eğer sıvı fazdaki konsantrasyon denge

konsantrasyonundan yüksek ise sıvı fazından gaz fazına geçiş olur (*desorpsiyon*). Ancak bir gazın sıvı içerisindeki konsantrasyonu önemli ölçüde sıvı-gaz ara yüzeyindeki toplam basınçtan etkilenir. Bunun anlamı doğal biçimde yüzeyi atmosfere açık olmayan sıvı kütlelerinde çözünmüş gazların denge konsantrasyonlarının, yüzeyi atmosfere açık olan (standart koşullar) sıvı kütlelerindeki gazların denge konsantrasyonlarından (basınca bağlı olarak) çok daha yüksek olabileceğidir.

Gaz transferi süreci gerek doğal ortamlarda, gerekse mühendislik uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Örneğin kirlilik ihtiva eden yüzeysel sularda organik kirleticilerin belli ölçüde aerobik mikroorganizmalar tarafından sindirilmesi neticesinde su içerisindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonu denge konsantrasyonu değerinin altına düşebilir ve böyle durumlarda havadan oksijen emilmesi (*absorpsiyon*) süreci başlar. Öte yandan metabolik faaliyetler sonucu açığa çıkan karbondioksit gazı, denge konsantrasyonundan daha yüksek değerlere ulaşabileceğinden desorpsiyon süreci ile havaya geçer. Benzer biçimde alglerin metabolik faaliyetleri sonucu üretilen ve ortama salınan oksijen de zaman zaman suda doygunluk konsantrasyonu değerinin üzerine çıkabilir ve su ortamından desorbe olabilir. Benzer biçimde doğal yüzeysel sularda anaerobik koşulların gelişimi neticesi ortama salınan metan ve hidrojen sülfür gibi gazlar da desorpsiyonla ortamdan uzaklaşır.

Mühendislik uygulamaları açısından gaz transferine çok sayıda gerek adsorpsiyon gerek desorpsiyon örnekleri verilebilir. Su içerisine transfer edilecek bir gazın, atmosferde yok denecek kadar az bulunması ya da havada yeteri kadar yüksek konsantrasyonlarda bulunmaması hallerinde havadan absorpsiyon hızı çok yavaş cereyan edeceğinden ilgili gazların yapay olarak üretilmesi ya da herhangi bir yerde üretilmekte olduğu bir noktadan (baca vb.) alınarak ilgili transfer noktasına aktarılması biçiminde de uygulamalar yapılabilir. Kireç-soda yöntemiyle sertlik giderme prosesinde baca gazından ya da bir CO₂ üreticiden (jeneratörden) CO₂ gazı elde edilerek su içerisine verilmesi bu duruma örnek olarak verilebilir. Suyun dezenfeksiyonu, tat ve koku problemlerinin giderilmesi ve bazı kirletici veya

safsızlıkların kimyasal oksidasyonu için suyun içerisine klor, ozon vb. verilmesi ve bazen de kimyasal indirgenmesi için suyun içerisine kükürt dioksit vb. gazların verilmesi durumları da adsorpsiyon süreci içeren gaz transferi uygulamalarına örnek olarak verilebilir.

Su içerisinde karbonat dengesini sağlamak için ortamdan agresif CO₂'i uçurmak, tat ve koku problemlerine sebebiyet veren gazları gidermek, metal korozyonunu veya beton aşınmasını önlemek için CO₂'ye benzer biçimde ortamdaki H₂S'i uzaklaştırmak, patlama ve yangın riskine karşı ortamdaki CH₄'ü uzaklaştırmak, göle veya başka alıcı ortamlara deşarj edilen suların içerisinde bulunabilen ve alıcı ortamlarda ötrofikasyona sebep olan NH₄'ü NH₃ haline dönüştürerek uçurmak işlemlerinin hepsi desorpsiyon sürecine örnekler olarak verilebilir.

Absorpsiyon ve desorpsiyon süreçleri doğal döngülerin sürekliliği için gerekli olan ve devamlılığı olan süreçlerdir. Ancak bu şekilde doğal koşullar altında gaz transferi prosesi sayesinde su içerisinde bulunan kirleticilerin kararlı hale gelmesi çok uzun zaman alır. Bu nedenle doğada düşük hızlarda seyreden bu süreçler mühendislik uygulamalarıyla, kontrollü prosesler biçiminde hızlandırılır ve bu sayede doğaya kıyasla çok daha küçük tanklarda çok daha kısa sürelerde prosesin nihai aşamasına ulaşılması sağlanır. Bu kapsamda suya kazandırılan oksijen ile yeraltı sularındaki demir (II) ve manganın (II) oksitlenmesi, aerobik arıtma süreçlerinde atıksu içerisine yüksek miktarlarda oksijen transferi sağlanarak organik maddelerin hızlı bir biçimde biyokimyasal olarak ayrışmasının sağlanması ya da korozyon gibi problemlere sebebiyet veren, tat ve koku gibi istenmeyen etkiler oluşturan veya su kalitesini değişik biçimlerde olumsuz etkileyebilen çeşitli gazların ortamdan uzaklaştırılması işlemleri mühendislik uygulamalarına örnekler olarak verilebilir.

Çevre mühendisliği uygulamalarında gaz transferi işlemlerinde gaz fazı çoğunlukla “hava”, sıvı fazı ise “su ya da atık su” biçiminde karşımıza çıkar. Tüm gaz transferi işlemlerinde transfer mekanizmasının sadece sıvı-gaz ara yüzeyinde gerçekleşmesi sebebiyle bu iki faz arasındaki temas yüzeyi (ara

yüzey) maksimum hale getirilerek gaz transferi kapasitesi en üst düzeyine çıkartılabilir. Bu kapsamda belirli bir hacme sahip bir su kütlelerinin ara yüzeyinin sürekli olarak yenilenmesi sayesinde gaz transferi hızlandırılır; bu sayede de en az temel yatırım ve işletim maliyeti ile maksimum gaz transferi yapılması sağlanmış olur.

