



T.C. KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
2024-2025 ÖĞRETİM YILI
1201655/1221655 TEMEL İŞLEMLER LABORATUVARI

Temel İşlemler Laboratuvarında dönem boyunca toplam 10 deney yapılacaktır. Deneylere önlüksüz girmek kesinlikle yasaktır. Unutma vb. her tür sebeple önlüğü bulunmayan öğrenci bu durumu çözmekle kendisi yükümlüdür. Deney sırasında deneyi yaptıran öğretim elemanının talimatlarına ve laboratuvar kurallarına uyulması zorunludur.

Deney raporu hazırlanmayacaktır. Tüm deneyler tamamlandıktan sonra tüm deneylerden birer soru içeren bir dönem ödevi teslim edilecektir. Dönem ödevi soruları ve teslim tarihi sorumlu öğretim elemanı tarafından bölüm web sayfasından duyurulacaktır. İlk 3 deney sonunda 1. arasınava, 4,5,6. deneyden sonra 2. arasınava 7-10. deneyler sonrasında da final sınavı yapılacaktır.

Deneylerin konu anlatımında şu bilgileri edinmeniz sağlanacaktır:

- İlgili temel işlemin tasarımı veya işletilmesinde deney bulgularına ihtiyaç
- Deneyin yapılış ayrıntıları
- Deney bulgularının toplanma şekli, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin belirlenmesi ve ölçümü
- Elde edilecek deney verileriyle yapılması gereken hesaplamalar, veri analizleri
- Hesaplanarak ulaşılan deneysel bulguların meslekte kullanımı

Deneyden elde edilen bulguların nasıl değerlendirileceği, hangi hesapların yapılacağı ve bulunan sonuçların nasıl yorumlanacağı konusunda yol gösteren bu açıklamaların üzerinde çalışmak, muhakeme yürütmek ve yoruma dayalı sınav/ödev sorularını cevaplamak öğrencinin yükümlülüğüdür.

Bu belgede deney föyleri, deney bulguları toplama formatı ve bulguları değerlendirme yöntemi açıklamaları yer almaktadır. Bu bilgiler o konuda yapılan bir deneyin meslekte kullanılırken hangi hesapların yapılması ve hangi çıkarımlara veya bulgulara erişilmesi gerektiğini göstermektedir.

Öğrenci, bu dersin sınavlarına çalışırken, deneyden elde edilen bulguların nasıl değerlendirileceği, hangi hesapların yapılacağı ve bulunan sonuçların nasıl yorumlanacağı konusunda yol gösteren bu açıklamaların üzerinde çalışmakla kendisi sorumludur. Konuyu öğrenmiş olan öğrenci bu bilgilerini kullanarak ve muhakeme yürüterek sınav sorularını cevaplamakla yükümlüdür.

NOTLANDIRMA:

1. Ara Sınav (50/100): Deney 1, 2, 3

2. Ara Sınav (50/100): Deney 4, 5, 6

Ara Sınav Notu	=	1. Ara Sınav (50/100)	+	2. Ara Sınav (50/100)
-------------------	---	--------------------------	---	--------------------------

Final Sınavı (60/100): Deney 7, 8, 9, 10

Dönem ödevi (40/100)

Final Notu	=	Yazılı Sınav (60/100)	+	Ödev Notu (40/100)
------------	---	--------------------------	---	-----------------------

Bütünleme Notu	=	Bütünleme Sınavı (70/100)	+	Ödev Notu (30/100)
-------------------	---	------------------------------	---	-----------------------

Sınavlar kapalı kitap yöntemiyle yapılacaktır. Sınavda formüller verilecektir.

HAFTALIK DENEY PROGRAMI VE DENEY SORUMLULARI

Her hafta 1 deney yürütülecektir. Deney adları, numaraları, haftalık program ve herbir deneyin sorumlu öğretim elemanı tabloda görülmektedir.

Tarih	Deney Numarası
04.02.2025	1
11.02.2025	2
18.02.2025	3
25.02.2025	1.Ara sınav
04.03.2025	4
11.03.2025	5
18.03.2025	6
Vize haftası	2.Ara sınav
08.04.2025	7
15.04.2025	8
22.04.2025	9
29.04.2025	10
16.05.2025	Dönem Ödevi Teslimi
Genel sınav dönemi	Final Sınavı

DENEY NO	DENEY ADI	ÖĞRETİM ELEMANI
1	Çökeltme Tankları Hidroliği	Dr.Öğr.Üyesi Gamze GÖKTEPELİ
2	3. Tür Çökeltme	
3	Filtrasyon	
4	Aktiflenmiş Karbon İzoterm Deneyi	
5	Reaktör Uygulamaları	
6	Havalandırma ve Fe Oksidasyonu	
7	Jar Test	
8	İyon Değiştirme Kolon Uygulaması	
9	Kırılma Noktası Klorlaması	
10	Biyolojik Arıtım Aktif Çamur Kinet.	

DENEYLERİN YAPILACAĞI YER :

Temel İşlemler Laboratuvarı D Blok Bodrum katta B-04 no'lu oda

DENEY 1. Çökeltme Tankları Hidroliği

Amaç:

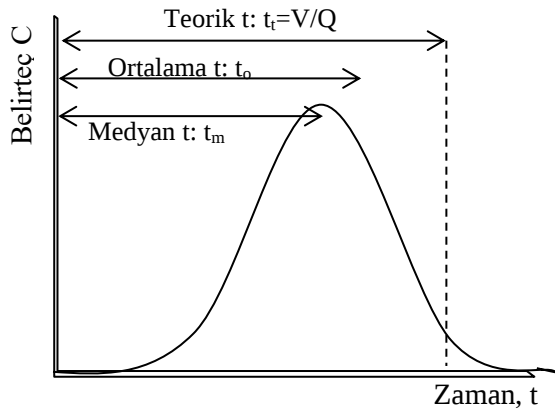
Bir çökeltme sisteminde suyun hareketini ve tankın akım özelliklerini belirlemek, giriş perdesinin verim üzerine etkilerini gözlemek.

Genel:

İdeal çökeltme tankında bütün suyun bekleme süresi, teorik bekleme süresine eşitti.

$$t = V / Q$$

Gerçek çökeltme tankları ise ölü alanlardan, girdaplardan, rüzgar akıntıları ve termal akıntılardan etkilenir. Bu sebeple, bazı akışkan elementleri (suyun bir kısmı) daha kısa süre tankta kalırken, bir kısmı daha uzun sürede tankı terk eder. Ölü alanlar ve girdaplar akımın şeklini değiştirdiklerinden gerçek anlamda çökeltme olmasını önlerler. Böylece çökeltme için kullanılan hacim daha az olur. Bu ölü alanların değişik yönlerde akımların etkisini araştırmak ve tankın hidrolik karakteristiğini deneysel olarak belirlemek için suya bir belirteç bırakarak (boya gibi) tank içerisinde su hareketi izlenir. Çıkış suyunda belirteç konsantrasyonu ölçümü düzenli yapılır ve çizilen grafikten tanktaki akım hareketleri değerlendirilir.



$$t_0 = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot c \cdot dt}{\int_0^{\infty} c \cdot dt} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \cdot t_i \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n c_i \cdot \Delta t_i}$$

c_i : i numunesinde belirteç kons.

n : numune sayısı

t_i : i numunesinin alındığı zaman

Δt_i : bir önceki numuneyle zaman farkı

$t_0/t_t < 1 \Rightarrow$ ölü alan vardır

$t_0/t_t = 1 \Rightarrow$ ölü alan yok, ideale yakın

$t_m/t_0 < 1 \Rightarrow$ kısa devre var, su yeterince beklemiyor

$t_m/t_0 = 1 \Rightarrow$ kısa devre yok

Ölü alanları ve kısa devreyi önlemek için perde kullanılır.

Tam karışımli sistemlerde reaktöre giren madde anında tüm hacme uniform bir şekilde dağılır. Reaktör düz akımlı ise giriş konsantrasyonu tank boyunca hiç dağılmadan hareket eder ve çıkıştaki boya konsantrasyonu enjeksiyondan uzun bir süre sonra ve birden artan şekilde görülür.

Kısa Devreler, Stabilité ve Dispersiyon

Bunların başlıca sebepleri;

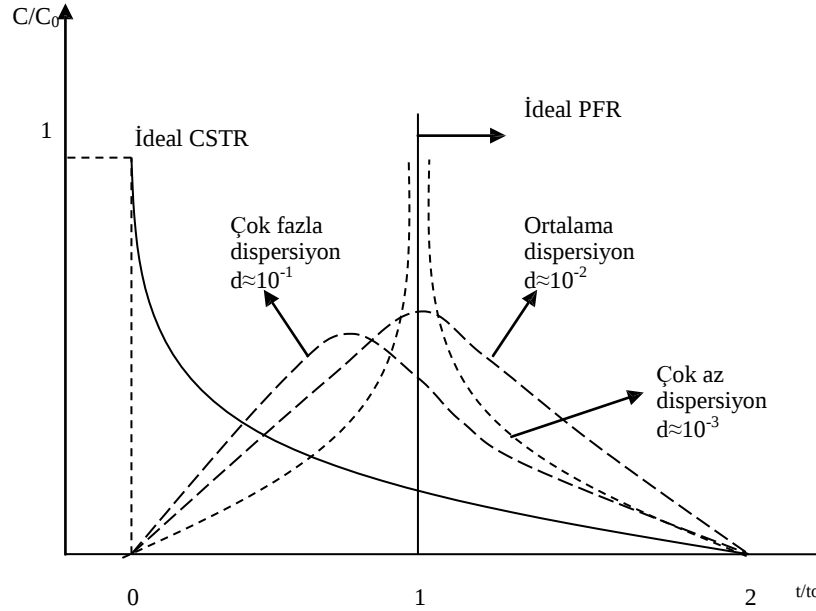
- Giriş-çıkış yapıları,
- Değişken yoğunluklu akımlar,
- Değişken ısı akımlar,
- Rüzgar vb. faktörlerin etkisiyle oluşan akımlar,
- Giriş su hızı ve bu hızdaki değişimlerdir.

Bu faktörlerin çökeltme tankındaki akım özelliklerini nasıl etkilediğini görmek için bir uyarı (boya) girişte şok yükleme şeklinde tanka verilir ve tank çıkışında akımın bu uyarıya nasıl cevap verdiği gözlenir. Zamana karşı veri olarak alınan bu gözlem sonucunda tipik cevap eğrileri elde edilir. Reaktörün türüne bağlı olarak farklı şekiller alan bu eğriler Şekil 1.1'de gösterilmektedir.

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi $C/C_0 - t/t_d$ grafiğinden elde edilen eğrinin biçimi havuz içerisindeki akımın durumunu ve tankın hangi reaktör tipinde çalıştığını gösteren bir ölçüdür. Bu eğriler Şekil 1.1'deki gibi boyutsuz koordinatlara göre çizildiğinde çeşitli akım özelliklerindeki havuzların hidrolik özelliklerini birbirleri ile kıyaslamak mümkün olmaktadır. Boyutsuz eğri üzerindeki bir noktanın apsisi bağlı zamanı (t/t_d) göstermektedir.