Bu amaçla mühendislik uygulamalarında gaz transferini hızlandırmak için başlıca gravite havalandırıcılar, sprey havalandırıcılar, kabarcıklı havalandırıcılar (*difüzörlü havalandırma*) ve yüzeysel mekanik havalandırıcılar kullanılmaktadır.

a. Gravite Havalandırıcılar: Bu tip havalandırıcılarda su türbülanslı bir şekilde yerçekiminin etkisinde hareket ederek bir gaz-sıvı ara yüzü oluşturur. İçme suyu arıtma tesislerinde gazların desorpsiyonu veya suya oksijen kazandırılması için uygulanmaktadır. Su arıtımında kullanılan kaskat havalandırıcılar, kuleli havalandırıcılar ve atık su arıtımında kullanılan damlatmalı filtreler bu tip havalandırıcılara örnek olarak verilebilir.

b. Sprey/Jet Havalandırıcılar: Suyun küçük damlacıklar halinde havaya püskürtülmesini sağlayan nozül biçimindeki havalandırıcılardır. Bu sayede gaz transferi için oldukça yüksek sıvı-gaz ara yüzeyi oluşturulmuş olur.

c. Kabarcıklı Havalandırıcılar: Belli basınç altındaki hava, ince kabarcıklı ya da kaba kabarcıklı dağıtım sistemi ile su ortamına verilir. Difüzörlü havalandırmada amaç, mümkün olduğu kadar küçük hava kabarcıkları oluşturarak birim hacimdeki hava başına en fazla sıvı-gaz ara geçiş yüzeyini oluşturmaktır. Hava dağıtım difüzörleri kullanılarak gerçekleştirilen gaz transfer işlemleri çoğunlukla su içerisine oksijen absorpsiyonu sağlamak için uygulanmaktadır.

İnce kabarcıklı havalandırma işleminin özel bir uygulama biçimi de venturi havalandırıcılardır. Venturi havalandırıcılarda akış halindeki suyun içerisine kesitin daraldığı yerde basınçtaki yerel düşüş nedeniyle havanın emdirilmesi sağlanarak suyun oksijen muhteviyatı artırılır.

d. Mekanik Havalandırıcılar: Suyu hızla karıştıran, yatay olarak dönen şaftlar ya da dikey olarak yerleştirilmiş türbinler üzerine bağlanmış, kısmen ya da tamamen batmış olan fırçalardan oluşur. Su, bu şekilde karıştırılırken yüksek türbülansın etkisiyle sonsuz sayıda gaz-sıvı ara yüzeyleri oluşur.

Bu değişik uygulamalardan görüleceği üzere gaz transferi ve havalandırma işlemleri su ve atıksu arıtımında genellikle farklı biçimlerde ve farklı amaçlarla uygulanmakta olmasına rağmen gaz transferinin amacı her durumda sıvı içerisinde belirli bir gaz konsantrasyonuna ulaşmak ve/veya bu sayede bir reaksiyonun gerçekleşmesini temin ve kontrol edebilmektir.

2.1. Oksijenlenme Kapasitesinin Belirlenmesi

Genel havalandırma katsayısı, bilinen bir havalandırma sisteminin belli hacimdeki bir tanka birim zamanda transfer edebileceği gaz miktarı hesaplanabilir. Bu durumun belirlenmesi, özellikle oksijen tüketiminin çok yüksek mertebelerde olduğu aktif çamur gibi aerobik biyolojik arıtmanın uygulandığı biyokimyasal süreçlerde çok önem taşır. Bu kapsamda standart koşullarda birim hacimdeki sıvının bir havalandırma sistemi tarafından oksijenlendirme kapasitesi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$OC = k_2 C_s \quad (1.1)$$

Bir havalandırıcının kapasitesi genellikle oksijenlenme kapasitesidir (OC). Bu ise, g/m³.sa cinsinden oksijen transfer hızıdır. Oksijen transferi, başlangıçta çözünmüş oksijen konsantrasyonu 0 (sıfır), sıcaklığı 10°C ve üzerindeki hava basıncı 1013 mb olan su üzerinde etkili olan bir havalandırıcı mevcut olduğunda gerçekleşir. Bu nedenle OC verilen şartlar altında, genel oksijen transfer katsayısı, k_2 , ve oksijenin sudaki çözünürlüğünün, C_s , çarpımına eşit olur.

Temiz su ile yapılan deneylerden elde edilen OC değerleri doğrudan atık su için kullanılamaz çünkü sudaki safsızlıklar oksijen transfer hızını düşürür. Bu nedenle, havalandırıcı tipi ve atık su karakteristiğine bağlı olarak bir düzeltme faktörü, α , yukarıdaki denklemde kullanılır. Ayrıca musluk suyunda belirlenen oksijenlendirme kapasitesi ile ilişkilendirilen α

parametresi yardımıyla, işletme koşullarındaki su için oksijenlendirme kapasitesi yaklaşık olarak tahmin edilebilir.

$$(OC)_{atık\ su} = \alpha \cdot (OC)_{mustuk\ suyu} \quad (1.2)$$

Buradaki α değeri yüzey aktif maddenin türüne, konsantrasyonuna ve havalandırıcı tarafından gerçekleştirilen yüzey yenilenme dinamiklerine bağlıdır ve deneysel olarak belirlenmelidir. Tipik oksijen kullanımı ve oksijenlenme verimi için aşağıdaki tabloya bakınız.

Tablo 2.1. Küçük kabarcıklı havalandırma için oksijenlenme değerleri

	Optimum Şartlar			Ortalama Şartlar		
	$\frac{OU}{d_i} \left(\frac{gO_2}{m^3 \cdot m} \right)$	OE		$\frac{OU}{d_i} \left(\frac{gO_2}{m^3 \cdot m} \right)$	OE	
		$\frac{mgO_2}{J}$	$\frac{kgO_2}{kWh}$		$\frac{mgO_2}{J}$	$\frac{kgO_2}{kWh}$
Temiz su	12	6	2.2	10	0.47	1.7
Pratikte ($\alpha = 0.7$)	8.5	0.42	15	7	0.33	1.2

Sürekli akışlı tanklarda kararlı hal durumlarında gaz transferi verimi (K) aşağıdaki gibi ifade edilir:

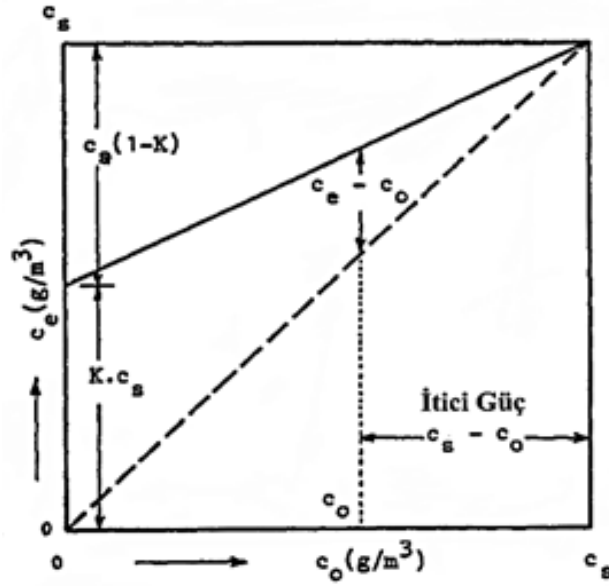
$$K = \frac{C_e - C_0}{C_s - C_0} \quad (1.3)$$

C_0 : Başlangıçtaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/l)

C_e : Çıkışta (sonda) çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/l)

C_s : Doygunluk denge konsantrasyonu (mg/l)

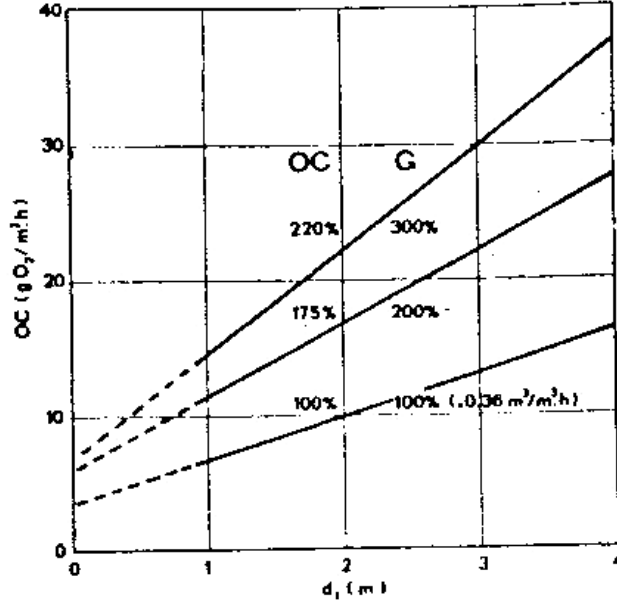
1.3 eşitliği Şekil 2.1'deki gibi grafik yardımıyla da gösterilebilir. Bu şekilde kesikli çizgi $C_e=C_0$ eşitliğini, kalın çizgi ise $C_e=C_0+K(C_s-C_0)$ eşitliğini göstermektedir. İki çizgi arasındaki mesafe de $C_e-C_0=K(C_s-C_0)$ olarak tanımlanmaktadır. Böylece verilen bir C_0 değerinden başlanarak çözünmüş gaz konsantrasyonundaki artış grafikten kolayca okunabilir. Ayrıca bu grafik üzerinde itici gücün (C_s-C_0) konsantrasyondaki artışta oynadığı önemli rol açıkça görülmektedir.



Şekil 2.1. 1.3 Eşitliğinde Verilen Verim Katsayısının Grafik Üzerinde Gösterimi

Oksijen aktarımı ve oksijenlenme kapasitesini belirleyen iki önemli faktör hava debisi ve difüzörlerin su içindeki derinliğidir. Özellikle hava debisi, kabarcıklı havalandırma sistemlerinde sistemin iyi işletilmesi ve esnekliği açısından son derece önemlidir. Hava debisi genellikle G ile ifade edilir ve birimi birim su hacmi için verilen hava debisidir ($m^3/m^3.sa$). Difüzörün su içindeki derinliği, d_i , oksijenlenme kapasitesi değerini büyük oranda etkiler. Oksijen transferi, d_i değeri ile tam olarak doğru orantılı olmasa da, suya aktarılan oksijen miktarının difüzörün su içindeki derinliğine oranı, kabarcıklı havalandırıcıların karakteristiğinin tanımlanmasında sıkça kullanılır. Aşağıdaki şekil küçük kabarcıklı bir havalandırma sistemi üzerinde G ve d_i değerlerinin etkisini göstermektedir.

Difüzörlerin su içindeki derinliği, d_i , oksijen kullanımı ve oksijenlenme verimini etkiler. Pratikte, küçük ve orta boyutlu kabarcıklı havalandırıcılarda 1.2 ile 2.4 $kg O_2/kWh$ arasında verim elde edilebilir.



Şekil 2.2. G ve d_i 'nin oksijenlenme kapasitesi üzerindeki sinerjik etkisi

Diğer karakteristik parametreler;

i) Oksijen Kullanımı (OU), ki bu enjekte edilen birim hava hacmi için su tarafından absorbe edilen oksijen miktarıdır;

ii) Oksijen Absorpsiyon Yüzdesi (OA), ki bu absorbe edilen oksijen miktarının enjekte edilen oksijen miktarına oranıdır (standart şartlar altında $299 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ hava) ve

iii) Oksijenlenme Verimi (OE), Gaz transferi işlemlerinde birim enerji sarfiyatı başına su içerisine transfer edilen oksijen miktarını belirlemek için de oksijenlendirme verimi ifadesi kullanılır.

$$OU \left(\frac{\text{gO}_2}{\text{m}^3 \text{hava}} \right) = \frac{OC}{G} \quad (1.4)$$

$$OA(\%) = \frac{OU}{299} * 100 = 3.34 * 10^{-3} OU \quad (1.5)$$

$$OE \left(\frac{\text{kgO}_2}{\text{kWh}} \right) = \frac{OC}{N_G} \quad (1.6)$$

OU : Oksijen kullanımı, g O_2/m^3 hava

OA : Oksijen absorpsiyon yüzdesi, g O_2/m^3 hava

OC : Oksijenlendirme kapasitesi, kg/s

OE : Oksijenlendirme verimi, kg/J

N_G : Havalandırma ekipmanına verilen toplam güç miktarı, W

2.2. Gaz Transfer Teorisi

Maddelerin çok yoğun ortamdan daha düşük yoğunluklu ortama geçişleri *difüzyon* olarak adlandırılır ve bu geçiş süreçleri gaz transferinde gerek sıvı gerek gaz fazı için her iki yönde de olabilir. Gazların atmosfer içerisindeki difüzyonu, sıvıların içerisindeki difüzyonuna kıyasla yaklaşık 1.10^4 defa daha yüksektir.