Burada t o ana kadar geçen zamanı t_d ise toplam bekleme zamanını ifade etmektedir. Ordinat üzerinde yer alan

C/C_0 değeri ise çıkış suyundaki boyanın C konsantrasyonunun, boyanın ani olarak bütün havuz hacmi ile karışması ile elde edilen C_0 konsantrasyonuna bölümü ile elde edilir. Bu tip bir grafik kullanılan boya miktarından bağımsız olup, bekleme süresine de bağlı değildir. Tüm boya havuz çıkışından geçmiş ise eğri altındaki alan 1'e eşit olur. Eğer akım stabil ve hiç ölü bölge yoksa, eğrinin ağırlık merkezinin (t/t_d) apsisi de 1'e eşit olacaktır.



Şekil 1.1. Reaktör akım türlerine göre gözlenen tipik uyarı-cevap eğrileri. İdeal tam karışımli reaktör (CSTR)'den ideal piston akımlı reaktör (PFR)'e değişim.

Şekil 1.1'deki A eğrisi tipik ideal tam karışımli reaktörde (CSTR) gözlenen durumdur. Tanka gelen bir yükün tüm hacimde homojen bir şekilde ve kısa sürede dağıldığını gösterir. E ise ideal piston akımlı reaktörde (PFR) gözlenen durumdur ve tanka giren bir yükün tank boyunca kesit alanda homojen bir şekilde ilerleyip çıkışta maksimum konsantrasyona ulaştığını gösterir. A ile E arasındaki diğer eğriler ise idealden sapmaların sonucu gözlenen reaktör kompozisyonlarıdır. Örneğin B eğrisi çok fazla dispersiyonun D ise hem dispersiyon hem de kısa devrelerin sonucudur. Aynı şartlar altında yapılan birden fazla sayıda deney şekilleri birbirinden farklı olan dispersiyon eğrileri verirse havuzun stabil olmadığı anlaşılır. Deney sonuçlarının iyi bir yaklaşıklık ile aynı eğri üzerine düşmesi ise akımın stabil olduğunu gösterir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi ideal tam karışımli reaktörlerde (CSTR) dispersiyon sayısı maksimum iken ideal piston akımlı reaktörde (PFR) dispersiyon sayısı minimumdur.

Dispersiyon Sayısı

Pratikte ne tam karışımli ne de tam piston akımlı bir reaktör mevcuttur. Akım belirli bir dispersiyon (dağılma ve yayılma) hali içinde bu ikisi arasında bulunur. Dispersiyon sayısı büyüdükçe çıkışta elde edilen konsantrasyon değerlerinin varyansı artar. Dispersiyon sayısı,

$$d = \frac{\bar{D}}{\bar{W} \cdot L}$$

şeklinde ifade edilir.

- d : Dispersiyon sayısı,
 $\bar{D}$: Dispersiyon katsayısı,
 $\bar{W}$: Ortalama hız,
 L : Uzunluk.

Dispersiyon sayısı, deneysel olarak bulunan eğrilerin varyansının hesaplanması ile belirlenebilir. Varyans hesabı için teorik bekleme süresi bilinmelidir.

Teorik bekleme süresi : $\bar{t}_d = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}$; C_i : t_i zamanında ölçülen konsantrasyon.

Varyans, σ ve dispersiyona bağlı olarak varyans σ^2 , sırasıyla şu eşitlikler ile ifade edilir.

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}_d)^2 \cdot C_i \cdot dt}{\sum_{i=1}^n C_i \cdot dt}$$

$$\sigma^2 = 2(\bar{t}_d)^2 |d - d^2 (1 - e^{-1/d})|$$

İki örnekleme zamanı arasında geçen toplam süreye Δt denirse şu denklem elde edilir.

$$\sigma^2 = \frac{\sum (t_i - \bar{t}_d)^2 \cdot C_i \cdot \Delta t}{\sum C_i \cdot \Delta t}$$

Buradan oluşturulan denklem hesaplanan σ^2 ile eşitlenir ve $d=1$ 'den başlamak üzere farklı d değerleri için eşitlik sağlanmaya çalışılır. Eşitlik hangi d değerinde sağlanmışsa o havuz için dispersiyon sayısı o değere eşit demektir. Bu şekilde bulunan d ile deneysel verilerden elde edilen grafiğin şekli aynı reaktör ve akım türünün özelliklerini yansıtacak şekilde tutarlı olmalıdır.

Malzemeler:

- Model dikdörtgen çökeltme tankı
- Spektrofotometre
- Kronometre
- Test tüpleri
- Metilen mavisi çözeltisi

Yöntem:

- Tank iç boyutları (su hacminin boyutları) belirlenir.
- Tank perdesiz ve su ile dolu iken bekleme süresi (t) ve debi (Q) ayarlandıktan sonra akım başlatılır.
- mg/L konsantrasyondaki metilen mavisi çözeltisinden tankta 2 mg/L olacak şekilde dozlama miktarı hesaplanır.
- $t=0$ anında boya dozlanıp zaman başlatılır. Zaman içerisinde boyanın tank eni ve boyunca akım özellikleri gözlenerek kaydedilir.
- Boya çıkışa geldiği andan itibaren yaklaşık 1.5 * teorik bekleme süresi kadar bir sürede değişik zamanlarda çıkış suyu numunesi alınır.
- Son numuneden sonra tank iyice karıştırılır ve ortalama bakiye boya konsantrasyonunu belirlemek için bir numune daha alınır.
- Bütün numunelerin nm dalga boyunda absorban değerleri okunur.
- Aynı işlemler tank girişine perde konularak tekrarlanır.

Sonuçlar:

Metilen mavisi kalibrasyon eğrisi: $y = \dots\dots\dots$

A. Perdesiz tank için		B. Perdeli tank için	
t, dk	Çıkıştan alınan numune Abs.....nm	t, dk	Çıkıştan alınan numune Abs.....nm

t : Zaman t_d : teorik bekleme süresi C_0 : teorik ortalama boya kons., mg/L

Bulgular:

A. Perdesiz tank için

t, dk	Çıkıştan alınan numune		t/t_d	C/C_0
	nm'de Abs.	C, mg/L		

t : Zaman t_d : teorik bekleme süresi C_0 : teorik ortalama boya kons., mg/L

B. Perdeli tank için

t, dk	Çıkıştan alınan numune		t/t_d	C/C_0
	nm'de Abs.	C, mg/L		

t : Zaman t_d : teorik bekleme süresi C_0 : teorik ortalama boya kons., mg/L

Hesaplamalar ve Değerlendirme:

A. Perdesiz tank için

- En kesit ve boy kesitteki boya dağılımı şekli çizilir ve açıklanır.
- Giriş bölgesi ve çökeltme bölgesi hacimleri ve teorik bekleme süreleri hesaplanır.
- $t - C$ grafiği çizilir ve gözlemlene süresince tanktan ayrılmış olan toplam boya miktarı hesaplanır.
- Boya için kütle dengesi oluşturulur. Tanka başlangıçta dozlanan teorik değerle sonuçta bulunan toplam ortalama boya değeri kıyaslanır ve tartışılır.
- $t/t_d - C/C_0$ grafiği oluşturulur, başlangıç, mod, medyan ve ortalama t/t_d değerleri belirlenir.
- Tank için dispersiyon sayısı hesaplanır ve bulunan değer ile reaktördeki akım türünü yorumlanır.

B. Perdeli tank için

- En kesit ve boy kesitteki boya dağılımı şekli çizilir ve açıklanır.
- $t - C$ grafiği çizilir ve gözlemlene süresince tanktan ayrılmış olan toplam boya miktarı hesaplanır.
- $t/t_d - C/C_0$ grafiği oluşturulur, başlangıç, mod, medyan ve ortalama t/t_d değerleri belirlenir.
- Tank için dispersiyon sayısı hesaplanır ve bulunan değer ile reaktördeki akım türünü yorumlanır.
- Perdeli ve perdesiz tanklar için elde edilen sonuçlar kıyaslanır tartışılır.

DENEY 2. 3.Tür Çökeltme

Amaç: :

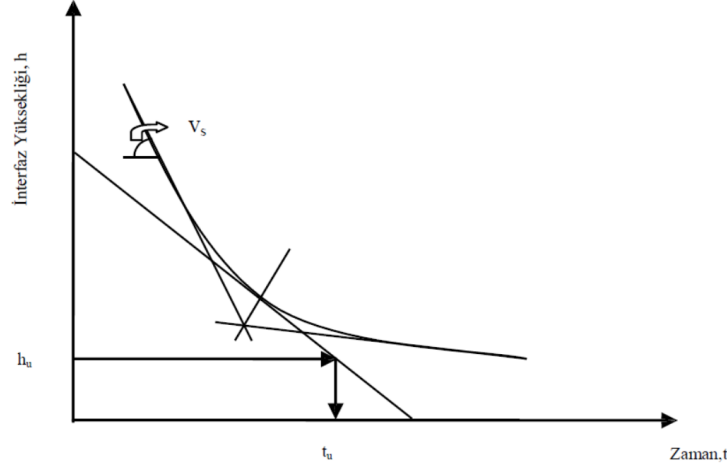
3. Tür çökeltmenin gerçekleştiği bir kolondaki çökeltme özelliklerini belirlemek ve tasarım bilgilerini elde etmek.

Genel:

Üçüncü tür çökeltme verilerinin analizinde interfaz yüksekliği-zaman grafiği çizildikten sonra aşağıdaki aşamalar takip edilir:

- Eğrideki başlangıç lineer kısmının eğimi v_s değerini verir.
- Yine grafikten iki lineer eğrinin uzantıları alınarak kesiştirilir ve oluşan geniş açının açılırtayı çizilir.
- Açılırtay ve grafikteki lineer olmayan kısmın kesiştiği noktadan eğriye teğet geçirilir.
- Dip çamur yüksekliği, h_u değeri hesaplanarak teğet ile kesiştiği noktadan teorik bekleme süresi (t_u) belirlenir. Bu, istenilen çamur çıkış konsantrasyonuna ulaşmak için geçen süredir.

Çökeltme eğrisi üzerinde yapılan bu hesaplamalar Şekil'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Çökeltme eğrisi üzerinde v_s ve t_u değerlerinin belirlenmesi.

Bulunan v_s değerine göre aşağıdaki formüller yardımıyla çamur yoğunlaştırma ve durultma için gerekli tank yüzey alanları hesaplanır.

Çamur yoğunlaştırma için gerekli alan;

$$A_T = 1.5 \cdot Q_T \frac{t_u}{h_0}$$

Q_T :Toplam debi (Q+R),

1.5 :Emniyet faktörü.

Durultma için gerekli alan;

$$A_C = 2.0 \cdot \frac{Q}{v_s}$$

3.Tür çökeltme tankı boyutlandırılırken hesaplanan A_T ve A_C kıyaslaması yapılarak büyük alan seçilir.

Katı Akımı:

Birim plan alanında katı yoğunlaştırma düzeyi olarak tanımlanır ve kütle/ alan.zaman birimiyle ifade edilir.

Katı akım analizi için önce değişik konsantrasyonlar için çökeltme eğrileri oluşturulur. Bunlardan v_s değerleri hesaplanır. Aşağıdaki aşamalar takip edilerek analiz tamamlanır.

- Hıza karşılık konsantrasyon v_s -C ve katı akımına karşılık konsantrasyon G_s -C eğrileri çizilir.

$$G_s = C_i \cdot v_{si} \text{ formülünden katı akımları hesaplanır.}$$

G_s :Yerçekimi etkisiyle katı akımı,
 C_i :Katı madde konsantrasyonu,
 v_{si} : C_i konsantrasyonunda çökme hızı.

- Katıların dipten alınan çamur-su karışımının hareketine bağlı olarak aşağıya doğru bir sürüklenme hareketi de oluşur. İyice yoğunlaşmış çamurun hareketine bağlı olarak gerçekleşen bu olay da belli bir katı akımına sebep olur (bulk debi-yoğun çamur debisi).

$$G_b = C_i \cdot v_b$$

G_b :Bulk akım,
 v_b :Bulk çökme hızı.

- Buna göre yerçekimi kuvvetiyle çökme ve bulk hareketten dolayı oluşan sistemdeki toplam katı akımı:

$$G_T = G_s + G_b = C_i \cdot v_{si} + C_i \cdot v_b$$

$$v_b = \frac{Q_u}{A}$$

Q_u :Dip çamur debisi,
 A :Plan alanı.

- Katılar için kütle dengesi

$$M_t = Q_o \cdot C_o = Q_u \cdot C_u$$

C_o :Giriş SS konsantrasyonu,
 Q_o :Tank giriş debisi,
 M_t :Birim zamanda çöken katı ağırlığı.

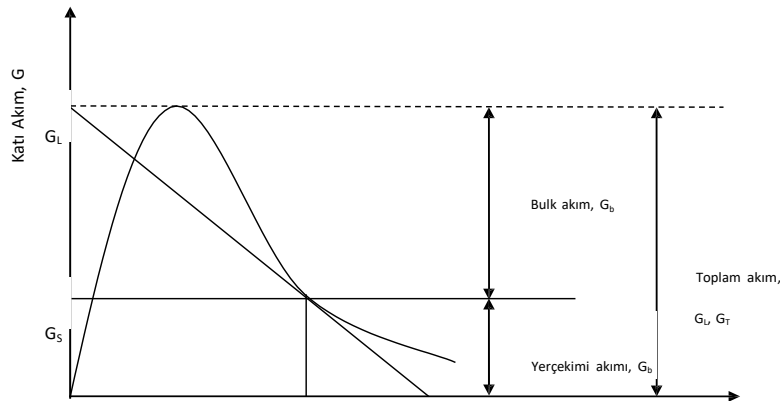
- Kesit alan

$$A = \frac{M_t}{G_L} = \frac{Q_o C_o}{G_L} \quad G_L: \text{Sınırlayıcı akım}$$

- $Q_u = \frac{M_t}{C_u}$ elde edilir, diğer eşitlikte yerine konular ve kombine edilirse,

$$V_b = \frac{Q_u}{A} = \frac{M_t}{A \cdot C_u} = \frac{G_L}{C_u}$$

Yapılan bu hesaplamalardan sonra Şekilde görülen konsantrasyona karşılık katı akım grafiği çizilir. Bu grafikte C_u seçilir ve eğriye tanjant çizilerek G_L bulunur. Daha sonra tanjant eğimi hesaplanır. Hesaplanan bu eğim v_b değerini vermektedir.



Şekil 3.2. Tipik katı akım eğrisi.

Malzemeler:

- Üzeri ölçekli cam silindir kolonlar
- Kronometre
- Katı madde içeren su numunesi

Yöntem:

- Değişik miktarlarda katı madde içeren su kolonlara boşaltılır ve $t=0$ anında çökmeye bırakılır.
- Değişik zamanlarda kolonlardaki interfazın yüksekliği okunur.
- En az $t=60$ dakikaya kadar veri toplanır.

Sonuçlar:

t, dk	İnterfaz Yüksekliği, cm				
	1.kolon Co = mg/L	2.kolon Co = mg/L	3.kolon Co = mg/L	4.kolon Co = mg/L	5.kolon Co = mg/L

Hesaplamalar ve Değerlendirme:

- Veriler kullanılarak herbir kolon için interfaz yüksekliği-zaman grafiği oluşturulur
- Çökme hızları (v_s) hesaplanır ve grafikten teorik t_u değeri bulunur.
- Debinin (..... L/s) kullanılarak gereken yoğunlaştırma ve durultma alanları hesaplanır, Tank tasarımında bu alanlardan hangisinin kullanılacağı seçilir.
- Katı akım analizi yaparak mg/L dip çamur konsantrasyonuna erişmek için gereken zaman ve v_b değerleri hesaplanır.

DENEY 3. Filtre Malzemesi Karakteristiği ve Süzülebilirlik

Amaç:

Filtrasyonda kullanılan malzemenin özelliklerini belirleyici testleri uygulamak ve süzülme işleminde malzemenin etkinliğini belirlemek.

Genel:

Filtrasyon verimini etkileyebilecek filtre yatağı özellikleri:

- Filtre granüllerinin şekil ve büyüklüğü
- Yatak porozitesi
- Parçacık büyüklüğüne göre filtredeki yerleşim (büyükten küçüğe vs)
- Yatak derinliği
- Yatak boyunca yük kaybı

Gözenekli ortam kum, çakıl, antrasit kömür, perlit, granül aktif karbon veya bunların kombinasyonu şeklinde olabilir

Filtrasyonla parçacık giderimi bazı mekanizmalar yardımıyla olur. Bu mekanizmalar:

- Suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine
- Filtre malzemesinin özelliklerine

bağlı olarak baskınlık gösterirler.

Filtre malzemelerini sınıflandırmanın amacı, malzemelerin genel özelliklerini bilecek şekilde gruplandırmaktır. Sınıflandırma sistemlerinin hepsinde tanelerin büyüklüğü ile bunların kuru ağırlık olarak yüzdelerinin bilinmesi gerekir. Bu bilgilerin elde edilmesi için yapılan analizlerden biri de elek analizidir.

Elek analizi için farklı gözenek büyüklüğünde elekler kullanılır. Elekler genellikle kare gözlüdür ve her eleğin bir adı vardır. İri gözlü elekler inch olarak adlandırılırken, ince gözlü elekler bir sayı (rakam) ile adlandırılır. Elekte bir kare gözün kenar uzunluğuna elek göz çapı veya elek çapı denilir ve bu tane çapına karşılık gelir.

Elek analizi için bir miktar malzeme alınır, etüvde kurutulur ve tanelenir. Böylece hazırlanmış malzemeden bir miktar tartılır. Elek dizisinde elekler üstten aşağıya iri gözlüden ince gözlüye doğru sıralanır. Ağırlığı belli malzeme dizinin en üstündeki eleğe boşaltılır. Eleme elle veya genellikle sarsma makinası ile yapılır. Eleme sonunda her elek üstünde kalan miktarlar tartılarak her elek için geçen taneciklerin ağırlık yüzdesi (% P) hesaplanır.

$$\%P = \frac{\text{Elekten geçen miktar}}{\text{Elemeye tabi tutulan toplam miktar}}$$

Malzemeler:

- Standart Elekler
- Terazî
- Piknometre (50 ml)
- Filtrasyon kolon düzeneği
- Spektrofotometre
- Bulanık su numunesi

Yöntem:

Deney 3 kısımdan oluşmaktadır. Malzeme özelliklerinden tane boyutu ve yoğunluğun bulunması testleri ile süzülebilirliğin tesbiti olarak belirlenen bu kısımlarda uygulanacak yöntem aşağıda açıklanmaktadır.

Elek Analizi

- Farklı boyutta taneciklerden oluşan kurutulmuş kumdan tartılır ve tartım tam değeri kaydedilir : g
- Kum numunesine uygun boyuttaki elekler üst üste kalından inceye doğru sıralanır.
- En üstten kum dökülerek 5 dakika süreyle elenir.
- Herbir elek üzerinde kalan kum terazide tartılır.

Parçacık Yoğunluğu

- Önceden 1 saat kurutulmuş 50 ml piknometre tartılarak kuru ağırlığı belirlenir (M1).
- Bilinen sıcaklıkta saf su ile hava kabarcığı kalmayacak şekilde doldurup tartılır (M2).
- Su boşaltılıp piknometre 105°C’de kurutulduktan sonra kuru kum numunesiyle doldurulur ve tartılır (M3).
- Kumla dolu piknometrenin üzeri tamamen su ile doldurulup tartılır (M4).
- Parçacık yoğunluğu aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\frac{M3 - M1}{\rho} - \frac{(M2 - M1) - (M4 - M3)}{\rho}$$

Süzülebilirlik

- mm boyutlu malzemeden g tartılarak filtrasyon düzeneğinin kolonuna doldurulur.
- NTU bulanıklıktaki su yukarıdan beslenerek süzme işlemi başlatılır.
- Çıkıştan alınan numunelerde kalan bulanıklık spektrofotometrede nm dalga boyunda okunan absorbans yardımıyla belirlenir.

Sonuçlar:

Elek Analizi

Elek Boyut Aralığı	Kalan Kum Ağırlığı, g

Elek Boyut Aralığı	Kalan Kum Ağırlığı, g	Kalan Kum Yüzdesi, X	Geçen Kum Yüzdesi	Etkin Parçacık Boyutu, mm	Re	C _D	C _D .X/d

Parçacık Yoğunluğu

M1 =g M3 =g M2 =g M4 =g

Süzülebilirlik

Filtre malzemesi tane boyutu = mm
Filtre yatağı derinliği = cm
Filtre yatağı çapı = cm
Giriş bulanıklık = NTU Çıkış bulanıklık = NTU

Hesaplamalar ve Değerlendirme:

Elek Analizi

Parçacık boyutuna karşılık geçen kum yüzdesi grafiği çizilir. Grafikten d₆₀ ve d₁₀ değerleri okunur, uniformluk katsayısı hesaplanır (uniformluk katsayısı = d₆₀/d₁₀).

Parçacık yoğunluğu bilgisinin nerede, nasıl kullanılacağı açıklanır.

Süzülebilirlik

- Filtrenin verimi hesaplanır.
- Elek analizi ve parçacık yoğunluğu ölçümü sonuçlarından yararlanarak bu filtre yatağında gerçekleştirilen filtrasyon hızı (L/m².dk) ve yük kaybı hesaplanır.
- Sonuçlara göre bu kumun arıtımda filtre malzemesi olarak kullanılabilirliği yorumlanır .