Gaz-sıvı ara yüzü üzerinden, hava kabarcığından suya oksijen aktarım hızı;

- i)** Oksijenin sudaki çözünürlüğü, C_s ;
- ii)** Oksijen aktarım katsayısı, k_L ;
- iii)** Mevcut spesifik yüzey alanı ve
- iv)** Sıcaklık

ile ilişkilidir.

Oksijenin, sudaki difüzyon katsayısı havadakinden çok daha küçük olup, bu nedenle, genel oksijen aktarımında oksijen, sadece su filminde dirençle karşılaşır. Gaz-sıvı ara yüzünün oksijene doymuş olduğu varsayılırsa, kg O_2/sa cinsinden toplam kütle transferi, m, aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\dot{m} = k_L A (C_s - C_L) \quad (1.7)$$

Bu denklemde her iki taraf sıvı hacmine, V , bölünürse aşağıdaki diferansiyel denklem elde edilecektir:

$$\frac{dC}{dt} = k_L a (C_s - C_t) \quad (1.8)$$

Burada;

k_L : m/sa cinsinden kütle aktarım katsayısı

a : m^2/m^3 cinsinden spesifik yüzey alanı (A/V)

C_S : Verilen sıcaklık ve basınçta oksijenin mg/L cinsinden sudaki çözünürlüğü ve

C_t : Herhangi bir anda suda bulunan mg/L cinsinden çözünmüş oksijen konsantrasyonudur.

$C_S - C_t$ ifadesi sudaki oksijen noksanlığı olarak adlandırılır. Spesifik yüzey alanının değeri su hacmindeki kabarcık sayısına ve kabarcık boyutuna bağlıdır. Bu değerler daima bilinenler arasında değildir. Bu nedenle, k_L ve a değerlerinin çarpımına eşit olan bir genel gaz aktarım katsayısı, k_2 , tanımlanabilir $k_2 = k_L \cdot a$. Şunu da belirtmek gerekir ki sudaki oksijen konsantrasyonu arttıkça oksijen noksanlığı azalacak ve bu nedenle oksijen aktarım hızı düşecektir. Sıvı faz içerisindeki gaz konsantrasyonunda meydana gelen değişim ise aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir.

$$\frac{dC}{dt} = k_2(C_S - C) \quad (1.9)$$

Gaz transferi uygulamalarında hidrolik unsurlar da dikkate alındığında kesikli işletilen ve sürekli işletilen (tam karışım ve piston akışlı) tanklar için yukarıda verilen 1.9 diferansiyel ifadesi değişik tank işletim koşulları için farklı biçimlerde çözümlenir.

Tam karışım reaktörlerde gaz, su fazı içerisinde sürekli bir biçimde tank muhteviyatıyla homojen olarak karışır. Kesikli işletilen bir tankın tümü hidrodinamik yönden tam karışım tanklara benzemektedir; ancak kesikli işletilen tanklarda zamanla değişim gösteren bir konsantrasyon gradyeni oluşmaktadır. Diğer bir ifadeyle herhangi bir t anında tankın tüm noktalarında gaz konsantrasyonu (C_t) aynıdır. Bu durum ortamdaki gaz konsantrasyonu, doygunluk denge konsantrasyonu değerine ulaşıncaya kadar devam eder.

Kesikli işletilen bir tankta C_0 konsantrasyon değerinden başlanarak t süresi sonunda C_t konsantrasyonuna ulaşılması durumu için yukarıda verilen 1.9 diferansiyel ifadesi aşağıdaki gibi çözümlenebilir.

$$\frac{dC}{C_S - C} = k_2 \cdot dt \quad (2.0)$$

Yukarıdaki denklem $t = 0 \rightarrow t$ ve $C = C_0 \rightarrow C_t$ arasında integre edildiğinde, sonuç aşağıdaki gibi olur:

$$\int_{C_0}^{C_t} \frac{dC}{(C_S - C)} = \int_0^t k_2 \cdot dt \quad (2.1)$$

$$\ln \left(\frac{C_S - C_t}{C_S - C_0} \right) = -k_2 \cdot t \quad (2.2)$$

$$\frac{C_S - C_t}{C_S - C_0} = e^{-k_2 \cdot t} \quad (2.3)$$

$$C_t = C_S - (C_S - C_0) \cdot e^{-k_2 \cdot t} \quad (2.4)$$

Bu eşitlik yardımıyla bir havalandırıcı sisteme ait genel havalandırma katsayısı (k_2), $\ln \left(\frac{C_S - C_t}{C_S - C_0} \right)$ ifadesinin t 'ye karşı grafiğe geçirilmesiyle hesaplanabilir. Ancak başlıca sıcaklık, çeşitli safsızlıklar ve gazın hava içerisindeki kısmi basıncı gibi faktörler doyumluk denge konsantrasyonunu değiştirdiğinden k_2 'nin belirlenebilmesi için deney koşulları altında sıvının ilgili gaza olan doyumluk konsantrasyonunun da bilinmesi gerekmektedir. k_2 değeri bulunduğunda ise oksijenlenme kapasitesi (OC) değeri kolaylıkla hesaplanabilir. Ancak, asla unutulmamalıdır ki oksijenlenme kapasitesi 10°C sıcaklıkta standart şartlar için tanımlanmaktadır.

Gaz transferi çalışmalarında genelde kesikli işletilen bir tank üzerinde k_2 genel havalandırma katsayısı belirlenir ve bu katsayı kullanılarak sürekli akışlı tanklarda belli çözünmüş gaz konsantrasyonu değerine ulaşmak için gerekli nominal hidrolik tutulma süresi belirlenir.