DENEY 4. Aktiflenmiş Karbon Adsorpsiyonu - İzoterm Deneyi

Amaç:

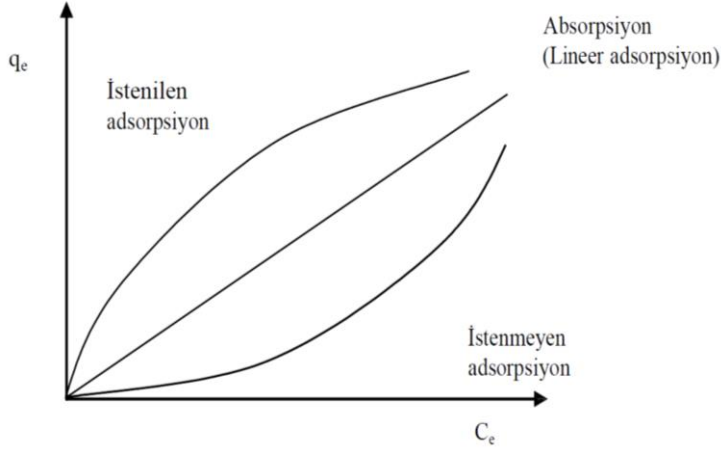
Toz aktif karbon (AC) kullanarak, değişik miktarlardaki karbonun sudaki bir maddeyi adsorplayabilme özelliklerini bulmak ve izotermi oluşturmak.

Genel:

Adsorban madde-sıvı ilişkisi

Dengede:

Adsorban üzerine adsorplanan miktar = sıvıdan ayrılan miktardır. Yani:



$$q \cdot M = (C_0 - C_e) \cdot V$$

$$q = \frac{\text{Adsorplanan kütle}}{\text{Adsorban kütlesi}} = \frac{X}{M}$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{M}$$

C_0 : Başlangıç adsorplanan kons., mg/L

C_e : Dengede adsorplanan kons., mg/L

V : Sıvı hacmi, L

M : AC Kütlesi, g

Deneysel olarak aynı koşullarda M (C_0 veya V) değiştirilerek tekrarlanan deneylerle farklı q değerleri hesaplanır. Farklı M 'ler kullanmak daha doğrudur (V ve C_0 sabit olacak şekilde). Her bir M için adsorpsiyon dengesine ulaşıldığında C_e konsantrasyonları ölçülür. C_e adsorpsiyon sonrasında sıvıda kalan miktardır. C_e ölçümü için numune adsorbandan tamamen ayrılır.

$q - C_e$ grafiği kesikli reaktörde adsorpsiyonda neler olduğunu anlatmaktadır. Dengede izoterm eğrisi üzerindeki bir noktayla sistemde herhangi bir C_0 değerini birleştiren doğru sayesinde aynı adsorban için hedeflenecek bir C_e değerini sağlayacak hacim (V) ya da adsorban kütlesini (M) belirlemek mümkündür.

İzoterm, ilgili eşitlikteki sabit parametre sayısına bağlı olarak 2 parametrelili, 3 veya daha fazla parametrelili izoterm olarak gruplanabilmektedir. En eski ve an yaygın kullanılan 2 parametrelili izoterm eşitliklerinden üç tanesi:

- Freundlich izotermi
- Langmuir izotermi

Freundlich İzotermi

- Yüzeyin kaplanması bir monomoleküler tabaka şeklinde maksimum bir değere ulaşmak zorunda değildir. q değeri C_e arttıkça artabilmektedir. Bu fiziksel olarak imkansız görünmekle birlikte, Freundlich denkleğinin çok yüksek konsantrasyonlar için uygulanabilir olmadığını gösterir. Ama zaten özellikle arıtıma yönelik sistemler yeterince seyreltik olduğu için böyle bir sorun yaşanmaz.
- Yüzeydeki adsorpsiyon sitelerinde enerji dağılımı Langmuir kabulündeki gibi üniform değildir. Exponansiyel yani logaritmik olduğu kabul edilir. Buna göre bazı siteler adsorpsiyonu daha kuvvetli bağlarla gerçekleştirirken bazıları daha zayıftır.

Bu kabuller sonrası izoterm denklemi:

$$q = K \cdot C_e^{1/n}$$

K : Adsorplanabilecek maksimum miktar,

n : Adsorplama sitelerindeki exponansiyel enerji dağılımının düzeyi.

Freundlich izoterminin doğrusallaştırılması ve lineer regrasyon uygulanması ile sabitlerin hesaplanması mümkündür.

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C_e$$

Langmuir İzotermi

- Adsorpsiyon yüzey üzerinde belirli “site”lerde gerçekleşir.
- Her bir site sadece bir molekülü bağlayabilir.
- Adsorpsiyon enerjisi (yüzey ve adsorplanan molekül arasında oluşturulan bağın kuvvetliliği) bütün sitelerde eşittir.
- Yan yana adsorplanan moleküller arasında bir interaksiyon kuvveti yoktur.
- Denge konumuna ulaşmak mümkündür.
- Adsorpsiyon geri döndürülebilir niteliktedir (Desorpsiyon).

$$q = \frac{b \cdot q_m \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e}$$

q_m :Tek moleküllü (monomoleküler) adsorpsiyonun tüm yüzeyde gerçekleşmiş olması durumunda adsorplanan madde miktarı

b :Adsorpsiyon enerjisiyle ilgili sabit

Bu denklemin doğrusal hali: $\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b \cdot q_m} + \frac{1}{q_m} C_e$

Malzemeler:

- Erlenler
- Karıştırma etüv
- Spektrofotometre
- Metilen mavisi çözeltisi ve aktif karbon.

Yöntem:

- Spektrofotometrede nm dalga boyunda metilen mavisi çözeltisinin ilk konsantrasyonu belirlenir.
- 8 tane erlene metilen mavisi çözeltisi doldurulur.
- Herbirine değişen miktarlarda AC eklenir.
- Erlenler karıştırma etüve yerleştirilerek rpm hızla karışmaları sağlanır.
- dk sonra (reaktörlerde sistemin dengeye ulaştığı kabul edilen süre sonunda) erlenler çalkalayıcıdan alınır.
- Karbon çöktürüldükten sonra erlenlerin üstsuyundan numune alınarak spektrofotometrede absorbans okunur ve son konsantrasyon belirlenir.

Sonuçlar:

Metilen mavisi çözeltisinm kalibrasyon eğrisi : $y = \dots\dots\dots$

Çözelti ilk konsantrasyonu =mg/L

Erlen No	Başlangıçtaki AC miktarı, g	Sonuç absorbans
1		
2		
•		
•		

Bulgular:

Metilen mavisi çözeltisinm kalibrasyon eğrisi : $y = \dots\dots\dots$

Çözelti ilk konsantrasyonu =mg/L

Erlen No	Başlangıçtaki AC miktarı, g	Sonuç absorbans	Sonuç boya kons., mg/L

Hesaplamalar ve Değerlendirme:

- Elde edilen verilere göre herbir erlen için q_e değeri hesaplanır. İzoterm eğrisi oluşturulur (C_e - q_e eğrisi).
- Eğriden maksimum karbon kapasitesi belirlenir.
- Freundlich ve Langmuir izotermilerinin grafikleri çizilir ve izoterm sabitleri hesaplanır.
- Bu deneydeki arıtım için hangi izotermi daha uygun olduğuna karar verilir, sebepleriyle birlikte açıklanır.
- Uygun izoterme göre maksimum karbon kapasitesi hesaplanır ve yukarıda grafikten bulunan kapasite ile kıyaslanır.

DENEY 5. Reaktör Uygulamaları

Amaç:

Tam karışımli kesikli reaktörlerde ve sürekli akımlı tam karışımli reaktörlerde (CSTR) reaktör içindeki madde dağılımını ve sistem kinetiğini belirleme.

Genel:

Reaksiyon kinetiği: Reaksiyon düzeyi (hızı) ile ilgili bilgileri kapsar. Reaksiyon hızı birçok parametreden etkilenir. Bunları başında ise reaktif maddenin konsantrasyonu yer alır.

Reaksiyon derecesi: Bir reaktif maddenin miktarında birim zamanda ve birim hacimde meydana gelen değişiklidir.

Genel olarak
$$r = -\frac{dC}{dt} = \pm k \cdot C^n$$

Bu eşitliği türevden kurtarmak ve doğrusallaştırmak için bilinen iki koşul:

$$t = 0 \Rightarrow C = C_0$$

$$t = t \Rightarrow C = C$$

Bu koşullar integralde yerine konup çözümler ve deneysel veri kullanılarak reaksiyon hız sabitleri bulunur.

Sıfırıncı dereceden reaksiyonlar: $r = -\frac{dC}{dt} = k_0 \rightarrow$ konsantrasyondan bağımsız, $n = 0$

$$C - C_0 = -kt$$

Birinci dereceden reaksiyonlar: $r = -\frac{dC}{dt} = k \cdot C \rightarrow$ konsantrasyona bağımlı, $n = 1$

$$\ln \frac{C}{C_0} = -kt$$

İkinci dereceden reaksiyonlar: $r = -\frac{dC}{dt} = kC^2 \rightarrow$ konsantrasyona bağımlı, $n = 2$

$$\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} = k \cdot t$$

Hangi dereceye ait grafikte korelasyon katsayısı olan R^2 daha büyük ve 1'e yakın çıkarsa reaksiyon o derecedendir anlamına gelir. Bu derece bulunduğundan sonra ilgili grafik ve regresyon denkleminde yararlanarak reaksiyon sabitleri hesaplanır. Bu sabitler doğrusal eşitlikte yerine konduğunda elde edilen formül sistemin "kinetik modeli"dir.

Genel formunda kütle dengesi formülü:

$$\text{Birikim} = \text{Sisteme giren} - \text{Sistemden çıkan} + \text{Kullanılan} + \text{Üretilen}$$

$$V \frac{dC}{dt} = Q \cdot C_0 - Q \cdot C + V \cdot r_u + V \cdot r_g$$

Tam karışımli kesikli reaktörler:

Bu reaktörlerde C konsantrasyonunun zamana göre değişimi sadece reaksiyonla olur.

$$V \frac{dC}{dt} = V \pm k \cdot C$$

Sürekli Akımlı Tam Karışımli Tank Reaktörler (CSTR)

$$\text{Birikim} = \text{Sisteme giren} - \text{Sistemden çıkan} + \text{Reaksiyon}$$

$$V \frac{dC}{dt} = Q \cdot C_0 - Q \cdot C + V \cdot r$$

Sistemde 1. dereceden reaksiyon varsa:

$$V \frac{dC}{dt} = Q \cdot C_0 - Q \cdot C + V(-kC)$$

Malzemeler:

- Magnetik karıştırıcı
- Musluklu Schott şişesi (reaktör olarak)
- Spektrofotometre
- Büret, erlen, pipetler
- Peristaltik pompa ve düzeneği

Reaktifler:

- **Stok metilen mavisi çözeltisi:** g/L
- **Stok sodyum hidroksit çözeltisi** N
- **Standart sülfürik asit çözeltisi (0.02 N):** 500 mL saf suya 1 mL konsantre H₂SO₄ eklenir ve 1 L'ye tamamlanır.
- **Askorbik asit çözeltisi:** 0.1 g askorbik asit saf suda çözülür ve saf su ile 100 mL'ye seyreltilir.
- **Tampon çözelti:** 136 g sodyum asetat (NaC₂H₃O₂·3H₂O) saf suda çözülür. 40 mL 1 N asetik asit ilave edilerek 1 L'ye saf su ile tamamlanır.
- **Stok boya çözeltisi (Eriochrome Cyanine R):** 150 mg boya yaklaşık 50 mL saf suda çözülür. 1+1 asetik asitle (yaklaşık 2'şer mL kullanılarak) pH 2.9'a ayarlanarak saf su ile 100 mL'ye tamamlanır.
- **Standart boya çözeltisi:** Seçilen stok çözeltiden 10 mL alınır ve saf su ile 100 mL'ye seyreltilir.