Havalandırma prosesindeki kütle transferi, viskozite ve difüzyon mekanizmaları üzerinde oluşan sıcaklık etkisi, θ parametresine bağlı olarak aşağıdaki biçimde ifade edilir. Eğer havalandırılacak suyun ya da atıksuyun sıcaklığı 10°C 'den farklı ise k_2 değeri için bir sıcaklık düzeltmesi yapılmalıdır. Sıcaklık düzeltmesi için aşağıdaki denklem kullanılabilir:

$$K_{L,T} = K_{L,10^{\circ}\text{C}} \theta^{(T-10)} \quad \text{veya} \quad K_{L,T} \cdot a = K_{L,10^{\circ}\text{C}} \cdot a_{10^{\circ}\text{C}} \cdot \theta^{(T-10)} \quad (2.5)$$

$K_{L,T}$: T sıcaklığında kütle transfer katsayısı (m/s)

$K_{L,10^{\circ}\text{C}}$: 10°C sıcaklıkta kütle transfer katsayısı (m/s)

θ : sabit

a : spesifik ara yüzey alanı (m^2/m^3)

Literatürde θ değerinin 1,012 ile 1,040 aralığında değişim gösterdiği ifade edilmektedir. θ parametresinin belirlenen en uygun değerleri difüzörlü havalandırma için 1,020; yüzeysel havalandırma için ise 1,028'dir. ASCE Standart Ölçüm Modeli de θ değerini 1,024 olarak vermektedir.

3. DENEYİN YAPILIŞI

3.1 Deneyde Kullanılacak Malzemeler

1. Derin bir kap,
2. Difüzör
3. Bir blower
4. Bir ÇO probu

3.2 Prosedür

1. Öncelikle ortamdaki ÇO konsantrasyonu, prob yardımıyla ölçülür.
2. Daha sonra, prob suyun içindeyken, suya yavaş yavaş $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ekleyerek su anaerobikleştirilir.
3. Difüzör(ler) suya yerleştirilir ve blower çalıştırılır.
4. Belirli zaman aralıklarıyla sudaki ÇO konsantrasyonu ölçülür ve kaydedilir.

5. Zamana karşı $\ln\left(\frac{C_S - C_t}{C_S - C_0}\right)$ değerleri çizilir ve grafiğin eğimi, yani k_2 değeri bulunur.

4. TARTIŞMA VE SORULAR

1. Bir havalandırma deneyinde elde edilen zamana bağlı çözünmüş oksijen konsantrasyonları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Deneyin yapıldığı sırada su sıcaklığı 23°C olarak ölçülmüş olup bu sıcaklıkta oksijenin saf suda çözünürlüğü 8.56 mg/L'dir. Aşağıdaki verileri kullanarak söz konusu su için k_2 değerini hesaplayınız.

t, sn	ÇO Konsantrasyonu, mg/L
0	0,00
20	0,75
40	1,43
60	2,05
80	2,62
100	3,13
200	5,07
300	6,28
400	7,02
500	7,49
600	7,78

2. Bir önceki soruda verilen ÇO değerlerine bakarak, deneyde kullanılan suyun ne zaman doygunluğa ulaşacağını bulunuz. İpucu: Teorik olarak, suyun doygunluğa ulaşması sonsuzda gerçekleşecektir. Ancak, pratikte doyum noktasına çok yaklaştığı zaman doygunluğa ulaştığını söylemek mümkün olur.

3. İki film teorisi nedir? Açıklayınız.

5. DEĞERLENDİRME VE YORUM

Öğrenci yapmış olduğu deney ve sonuçlarını değerlendirip yorumlar.

7. DENEY HAVA SIYIRMA İLE AMONYAK GİDERİMİ

1. DENEYİN AMACI

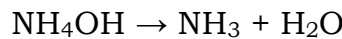
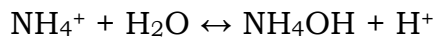
Amonyak azotunun havayla sıyırma (Air-Stripping) yöntemi ile giderilmesi

2. GENEL BİLGİLER

Amonyak yüzey sularında ve atıksularda doğal olarak bulunur. Yeraltı suyunda konsantrasyonu azdır. Çünkü toprak ve kil parçaları tarafından adsorplanır ve kolaylıkla serbest hale geçemez. Amonyak çoğunlukla organik azotun deaminasyonu ve ürenin hidrolizinden meydana gelir. Bazı su arıtım tesislerinde klorla reaksiyona girip amonyum klorür bileşikleri oluşturmak için kullanılır. Amonyak konsantrasyonu yüzey ve yeraltı sularında 10 g NH₃-N/L'den, atıksulardaki 30 mg/L'ye kadar değişen aralıklarda bulunabilir.

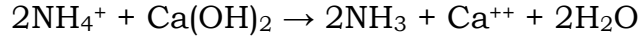
Yüksek amonyum iyon konsantrasyonunun limit değerler altına indirilmesi için işlem performansı ve maliyet açısından en çok kullanılan arıtım yöntemleri; hava sıyırma (air-stripping), nitrifikasyon-denitrifikasyon, iyon değişimi ve membran filtrasyon olarak sayılabilir. Suyun hava ile temasına dayanan hava sıyırma prosesi ekonomik açıdan her ne kadar cazip bir yöntem olarak kabul edilmekte ise de amonyak sıyırma kolonlarında oluşan biyolojik aktivite ve kalsiyum karbonat çökmesi problemleri nedeni ile kullanımı sınırlıdır.

Azot giderilmesinde etkili fakat pahalı bir çözüm yolu yüksek pH değerlerinde sürekli havalandırma metodudur. Sudaki pH değeri arttırılırsa amonyum iyonu (NH₄⁺), amonyağa (NH₃) dönüşür.



Buradan görülebileceği gibi pH değeri yükseldikçe NH₃ yüzdesi artar. NH₄⁺'u uçucu NH₃'e çevirmek için pH'nın 10.7-11 civarında olması gerekir. pH değerini yükseltmek için genellikle sönmüş kireç (Ca(OH)₂) kullanılır.

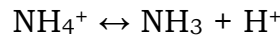
Reaksiyon:



Daha sonra su bir havalandırma kulesinden bırakılır. Su yukardan aşağı inerken, plaklar arasından NH_3 havaya karışır.

Amonyak azotunun iki kademeli biyokimyasal bozuluşması ile nitrata oksitlenmesi (nitrifikasyon) ve oluşan nitratin hetotrofik bakterilerce kullanılması ile azot gazına dönüşmesi olarak tanımlanabilen nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemi arıtım için oldukça pratik bir metottur. Ancak içme sularının düşük organik madde içeriği nedeni ile ilave karbon kaynağı kullanımına olan gereksinim sonucu artan maliyet, nitrattan arıtılan sularda çeşitli mikroorganizmalara rastlanması, prosesin içme suyu alanında kullanımını zorlaştıran faktörlerdir. Her iki proses de sıcaklığa bağımlı metotlardır. 15°C altındaki sıcaklık değerlerinde işlem randımanı önemli oranlarda düşmektedir. İyon değişim işlemi diğer iki metoda oranla gerek işlem performansı gerekse kullanım basitliği ve ucuzluğu ile oldukça cazip bir proses olarak görünmekle birlikte yüksek çıkış suyu kapasite değerleri için uygun bir seçenek olarak kabul edilememektedir.

Çevre mühendisleri genel olarak dört önemli azot formu ile ilgilidir. Bunlar amonyak azotu, nitrat azotu, nitrit azotu ve organik azot olup yüzeysel sularda ve kirletilmiş sularda ölçülmesi gereken azot şekilleridir. Amonyak azotu, suda çözülmüş halde amonyum iyonuna dönüşür.



Yukarıdaki dönüşümlü reaksiyon ortamın pH'sına bağlıdır. İyonize olmamış amonyağın toksik etkisinin bulunduğu, amonyum iyonunun ise böyle bir etkisinin bulunmadığı iyi bilinmektedir. Amonyak azotunun dört yöntemle belirlenebileceği standart metotlarda açıklanmıştır. Bunlardan ikisi kolorimetrik, biri volumetrik, diğeri de enstrümental yöntemdir.

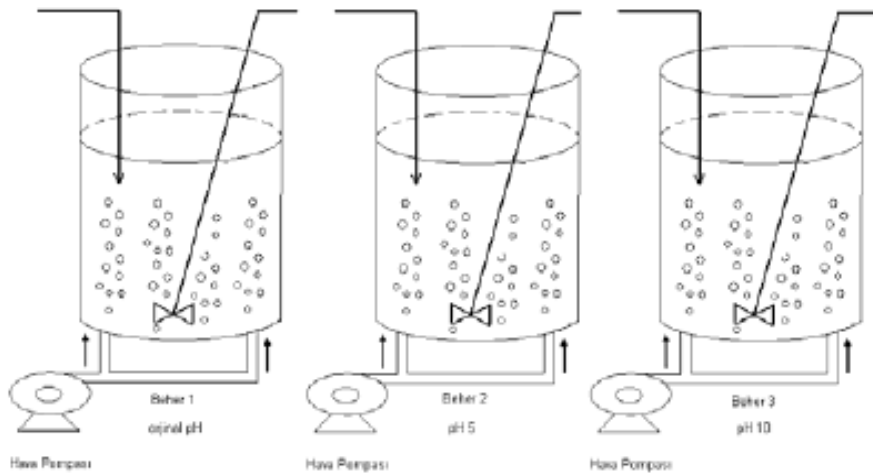
Bu özellikten yararlanarak uygulanan test yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

- Doğrudan nesslerizasyon ile amonyak tayini
- Doğrudan fenat eklenmesi
- Distilasyon vasıtası ile amonyak tayini
- Hacimsel (Volumetrik) analiz
- İyon seçici elektrodlar yardımı ile

3. DENEYİN DÜZENİĞİ

3.1. Kullanılan Araç ve Gereçler

- 3 adet 500 mL'lik beher
- Hava pompası
- pH probu, pipet



Şekil 3.1. Deney düzeneği

a. Kullanılan Kimyasallar

- Amonyak içermeyen su
- Nessler Reaktifi:** 100 g Civa-2-iyodür (HgI_2) ve 70 g susuz potasyum iyodür (KI) az miktarda amonyaksız suda çözülür. Bu karışıma ağır ağır karıştırılarak 160 gr sodyum hidroksitin 500 ml suda çözünmüş ve soğutulmuş çözeltisi ilave edilir. Amonyaksız su ile 1 L'ye tamamlanır. Çözelti pyrex bir kapta saklanmalı ve güneş ışığında muhafaza edilmelidir. Bu reaktif normal şartlar altında 1 sene saklanabilir. Bu reaktifin 0.1 mg/L

amonyak azotu ile 10 dakika içinde karakteristik bir renk vermesi gerekmektedir. 2 saat içinde az miktarda amonyum çökelekleri oluşmamalıdır (Reaktif zehirlidir, dikkatli çalışılmalıdır).

- **Çinko sülfat çözeltisi:** 100 gr çinko sülfat $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ amonyaksız suda çözülür ve litreye tamamlanır.

- **Sodyum hidroksit, 6 N:** 24 g NaOH amonyaksız suda çözülerek 1L'ye tamamlanır.

- **EDTA Çözeltisi:** 50 g EDTA 60ml amonyaksız ve içinde 10 g NaOH bulunan suda çözülür. Gerekli ise çözünmesi için hafifçe ısıtılır. Oda sıcaklığına kadar soğutulur ve 100 ml'ye tamamlanır.

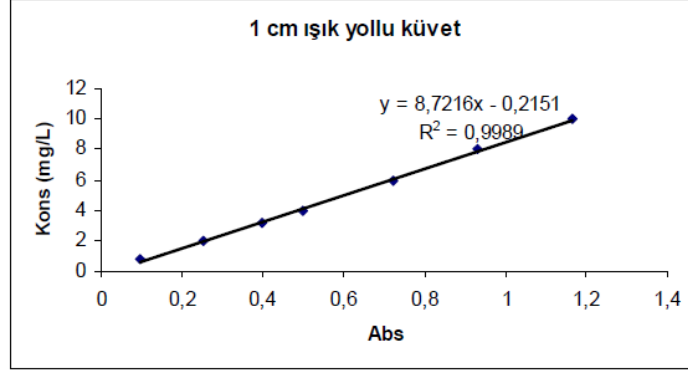
4. DENEYİN YAPILIŞI

Belli bir hacimde 100 mg NH_4^+/L konsantrasyonunda numune alınır. 3 behere aynı konsantrasyon ve hacimdeki amonyak çözeltileri konur, sırasıyla her birinin pH'sı kendi orijinal değeri, pH'sı, 5 ve 10 olacak şekilde NaOH ile ayarlanır. Her bir behere hava pompası kullanılarak eşit oranlarda 10 dakika boyunca havalandırılır ve bu süreçte karıştırıcılar yardımı ile karıştırma devam eder. 10 dakika sonunda aşağıdaki tayin metoduyla amonyak miktarı tayin edilir ve pH ile değişimi grafikte gösterilir.