Yöntem:

A) Tam Karışım Kesikli Reaktör, Reaksiyonsuz

- Reaktöre mL su doldurulup karışım başlatılır.
- Konsantrasyonug/L olan stok metilen mavisi çözeltisinden 10 mL alınıp karışmakta olan suya bırakılır.
- t=0 anında (10 mL'nin tamamı bittiğinde) reaktörden 3 mL numune alınıp spektrofotometrede 652 nm dalga boyunda absorbans (abs) değeri okunur.
- dk sonra tekrar 3 mL numune alınıp abs belirlenir.

B) Tam Karışım Kesikli Reaktör, Reaksiyonlu

- Reaktöre mL su doldurulup karışım başlatılır.
- Doldurulan suyun alüminyum değeri aşağıda belirtilen yöntemle ölçülür.
- KonsantrasyonuN olan stok NaOH çözeltisinden mL alınıp karışmakta olan suya bırakılır.
- t=0 anında (çözeltinin tamamı dozlandığında) reaktörden 5 mL numune alınıp alüminyum analizi yapılır.
- Değişen zaman aralıklarında (1., 3., 5., 10., 15. dk gibi) numuneler alınarak analizler tekrarlanır.

C) Sürekli Akımlı Tam Karışım Reaktör, Reaksiyonlu

- Reaktöre mL su doldurulup tam karışım başlatılır.
- Pompa çalıştırılarak suyun sürekli akar hale gelmesi sağlanır (Q = mL/dk).
- Su haznesine doldurulan suyun içerdiği alüminyum miktarı ölçülür.
- KonsantrasyonuN olan stok NaOH çözeltisi bürete doldurularak reaktörün üzerine hizalanarak damla damla dozlanmaya başlanır
- t=0 anında (ilk dozlamadan başladığı anda) reaktörün çıkışından 5 mL numune alınıp alüminyum analizi yapılır.
- Değişen zaman aralıklarında (1., 3., 5., 10., 15., 20. dk gibi) çıkıştan numuneler alınarak alüminyum analizleri tekrarlanır.

Alüminyum Analizi (Eriochrome Cyanine R Metodu):

- 25 mL numuneye 1 mL 0.02 N H₂SO₄ eklenir.
- 1 mL askorbik asit eklenir.
- 10 mL tampon çözelti eklenir.
- 5 mL standart boya çözeltisi eklenir ve karıştırılır.
- Vakit geçirilmeden saf su ile 50 mL'ye tamamlanır.
- 5-10 dk. bekletildikten sonra spektrofotometrede 535 nm dalga boyunda absorbans değerleri belirlenir.

Sonuçlar:

Metilen mavisi kalibrasyon denklemi : $y = 0.175 x$

Alüminyum kalibrasyon denklemi : $y = 0.0014 x$

A) Tam Karışımli Kesikli Reaktör, Reaksiyonsuz		B) Tam Karışımli Kesikli Reaktör, Reaksiyonlu		C) Sürekli Akımlı Tam Karışımli Reaktör, Reaksiyonlu	
t, dk	Abs, 652 nm	t, dk	Abs, 535 nm	t, dk	Abs, 535 nm

Bulgular:

A Tam Karışımli Kesikli Reaktör, Reaksiyonsuz			B Tam Karışımli Kesikli Reaktör Reaksiyonlu			C Sürekli Akımlı Tam Karışımli Reaktör, Reaksiyonlu		
t, dk	Abs, 652 nm	Kons., mg/L	t, dk	Abs, 535 nm	Kons., mg/L	t, dk	Abs, 535 nm	Kons., mg/L

Hesaplamalar ve Değerlendirme:

A)

- Teorik olarak 10 mL Stok çözelti eklenince metilen mavisi konsantrasyonunun ne olacağı hesaplanır
- Deneyde bulunan ile teorik hesaplanan değer kıyaslanır, farklı değerler bulunmuşsa bunun sebepleri tartışılır

B)

- Veriler ile konsantrasyon-zaman grafiği oluşturulur ve yorumlanır.
- Sıfırıncı, birinci ve ikinci dereceden reaksiyon kabulleriyle k değerleri hesaplanır. Bu reaksiyonun gerçekte kaçınıcı dereceden olabileceği gerekçesiyle birlikte belirtilir.
- Verilerden yararlanarak kesikli reaktör için kütle dengesi oluşturulur.

C)

- Veriler ile konsantrasyon-zaman grafiği oluşturulur ve yorumlanır.
- 1. dereceden ve 2. dereceden reaksiyon kabulüyle CSTR için kütle dengeleri oluşturulur.
- Bulunan sonuçlar yorumlanır, eklenen kimyasalın etkilerini tartışılır.

DENEY 5. Reaktör Uygulamaları**Amaç:**

Tam karışımli kesikli reaktörlerde ve sürekli akımlı tam karışımli reaktörlerde (CSTR) reaktör içindeki madde dağılımını ve sistem kinetiğini belirleme.

Genel:

Reaksiyon kinetiği: Reaksiyon düzeyi (hızı) ile ilgili bilgileri kapsar. Reaksiyon hızı birçok parametreden etkilenir. Bunların başında ise reaktif maddenin konsantrasyonu yer alır.

Reaksiyon derecesi: Bir reaktif maddenin miktarında birim zamanda ve birim hacimde meydana gelen değişikliktir.

Genel olarak:
$$r = \frac{dC}{dt} = \pm k.C^n$$

Bu eşitliği türevden kurtarmak ve doğrusallaştırmak için bilinen iki koşul:

$$t = 0 \Rightarrow C = C_0 \quad t = t \Rightarrow C = C$$

Bu koşullar integralde yerine konup çözülür, $y=aX+b$ formunda eşitlik elde edilir ve deneysel veri kullanılarak reaksiyon hız sabitleri bulunur.

Sıfırıncı dereceden reaksiyonlar: $r = \pm \frac{dC}{dt} = k_0 \rightarrow$ konsantrasyondan bağımsız, $n = 0$

$$C = C_0 \pm kt$$

Birinci dereceden reaksiyonlar: $r = \pm \frac{dC}{dt} = k.C \rightarrow$ konsantrasyona bağımlı, $n = 1$

$$\ln C = \ln C_0 \pm k.t$$

İkinci dereceden reaksiyonlar: $r = \pm \frac{dC}{dt} = k.C^2 \rightarrow$ konsantrasyona fazla bağımlı, $n = 2$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} \mp k.t$$

Hangi dereceye ait grafikte korelasyon katsayısı olan R^2 daha büyük ve 1'e yakın çıkarsa reaksiyon o derecedendir anlamına gelir. Derece bulunduktan sonra ilgili grafik ve regresyon denkleminde yararlanarak reaksiyon sabitleri hesaplanır. Bu sabitler doğrusal eşitlikte yerine konduğunda elde edilen formül sistemin "kinetik modeli"dir.

Genel formundaki denge formülü:

Birikim = Sisteme giren – Sistemden çıkan + Kullanılan / Üretilen

$$V \frac{dC}{dt} = Q.C_0 - Q.C + V.r_u + V.r_g$$

Tam Karışımli Kesikli Reaktörler

$$\frac{dC}{dt}.V = Q.C_0 - Q.C \pm r_c.V$$

Bu reaktörlerde C konsantrasyonunun zamana göre değişimi sadece reaksiyonla olur.

$$V \frac{dC}{dt} = \pm V * (k.C)$$

Sürekli Akımlı Tam Karışımli Tank Reaktörler (CSTR)

Birikim = Sisteme giren – Sistemden çıkan + Reaksiyon

Sistemde 1. dereceden reaksiyon varsa: $V \frac{dC}{dt} = Q.C_0 - Q.C + V(-k.C)$

$$C = \frac{C_0}{1 + k(V/Q)}$$

Malzemeler:

- Magnetik karıştırıcı
- Musluklu Schott şişesi (reaktör olarak)
- Spektrofotometre
- Büret, erlen, pipetler
- Peristaltik pompa ve düzeneği

Reaktifler:

- **Stok metilen mavisi çözeltisi:** g/L
- **Stok sodyum hidroksit çözeltisi** N
- **Standart sülfürik asit çözeltisi (0.02 N):** 500 mL saf suya 1 mL konsantre H₂SO₄ eklenir ve 1 L'ye tamamlanır.
- **Askorbik asit çözeltisi:** 0.1 g askorbik asit saf suda çözülür ve saf su ile 100 mL'ye seyreltilir.
- **Tampon çözelti:** 136 g sodyum asetat (NaC₂H₃O₂·3H₂O) saf suda çözülür. 40 mL 1 N asetik asit ilave edilerek 1 L'ye saf su ile tamamlanır.
- **Stok boya çözeltisi (Eriochrome Cyanine R):** 150 mg boya yaklaşık 50 mL saf suda çözülür. 1+1 asetik asitle (yaklaşık 2'şer mL kullanılarak) pH 2.9'a ayarlanarak saf su ile 100 mL'ye tamamlanır.
- **Standart boya çözeltisi:** Seçilen stok çözeltiden 10 mL alınır ve saf su ile 100 mL'ye seyreltilir.

Yöntem:**A) Tam Karışımli Kesikli Reaktör, Reaksiyonsuz**

- Reaktöre mL su doldurulup karışım başlatılır.
- Konsantrasyonug/L olan stok metilen mavisi çözeltisinden 10 mL alınıp karışmakta olan suya bırakılır.
- t=0 anında (10 mL'nin tamamı bittiğinde) reaktörden 3 mL numune alınıp spektrofotometrede 652 nm dalga boyunda absorbans (abs) değeri okunur.
- dk sonra tekrar 3 mL numune alınıp abs belirlenir.

B) Tam Karışımli Kesikli Reaktör, Reaksiyonlu

- Reaktöre mL su doldurulup karışım başlatılır.
- Doldurulan suyun alüminyum değeri aşağıda belirtilen yöntemle ölçülür.
- KonsantrasyonuN olan stok NaOH çözeltisinden mL alınıp karışmakta olan suya bırakılır.
- t=0 anında (çözeltinin tamamı dozlandığında) reaktörden 5 mL numune alınıp alüminyum analizi yapılır.
- Değişen zaman aralıklarında (1., 3., 5., 10., 15. dk gibi) numuneler alınarak analizler tekrarlanır.

C) Sürekli Akımlı Tam Karışımli Reaktör, Reaksiyonlu

- Reaktöre mL su doldurulup tam karışım başlatılır.
- Pompa çalıştırılarak suyun sürekli akar hale gelmesi sağlanır (Q = mL/dk).
- Su haznesine doldurulan suyun içerdiği alüminyum miktarı ölçülür.
- KonsantrasyonuN olan stok NaOH çözeltisi bürete doldurularak reaktörün üzerine hizalanarak damla damla dozlanmaya başlanır
- t=0 anında (ilk dozlamanın başladığı anda) reaktörün çıkışından 5 mL numune alınıp alüminyum analizi yapılır.
- Değişen zaman aralıklarında (1., 3., 5., 10., 15., 20. dk gibi) çıkıştan numuneler alınarak alüminyum analizleri tekrarlanır.

Alüminyum Analizi (Eriochrome Cyanine R Metodu):

- 25 mL numuneye 1 mL 0.02 N H₂SO₄ eklenir.
- 1 mL askorbik asit eklenir.
- 10 mL tampon çözelti eklenir.
- 5 mL standart boya çözeltisi eklenir ve karıştırılır.
- Vakit geçirilmeden saf su ile 50 mL'ye tamamlanır.
- 5-10 dk. bekletildikten sonra spektrofotometrede 535 nm dalga boyunda absorbans değerleri belirlenir.

Sonuçlar:

Metilen mavisi kalibrasyon denklemi : $y = 0.175 x$

Alüminyum kalibrasyon denklemi : $y = 0.0014 x$

A) Tam Karışımli Kesikli Reaktör, Reaksiyonsuz		B) Tam Karışımli Kesikli Reaktör, Reaksiyonlu		C) Sürekli Akımlı Tam Karışımli Reaktör, Reaksiyonlu	
t, dk	Abs, 652 nm	t, dk	Abs, 535 nm	t, dk	Abs, 535 nm

Bulgular:

A Tam Karışımli Kesikli Reaktör, Reaksiyonsuz			B Tam Karışımli Kesikli Reaktör Reaksiyonlu			C Sürekli Akımlı Tam Karışımli Reaktör, Reaksiyonlu		
t, dk	Abs, 652 nm	Kons., mg/L	t, dk	Abs, 535 nm	Kons., mg/L	t, dk	Abs, 535 nm	Kons., mg/L

Hesaplamalar ve Değerlendirme:**A)**

- Teorik olarak 10 mL Stok çözelti eklenince metilen mavisi konsantrasyonunun ne olacağı hesaplanır
- Deneyde bulunan ile teorik hesaplanan değer kıyaslanır, farklı değerler bulunmuşsa bunun sebepleri tartışılır

B)

- Veriler ile konsantrasyon-zaman grafiği oluşturulur ve yorumlanır.
- Sıfırıncı, birinci ve ikinci dereceden reaksiyon kabulleriyle k değerleri hesaplanır. Bu reaksiyonun gerçekte kaçınıcı dereceden olabileceği gerekçesiyle birlikte belirtilir.
- Verilerden yararlanarak kesikli reaktör için kütle dengesi oluşturulur.

C)

- Veriler ile konsantrasyon-zaman grafiği oluşturulur ve yorumlanır.
- 1. dereceden ve 2. dereceden reaksiyon kabulüyle CSTR için kütle dengeleri oluşturulur.
- Bulunan sonuçlar yorumlanır, eklenen kimyasalın etkileri tartışılır.

DENEY 6. Havalandırma ve Fe Oksidasyonu

Amaç:

Model havalandırma tankında havalandırma işleminde sistemin oksijenlendirme kapasitesini ve kütle transfer katsayısını ($K_L a$) belirlemek. Fe (II)'nin havadaki oksijenle ve kimyasal maddeyle oksidasyonunu araştırmak, oksidan maddelerin verimliliğini karşılaştırmak.

Genel:

Arıtımda Havalandırmanın Etkili Olduğu Parametreler

- **Alg büyümesi:** Üstü açık sistemlerde havalandırma yapılırken güneş ışığının etkisiyle alg büyür. Bunlar tad ve koku problemi yapar. Alg kaynaklı tad ve koku havalandırmayla giderilemez.
- **CO₂:** Çözünürlüğü yüksektir. pH'ı düşürür. Bu da sertlik giderimi veya koagülasyon ünitelerinde fazla kimyasal tüketimine sebep olur. CO₂ giderimi ya kireç eklemeye ya da havalandırmayla yapılır. 10 mg/L'den fazla CO₂ için havalandırma, düşük değerlerde kireçle giderim önerilir.
- **H₂S:** Çözünürlüğü yüksektir ve suyla reaksiyona girerek kolayca HS⁻ ve S²⁻ oluşturur. Kötü tad ve kokunun yanı sıra yüksek dozlarda oldukça tehlikelidir. Giderimi CO₂kadar kolay değildir. Diğer taraftan CO₂ giderildikçe pH yükselir, iyonize sülfür formlarının oluşumu artar. Bunlar ise havalandırmayla giderilemez.
- **Fe ve Mn:** Özellikle yüksek CO₂ ve düşük pH'lı sularda Fe ve Mn daha fazla çözünür. Çözünmüş haldeki Fe(II) ve Mn(II) havalandırma ile Fe(III) ve Mn(IV) oksitlere dönüşerek çökelek oluşturur.
- **Organik madde:** Havalandırma ile "oksijen ihtiyacı"nı oluşturan organikler kısmen oksitlenir. Sadece bunların giderimi için havalandırma tasarlanmaz.
- **Tad ve koku:** Bunları oluşturan bileşikler genelde uçucu olduklarından havalandırma ile içilebilir tad ve koku sağlanabilir.
- **Uçucu organikler:** Özellikle yer altı suyunda eser miktarda bulunabilirler ve havalandırmayla sıyrılırlar.

Sistemde oksijen transfer performansı şu eşitlikle takip edilir:

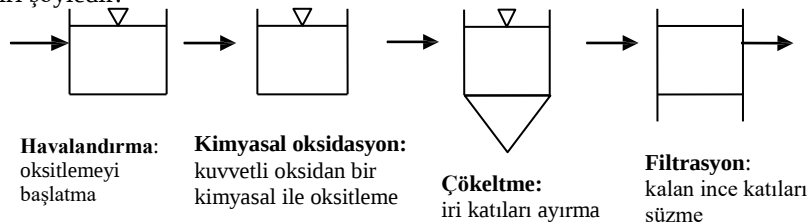
$$\frac{d(m/V)}{dt} = \frac{dC_L}{dt} = K_L a \cdot (C_S - C_L)$$
$$\int_{C_0}^C \frac{dC_L}{C_S - C_L} = K_L a \int_0^t dt$$
$$C = C_S - (C_S - C_0)e^{-K_L a \cdot t} \quad \ln \frac{C_S - C}{C_S - C_0} = K_L a \cdot t$$

$K_L a$: Sistemde kütle transfer hızı katsayısı, 1/zaman. $K_L a$ sudaki kirlilikten, sıcaklıktan ve su derinliğinden etkilenir ve deneysel veriyle bulunabilir. Belli sıcaklıkta doygunluk değeri bulunur. Zamana karşı konsantrasyon verisi toplanır. Zamana karşı eşitlikteki $\ln$ değerlerinin grafiği çizildiğinde, eğim bu değeri verir.

Demir, Fe:

Ağır metaller genellikle atıksularda bulunmakla birlikte bunlardan özellikle Fe ve Mn doğal su kaynaklarında da bulunurlar ve içme suyunda Fe > 0.3 mg/L, Mn > 0.5 mg/L suda istenmeyen sınır değerleridir. Renk, korozyon ve dolaylı olarak tad ve koku problemi çıkarır. Ortamda Fe varlığında demir bakterileri ürerler. Bunlar demiri enerji kaynağı olarak kullanırlar ve bulundukları yüzeylerde tabakalar halinde ürerler.

Fe ve Mn içme suyunda ve tekstil endüstrisi suyunda istenmezler. Yer altı ve yüzey sularında da bulundukları için arıtımı gerekir fakat özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu iki metalin giderimi zor ve pahalıdır. Fe ve Mn giderimi alternatiflerinden biri şöyledir:



Malzemeler:

- Karıştırıcı-havalandırıcı bulunan tank düzeneği
- Erlenler, balon jojeler, mezür
- Spektrofotometre
- Musluk suyu
- ÇO ölçüm malzemeleri (aşağıdakilerden biri kullanılacak):
 - Otomatik ölçülecekse oksijen metre
 - Analitik ölçülecekse : BOİ şişeleri, 250 mL'lik erlenler, Mezürler, pipetler

Reaktifler:**Havalandırma için,**

- %10 Sodyum sülfat (Na_2SO_3) çözeltisi (sıfır oksijen çözeltisi)
- %1 Kobalt klorür ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) çözeltisi

Analitik olarak (Winkler yöntemiyle) ÇO ölçülecekse,

- **Mangan sülfat çözeltisi:** 480 g $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ saf suda çözülür, süzülür ve 1 litreye tamamlanır.
- **Alkali-iyodür-azid**
 - *Doymuş veya az doymuş numuneler için:* 500 g NaOH (veya 700 g KOH) ve 135 g NaI (veya 150 g KI) saf suda çözülür ve 1 litreye tamamlanır. Bu çözeltiye 10 g NaN_3 'ün 40 mL saf suda çözölmüş çözeltisi ilave edilir.
 - *Aşırı doymuş numuneler için:* 10 g NaN_3 , 500 mL saf suda çözülür. 480 g NaOH ve 750 g NaI eklenir ve çözünene kadar karıştırılır.
- **Derişik sülfürik asit çözeltisi**
- **Nişasta çözeltisi:** Sulu çözelti hazırlamak için 2 g. analitik saflıkta çözünabilen nişasta, koruyucu olarak 0.2 g salisilik asit ilave edilerek 100 mL kaynamakta olan suda çözülür. Birkaç dakika kaynatılır. Bir gece bekletilerek üstteki berrak kısım alınır.
- **0.25 N sodyum tiosülfat stok çözeltisi:** 6.205 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ saf suda çözülür. Bu çözeltiye 1.5 mL 6 N NaOH veya 0.4 g katı NaOH ilave edilir ve 1 litreye tamamlanır.

Fe Oksidasyonu için,

- **KMnO₄ oksidasyon çözeltisi**mg/L
- **Hidroksilamin hidroklorür çözeltisi:** 50 g $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ 450 mL saf su içinde çözülür.
- **Fenantrolin çözeltisi:** 0.5 g 1,10-phenanthroline monohidrat, $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 500 ml sıcak saf suda çözülür.
- **Demir (Fe^{2+}) çözeltisi** mg/L

Yöntem:**Sıvıya oksijen kazandırma:**

- Havalandırma ünitesine musluk suyu doldurulur.
- Karıştırıcı orta hızda ayarlanır.
- Doygun suya yaklaşık 1.5 mL/L Sodyum sülfat çözeltisi ve 0.5 mL/L Kobalt klorür çözeltisi eklenerek su tamamen oksijensizleştirilir.
- ÇO < 0.1 C_s olduktan sonra L/dk hızda hava ile havalandırma başlatılır.
- Karıştırıcı hızıyla hava akım dengesi sağlandıktan sonra her 2 dakikada bir ÇO (mg/L) ve sıcaklık (°C) ölçümü yapılır.
- Ölçümler ÇO konsantrasyonu maksimum değerde sabitleninceye kadar sürdürülür.

Fe Kalibrasyon Eğrisinin Hazırlanması

- Stok Fe^{2+} çözeltisinden 100 mL hacimde ve 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 mg/L Fe^{2+} konsantrasyonunda seyreltmeler hazırlanır.
- Hazırlanan her bir numunede Fe^{2+} analizi yapılarak absorbans değerleri okunur.
- Absorbans-konsantrasyon grafiği orijinden geçecek bir doğru şeklinde çizilerek kalibrasyon eğrisi elde edilir.