Numunenin 100 ml'sine 1 ml $ZnSO_4$ çözeltisi ilave edilir. İyice karıştırılır. NaOH ilavesi ile pH 10.5'a ayarlanır. Tekrar iyice karıştırılır. Çözelti filtre kağıdından süzülür. Süzüntünün ilk 25 ml'si atılarak geri kalan süzüntüden 5 ml alınıp 50 ml'ye seyreltilir. Karışıma 1 damla EDTA ve 2 ml Nessler reaktifi ilave edilerek 10 ila 30 dk arası beklenir. Oluşan renk sarı-kahverengi ise 400-425 nm'de, kırmızı-kahverengi ise 450-500 nm'de okunarak sudaki amonyak konsantrasyonu belirlenir.

5. TARTIŞMA VE SORULAR

1. Elde edilen absorbands değerlerini hazırlanan kalibrasyon eğrisindeki formülde yerine koyarak konsantrasyonları hesaplayınız.



Şekil 3.2. Örnek kalibrasyon eğrisi

2. NH_4^+ gideriminde pH'ın etkisini tartışınız.
3. NH_4^+ gideriminde kullanılan diğer yöntemler nelerdir?
4. Havalandırmanın NH_4^+ giderimine etkisi nedir, tartışınız.
5. Amonyak'ın çevre üzerindeki etkileri nelerdir, deşarj standartları nedir?

6. DEĞERLENDİRME VE YORUM

Öğrenci yapmış olduğu deney ve sonuçlarını değerlendirip yorumlar.

8.DENEY ISI AKTARIMI

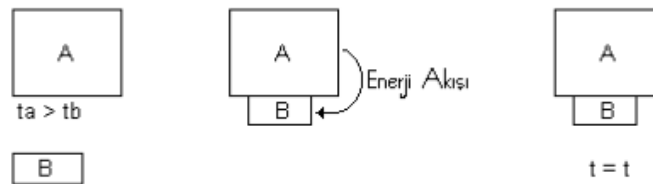
1. DENEYİN AMACI

Bir cismin özgül ısısını tayin etmek, joule kanunu öğrenmek ve kalorimetre kabını tanımak.

2. GENEL BİLGİLER

Isı ve sıcaklık birbirinde çok ayrı iki kavramdır. Maddeyi oluşturan her atomun ve her molekülün bir kinetik enerjisi vardır. Aynı zamanda katı cisimlerde atomları belirli bir denge durumu etrafında kalmaya zorlayan atomlararası kuvvetlerin bulunması nedeni ile, her atomun birde potansiyel enerjisi vardır. Her atomun potansiyel ve kinetik enerjilerinin ortalama değerleri birbirine eşittir. Bir cismi oluşturan atomların ve moleküllerin sahip oldukları kinetik ve potansiyel enerjilerin toplamına, o cismin iç enerjisi denir. İç enerji aslında, bir maddeyi oluşturan parçacık ve atomların her türden enerjilerinin toplamıdır. Bu enerjiler kinetik, potansiyel, kimyasal, elektriksel, nükleer....v.b. olabilir. Sıcaklık arttıkça atom ve moleküllerin hareket hızı, dolayısıyla kinetik enerjisi artacağından iç enerji sıcaklıkla artar. Buna göre sıcaklık, cismi oluşturan atom veya moleküllerin ortalama kinetik enerji seviyesinin bir ölçüsüdür veya bir cismin atom ve moleküllerinin ortalama kinetik enerjisi, onun sıcaklığının bir ölçüsüdür. Isı ise cismin atom veya moleküllerinin enerjilerinin toplamı yani o cismin iç enerjisidir. Isı bir enerjidir ve enerji birimleri ile ölçülür. Sıcaklık ise enerji değildir. °C, K gibi birimlerle ölçülür

Sıcaklıkları farklı, A ve B gibi iki cisim birbirlerine Şekil 2.1'deki gibi değdirilsin. Başlangıçta $t_a > t_b$ olsun.



Şekil 2.1. A ve B cisimleri arasındaki enerji akışı

Şekil 2.1 de, A cismi enerji kaybeder, B cismi enerji kazanır. Yani A soğur, B ısınır. İşte sıcaklık farkı nedeniyle, yüksek sıcaklıklı cisimden alçak sıcaklıktaki cisme geçen enerjiye ısı enerjisi denir.

Kütlesi m olan bir cismin sıcaklığını t_1 'den t_2 'ye değiştirmek için ona verilmesi veya ondan alınması gereken ısı miktarı ,

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (2.1)$$

Eşitlikte;

c : Özgül ısı (kJ/kg°C)

Q : Isı miktarı (kJ)

m : Ağırlık (kg)

Δt : Sıcaklık farkı (°C)

t_2 : İlk sıcaklık (°C)

t_1 : Son sıcaklık (°C)

olarak ifade edilir.

SI birim sisteminde; ısı birimi joule (J), kütle birimi (kg), ısınma ısısı (öz ısı) birimi $J/ kg.K$ ve sıcaklık birimi K 'dir. Uygulamada daha çok kalori adı verilen ısı birimi kullanılır. Bunu için kütle birimi g , ısınma ısısı $cal/ g.^{\circ}C$ ve sıcaklık birimi $^{\circ}C$ alınır, ısı birimi de *kalori* olur.

1 g saf suyun sıcaklığını $14.5^{\circ}C$ 'den $15.5^{\circ}C$ 'ye yükseltmek için gerekli ısı miktarına 1 *kalori* denir. Kalorinin kısaltılmış işareti "*cal*" 'dır.

$$1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$$

Bir cismin birim kütlesinin sıcaklığını $1^{\circ}C$ değiştirmek için ona verilmesi veya ondan alınması gereken ısı miktarına o cismin **ısınma ısısı** (özgül ısısı) denir. Cismin tamamının sıcaklığını $1^{\circ}C$ değiştirmek için gerekli ısı miktarına ise o cismin **ısı sığası** (su cinsinden değeri) denir.

Çizelge 2.1. Bazı Maddelerin Özgül Isısı

<i>Madde</i>	<i>kcal/ kg. °C = cal/ g. °C</i>
Alkol	0.58
Alüminyum	0.22
Beton	0.70
İnsan vücudu	0.83
Buz	0.50
Su buharı	0.48
Saf su	1.00
Demir	0.11

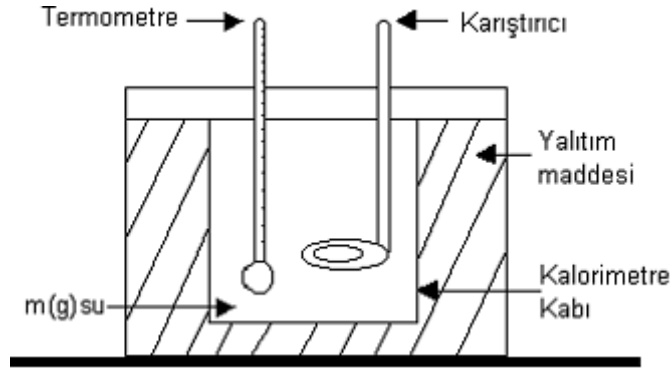
3. DENEYİN YAPILIŞI

Özgül ısının ölçülmesi

Sıvının özgül ısısının belirlenmesinde karışım yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, kütlesi ve sıcaklığı bilinen örnek, özgül ısısı bilinen bir kalorimetre kabının içindeki kütlesi ve sıcaklığı belirli suyun içine bırakılır. Belirli bir süre sonunda örnek ve su tarafından kazanılan veya kaybedilen ısı miktarı ısı denge eşitliğinde yerine konularak örneğin özgül ısı değeri hesaplanır.

Kalorimetre Kabı

Kalorimetre kabı, dışarıyla ısı alışverişi olmayacak şekilde yalıtılmış ve içinde ısı alışverişi olaylarının gerçekleştiği bir kaptır. Kapağı ve dış yüzeyi ısı yalıtkan bir maddeyle kaplanmıştır ve bu sayede kabın içine konan biri soğuk, diğeri sıcak iki madde arasındaki ısı alışverişi ve son sıcaklık konusunda doğru bir sonuca ulaşılır. Kap içindeki sıcaklık değişimi ve denge sıcaklığı ise kapaktaki bir delikten sarkıtılan bir termometre ile ölçülür. Kalorimetre, maddelerin öz ısısını ve ısı sığasını bulmada kullanılır.



Şekil 3.1. Kalorimetre Kabı

Bu yöntemin doğruluğu sistemdeki ısı kayıplarının göz ardı edilebilir olmasına dayanır. Bu koşulun ilk şartı kalorimetrenin ortam sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa sahip olmasıdır. Böylelikle deneyin ilk kısmında kazanılan ısı, daha sonra kaybedilen ısıyı dengelemiştir olur.

Bu yöntemin dezavantajı, yalnızca ölçümlerin yapıldığı sıcaklık aralığındaki ortalama özgül ısı değerlerinin belirlenebilmesidir. Eğer tam bir özgül ısı sıcaklık ilişkisi isteniyorsa farklı sıcaklık aralıklarında da denemelerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ürün ile kalorimetrik akışkan arasındaki büyük sıcaklık farkları önemli ısı kayıplarına neden olabilir.

Karışım yöntemi ile cisimlerin, özellikle öz ısılarını ve erime ısılarının tayin edilmesini, aynı zamanda joule kanununun doğrulanmasını olanaklı kılar. Burada işlem;

$$Q_{\text{alınan}} = Q_{\text{verilen}} \quad (3.1)$$

$$c_k \cdot m_k \cdot (t_{\bar{o}} - t_d) + c_{\bar{o}} \cdot m_{\bar{o}} \cdot (t_{\bar{o}} - t_d) = c_s \cdot m_s \cdot (t_d - t_s) \quad (3.2)$$

formülü yardımı ile hesaplanır.

c_k : Örnek kabının özgül ısısı (kJ/kg°C)

m_k : Örnek kabının ağırlığı (kg)

$c_{\bar{o}}$: Örneğin özgül ısısı (kJ/kg°C)

$m_{\bar{o}}$: Örneğin ağırlığı (kg)

c_s : Suyun özgül ısısı (kJ/kg°C)

m_s : Suyun ağırlığı(kg)

t_o : Örneğin ilk sıcaklığı (°C)

t_s : Suyun ilk sıcaklığı (°C)

t_d : Denge sıcaklığı (°C)

4. TARTIŞMA VE SORULAR

1. Atık su örneğinin özgül ısı değerini bulunuz.
2. Isı ve sıcaklık kavramlarını tanımlayınız.
3. Isı ile sıcaklık arasındaki farkı açıklayınız.
4. Isınma ısısı ve ısı sığası terimlerini açıklayınız.
5. Termodinamik yasalarını açıklayınız ve bu deneyle ilişkisini anlatınız.
6. Kalorimetre kabı ne amaçla kullanılır, açıklayınız.

5. DEĞERLENDİRME VE YORUM

Öğrenci yapmış olduğu deney ve sonuçlarını değerlendirip yorumlar.

2017/2018 BAHAR DÖNEMİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİNDE TEMEL İŞLEMLER II
UYGULAMA TAKVİMİ

DENEY/UYGULAMA	TARİH
GRUPLARIN BELİRLENMESİ	10.02.2020
VAKUM FİLTASYONU	17.02.2020
BİYOLOJİK ARITIM VE AKTİF ÇAMUR KİNETİĞİ	24.02.2020
YOĞUNLUK VE VİSKOZİTE ÖLÇÜMLERİ	02.03.2020
İYON DEĞİŞTİRME İLE SERTLİK GİDERİMİ	09.03.2020
EKSTRAKSİYON	16.03.2020
UYGULAMA DERSİ	23.03.2020
ARA SINAV HAFTASI	28.03.20 - 05.04.2020
GAZ TRANSFERİ	06.04.2020
HAVA SIYIRMA İLE AMONYAK GİDERİMİ	13.04.2020
ISI AKTARIMI	20.04.2020
TELAFİ HAFTASI	27.04.2020
UYGULAMA DERSİ	04.05.2020