Fe²⁺ Oksidasyonu

- L su ile dolu tanka mL stok Fe^{2+} çözeltisi eklenir. Böylece tanktaki Fe^{2+} konsantrasyonumg/L olacaktır.

Oksijenle oksidasyon:

- Oksijenle oksidasyon deneyi için debide havalandırma ve karıştırma başlatılır.
- 3, 5, 8, 12, 15 dakika havalandırma uygulanırken tanktan numuneler alınarak Fe^{2+} analizi uygulanır.
- Deney başlangıcında ve sonunda tank pH'ı ölçülür.

Permanganatla oksidasyon

- Tank su ile doldurulur mL stok Fe^{2+} çözeltisi eklenir.
- Permanganatla oksidasyon denemesi için tankamg/L $KMnO_4$ çözeltisindenmL eklenir.
Böylecemg/L $KMnO_4$ dozlanmış olur.
- 3, 5, 8, 12, 15 dakika sadece mekanik karıştırma uygulanırken tanktan numuneler alınarak Fe^{2+} analizi uygulanır.
- Deney başlangıcında ve sonunda tank pH'ı ölçülür.

Analitik yöntemler:

Oksijenmetre ile ÇO ölçümü: Oksijen metre ile (ÇO probu kullanılarak) ÇO ölçümü yapılacaksa önce probun sıfır oksijen kalibrasyonu yapılır. Daha sonra prob havalandırma uygulanan suya daldırılır, istenilen anda oksijenmetre üzerinden ÇO miktarı okunur.

Winkler yöntemiyle ÇO ölçümü

Winkler (iyodometrik) yöntemi çözünmüş oksijenin oksitleme özelliğine dayanan titrimetrik bir işlemdir.

- 250-300 mL hacminde BOİ şişesine numune ağzına kadar doldurulur ve şişeden numune taşırılarak şişenin ağzı kapatılır. Şişenin içinde hava kabarcığı kalmamalıdır.
- Şişenin kapağı açılarak 1 mL mangan sülfat çözeltisi, bunu takiben 1 mL alkali-iyodür- azid reaktifi şişenin su seviyesinin altına doğru bir pipet yardımıyla ilave edilir. Şişenin kapağı kapatılır ve şişe alt- üst edilerek karıştırılır.
- Çökelek oluştuğunda şişenin kapağı açılarak 1mL derişik H_2SO_4 ilave edilir ve şişenin kapağı kapatılır. Daha önce oluşmuş çökeleğin tamamen çözünmesi için karıştırılır. Çökelek çözüldükten sonra şişedeki çözeltiden 201 mL bir erlene alınır.
- Erlene alınan çözelti 0.025 N tiyosülfat çözeltisi ile açık sarı renge kadar titre edilir. Sonra iki damla nişasta çözeltisi ilave edilir. Oluşan mavi renk kayboluncaya kadar titrasyona devam edilir.

Fe Analizi

- 100 mL numuneye 1 mL hidroksilamin hidroklorür çözeltisi eklenir.
- 10 mL fenantrolin çözeltisi eklenir ve karıştırılır.
- Renk oluşumu için birkaç dakika beklenir.
- Saf su ile, içinde demir çözeltisi bulunmayan bir şahit hazırlanır.
- Renklenmiş çözeltinin 510 nm dalga boyunda şahit numuneye karşılık absorbans değerleri okunur.

Sonuçlar:

- Winkler yöntemiyle ÇO tayininde 200 mL numune için titrasyonda sarf edilen her 1 mL 0.025 N sodyum tiyosülfat 1 mg/L ÇO'ye eşdeğer kabul edilmektedir. Buna göre ölçülen değerler mg/L ÇO değerine çevrilir.
- $C_s = \dots\dots\dots$ mg/L
Tank içerisindeki su derinliği = cm

t, dk	C _t , mg/L	T, °C

t: zaman C_t: t zamanda ÇO kons. T: sıcaklık

Fe Kalibrasyon eğrisi

ml Stok Fe ²⁺	Abs 510 nm

Fe Oksidasyonu

Başlangıç Fe²⁺ konsantrasyonu:mg/L

Oksidan Madde	Doz	t, dk	pH	Abs 510 nm
Oksijen				
KMnO ₄				

Bulgular:

Fe Kalibrasyon eğrisi

ml Stok Fe ²⁺	Fe ²⁺ , mg/L	Abs 510 nm

Fe Oksidasyonu

Başlangıç Fe²⁺ konsantrasyonu:mg/L

Oksidan Madde	Doz	t, dk	pH	Abs 510 nm	Fe ²⁺ , mg/L
Oksijen					
KMnO ₄					

Hesaplamalar ve Değerlendirme:

- Zamana karşılık $\ln(C_s - C)/(C_s - C_0)$ grafiği çizilir ve sistemin K_La değeri hesaplanır.
- K_La değerinin 20°C deki karşılığı hesaplanır. Aynı havalandırma işlemi 1 m derinlikteki tankta yapılsaydı K_La ne olacağı hesaplanır ve bu değerden yararlanarak derinliğin K_La üzerine etkisi tartışılır.
- Her bir oksidan madde için zamana karşılık Fe²⁺ konsantrasyonu grafikleri çizilir, toplam giderim verimleri hesaplanır ve kıyaslanır.
- Zamana karşılık konsantrasyon verilerinden yararlanarak her iki oksidasyon reaksiyonunun da kaçınıcı dereceden olduğu belirlenir.
- Deneylerde pH değişimi sebepleriyle birlikte yorumlanır.
- Hava ve kimyasal madde ile oksidasyon işlemi verim, uygulanabilirlik, ekonomiklik açısından değerlendirilir arıtma tesislerinde hangi durumlarda hangisinin tercih edilebileceği tartışılır.

DENEY 7. Jar Test

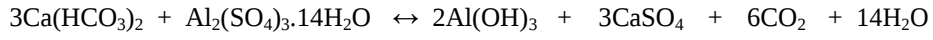
Amaç:

Bulanıklık gidermek için alum ve FeCl₃ kullanılarak yapılacak olan Jar test deneyi ile optimum koagülan dozunun belirlenmesi. Farklı koagülanların etkisinin araştırılması.

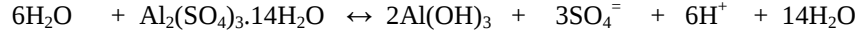
Genel:

Suda bulunan kolloidlerin çökelebilecek yapı ve büyüklükteki iri tanecikler haline dönüştürülmesi suretiyle sudan ayrıştırılmasını sağlayan temel işlemler koagülasyon-flokülasyondur. Sistem, önce kimyasal madde ilavesiyle reaksiyonun tamamlanması sonra taneciklerin biraraya gelerek iri floklar oluşturmalarının sağlanması ve son olarak da durgun koşullarda çökelme ile flokların sudan ayrıştırılması esasına dayanır.

Alum: Eklendiği suda bulunan bikarbonat alkalinitesi ile reaksiyona girer ve alüminyum hidroksit çökelekleri oluşturur.

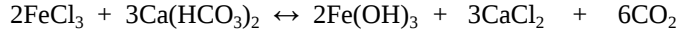


Ayrıca suda çözünen alum aşağıdaki reaksiyonu verir



Alum ile koagülasyon için optimum pH 5 ile 7 arasındadır. Yine de suyun yapısına göre deneysel olarak kesinleştirilmesi yararlıdır.

Demir(3) klorür:



Demir tuzlarının reaksiyonunda alkalinite çok önemlidir. buna bağlı olarak bu işlem için optimum pH değeri alümin tersine 7 ve daha yukarıdadır.

Malzemeler:

- Jar test aparatı
- Spektrofotometre
- Cam beherler, pipetler

Reaktifler:

- Stok alum çözeltisi:g/L
- Stok FeCl₃ çözeltisi : g/L

Yöntem:

- Bulanık su numunesinin başlangıç bulanıklık değeri belirlenir.
- Jar test aparatının beherlerine mL su numunesi konur.
- Her behere stok alum çözeltisinden dozlanır.

Dozlama miktarları: 1. Beher : mL 3. Beher : mL 5. Beher : mL

2. Beher : mL 4. Beher : mL 6. Beher : mL

- Hızlı karıştırma işlemi başlatılır. 2 dk hızlı karıştırma uygulanır.
- 2 dk sonunda pedalların hızı düşürülür. 20 dk yavaş karıştırılır, 30 dk çökmeye bırakılır.
- Çökelme sonunda beherdeki süpernatant kısmından numune alınarak nm'de absorbans değeri okunur
- Kalibrasyon denkleminde yararlanarak bulanıklık hesabı yapılır.
- Aynı deney alum yerine stok FeCl₃ kullanılarak tekrarlanır.

Sonuçlar:

Bulanıklık-Konsantrasyon dönüştürme için kalibrasyon denklemi : $Abs = 0.0017 * NTU$

Suyun başlangıç bulanıklığı = NTU

Alum için		FeCl ₃ için	
Alum dozu, mL	Sonuç abs	FeCl ₃ dozu, mL	Sonuç abs

Bulgular:

Alum için

Alum dozu, mL	Sonuç abs	Alum dozu, mg/L	Sonuç Bulanıklık NTU

FeCl₃ için

FeCl ₃ dozu, mL	Sonuç abs.	FeCl ₃ dozu, mg/L	Sonuç Bulanıklık NTU

Hesaplamalar ve Değerlendirme:

Alum için

- Alum dozu - Sonuç bulanıklık grafiği çizilir. En iyi alum dozu grafikten belirlenir. Sebebiyle açıklanır.
- İçmesuyu arıtımında alum için yaklaşık hangi dozların kullanıldığı araştırılır. Deneyde bulunan optimum alum dozunun teorik değerlerle uyumluluğu ve gerçek arıtım uygulamalarında geçerliliği tartışılır.

FeCl₃ için

- FeCl₃ dozu - Sonuç bulanıklık grafiği çizilir. En iyi FeCl₃ dozu grafikten belirlenir. Sebebiyle açıklanır.
- İçmesuyu arıtımında FeCl₃ için yaklaşık hangi dozların kullanıldığı araştırılır. Deneyde bulunan optimum FeCl₃ dozunun teorik değerlerle uyumluluğu ve gerçek arıtım uygulamalarında geçerliliği tartışılır.

■FeCl₃ ile alum koagülan maddelerinden elde edilen sonuçlardan yararlanarak seçilen optimum dozlar meq/L birimine çevirilir ve bu iki madde için değerler karşılaştırılır.

DENEY 8. İyon Değiştirme Kolon Uygulaması

Amaç:

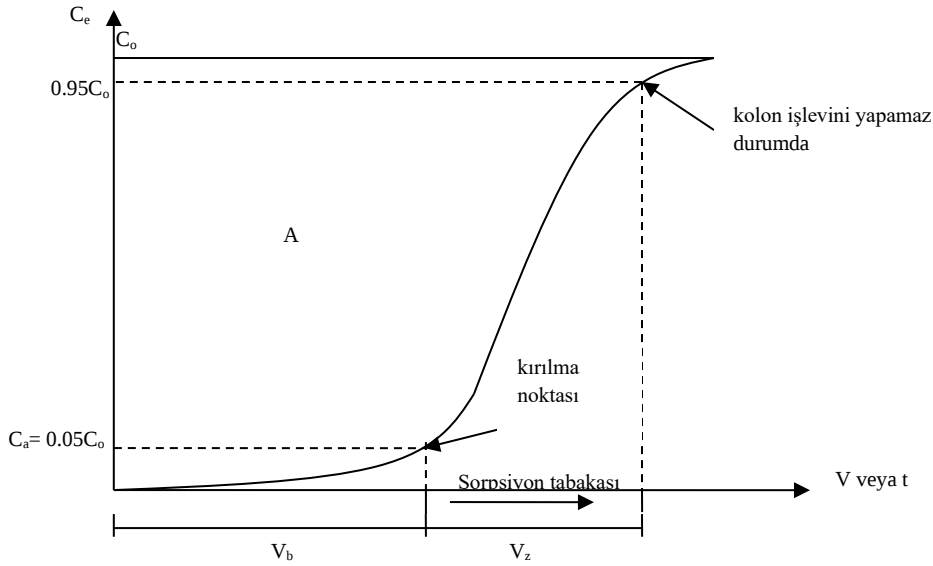
Sürekli akımlı kolonda iyon değiştirme uygulaması ile sudan sertlik giderimi yapmak, kırılma eğrisini elde ederek sistem kinetiğini ve reçine kapasitesini belirlemek.

Genel:

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 9.1'de kırılma eğrisinde de görüldüğü üzere, sıvının kolondan geçmesi sonucu belirli bir noktada kırılma başlar ve bu genellikle C_0 konsantrasyonun % 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 9.1. 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.

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

C : Çıkıştaki madde konsantrasyonu, mg/ L

C_0 : Başlangıçtaki madde konsantrasyonu, mg/ L

k_1 : Hız sabiti

V : Geçen sıvı hacmi, L

q_0 : Maksimum reçine kapasitesi, g/ g

M : Kolondaki reçine kütlesi, g

Q : Akım hızı, L/ saat

Yukarıdaki denklem doğrusal, $y=ax+b$ formundadır. Buna göre lineer regresyon ile k_1 ve q_0 değerleri bulunur. q_0 yani maksimum reçine kapasitesi önemli bir parametredir.

Malzemeler:

- Reçine ile hazırlanmış kolon
- Peristaltik akım pompası
- Büret
- Pipet ve erlenler

Reaktifler:

- **EDTA tampon çözeltisi:**
 - 16.9 g NH_4Cl + 143 mL konsantre NH_4OH çözülür. [a]
 - 1.25 g EDTA Sodyum tuzu ve 0.644 g $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ saf suda çözülerek 50 mL 'ye tamamlanır [b].
 - Hazırlanan çözeltilerin ikisi karıştırılır [a ve b], 250 mL 'ye saf su ile tamamlanır.
 - Plastik kapta ve ağzı sıkı kapalı olarak saklanır.
- **EBT indikatörü :**
 - Sıvı form: 0.5 g EBT + 4.5 g hidroksilamin HCl + 100 mL % 95 etil alkol
 - Toz form: 0.5 g EBT + 100 g NaCl iyice karıştırılır.
- **Standart EDTA çözeltisi (1 mL = 1 mg CaCO_3 sertliği)**
 - 3.723 g EDTA 1 L 'ye tamamlanır. Plastik kapta saklanır. Standardize edilmesinde yarar vardır.
 - Standart Ca çözeltisi: 105 °C de kurutulmuş CaCO_3 'dan 1 g alınır. 1+1 HCl damla damla eklenerek CaCO_3 'ın tamamen çözülmesi sağlanır. 200 mL safsu eklenir ve 5 dk kaynatılır. Soğuduktan sonra 2-3 damla metil kırmızısı indikatörü eklenip NH_4OH veya HCl ile rengi turuncuya getirilir. Safsu ile 1 L 'ye tamamlanır. Bu çözeltinin 1 mL=1 mg CaCO_3 .Standart çözeltiden 50 mL alınır. 1 mL tampon çözelti + EBT indikatörü eklenir. EDTA ile mavi renge kadar titre edilir. Harcanan EDTA çözelti miktarıyla aynı değilse EDTA 'nın yeni CaCO_3 eşdeğeri bulunan bu orandan belirlenir.

Yöntem:

- Hazneye doldurulan suyun toplam sertlik analizi yapılır.
- $t=0$ anında akım başlatılır.
- Akım hızı (debi)= mL/ dk
- Farklı zaman aralıklarında çıkış suyundan numune alınarak toplam sertlik analizi yapılır.
- Ölçülen konsantrasyon değeri haznedekiyle eşitlenene kadar örnekleme devam edilir.

Toplam Sertlik Analizi

- 50 mL numune + 1 mL tampon çözelti + EBT indikatörü eklenir.
- EDTA ile pembe renk maviye dönüşene kadar titre edilir.

$$\text{TS (mg/L CaCO}_3\text{)} = \text{mL EDTA} \times 1000 / \text{mL numune}$$

Sonuçlar:

Su debisi : L/dk

t, dk	mL EDTA	t, dk	mL EDTA

Bulgular:

t, dk	mL EDTA	TS, mg/ L CaCO ₃	V (Su hacmi), mL

Hesaplamalar ve Değerlendirme:

- Verilerden yararlanarak zamana karşılık konsantrasyon grafiği çizilir. Kırılma noktası bulunur ve bu noktaya kadar geçen süre ve süzülen su hacmi belirlenir.
- Kırılma noktasına kadar kolonda tutulmuş olan toplam sertlik miktarı hesaplanır.
- Deney verileri ile $\ln[(C_0/C)-1]$ değerlerine karşılık V grafiği çizilir, bu grafikten yararlanarak iyon değiştirici hız sabiti (k_1) ve kolon kapasitesi (q_0) hesaplanır. Hesaplama ikisinin de birimleri kontrol edilir.
- Hesaplanan kapasite değerine göre bu reçinenin sudan sertlik gideriminde kullanılabilirliği ve performansı yorumlanır.

DENEY 9. Kırılma Noktası Klorlaması

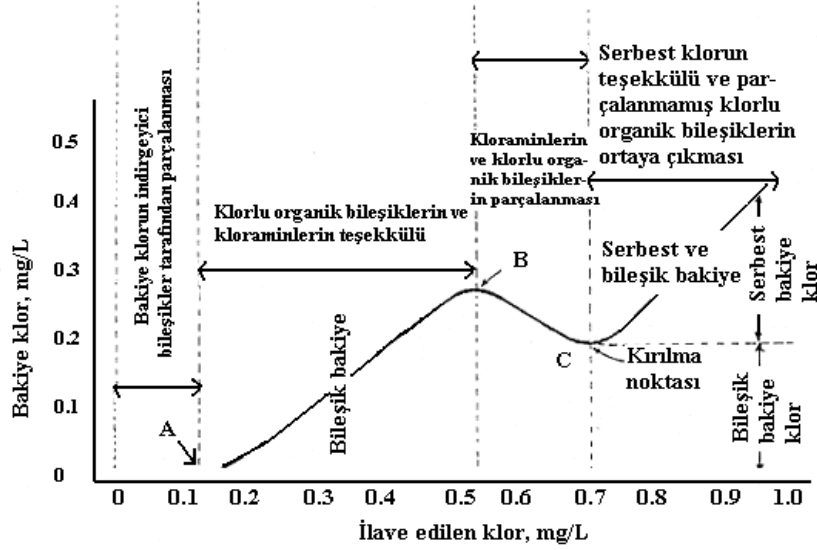
Amaç:

Klorlama kırılma eğrisi elde etmek. Bir su örneğinin klor ihtiyacını, yani belirli bir temas süresi sonunda suda serbest, bağlı ya da toplam kullanılabilir klor kalıntısı oluşması için suya eklenmesi gerekli klor miktarını belirlemek.

Genel:

Suya eklenen klor suda bir dizi reaksiyona girer. Suyun bileşimi de bu reaksiyonlar üzerinde etkili olduğundan ve çözünmüş haldeki bileşenler mikroorganizmalara kıyasla klorla daha kolay temas edebildiğinden eklenen klor önce bu reaksiyonları bitirecek sonra mikroorganizmaya ulaşacaktır. Bu sebeple eklenen dozun ne miktarda bakiye bıraktığını takip etmek gereklidir. Bu ilişki grafiksel olarak “kırılma eğrisi” ile gösterilmektedir.

Şekilde tipik bir kırılma eğrisi görülmektedir. Deneysel çalışmada bir su numunesi için karakteristik kırılma eğrisi elde edildikten sonra bu eğri yardımıyla kırılma noktası ve buna göre klor dozu belirlenir. Bu işleme “kırılma noktası klorlaması” denir. Kırılma noktası klorlamasında temel amaç önce su bileşiminin klor ihtiyacını karşılayarak etkin bir klorlama sağlamaktır.



0 – A : Fe^{+2} , Mn^{+2} , H_2S gibi indirgeyici iyon veya bileşiklerin kloru indirgemesi

A – B : Kloro-organik bileşikler ve kloraminlerin oluşması

B – C : Kloraminler ve kloro-organik bileşiklerin N_2 , N_2O , NO , NO_2^- , NO_3^- verecek şekilde bozunması

C – sonrası : Bozunmayan kloro-organik bileşikler ve serbest klorun oluşması

Malzemeler:

- 250 mL'lik erlenler
- Büret, pipetler

Reaktifler:

- Stok klor çözeltisi:mg/L,
- Konsantre asetik asit çözeltisi,
- KI kristalleri,
- Stok sodyum tiosülfat titrantı (0.1 N): 25 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ kaynatılmış saf su ile 1 L'ye tamamlanır (İyodat veya dikromat ile standardize edilir).
- Nişasta indikatörü:
 - 5 gr nişasta az miktarda su ile karıştırılır. Daha sonra kaynamakta olan 1 L suya karıştırılır. Bir gece bekletilip ertesi gün üzerindeki berrak kısım alınarak kullanılır.
 - Koruyucu olarak 1 L nişasta çözeltisine 1.25 gr salisilik asit veya 4 gr çinko klorür ilave edilir.
- İyodin titrantı (0.0282 N):
 - N İyodin çözeltisi: 40 gr KI 25 mL saf suya ilave edilir. Daha sonra 13 gr iyot ilave edilerek 1 L'ye tamamlanır.
 - 25 gr KI az miktarda saf suda çözülür, 282 mL iyodin çözeltisi eklenip 1 L'ye tamamlanır.

Yöntem:

- Erlenlere 200' er mL su numunesi doldurulur.
- Sırasıyla,,,,,,, mL stok klor çözeltisi dozlanır. Herbir doz için 2 erlen hazırlanarak 2 set elde edilir..
- İlk set erlenler reaksiyonun tamamlanması için 1 saat karanlıkta bekletilir.
- İkinci set erlenlerde hemen kalıntı klor analizi yapılır.
- 1 saat sonunda diğer erlenlerden de numune alınır ve kalıntı klor analizi yapılır.

Kalıntı Klor Analizi

- 100 mL numune erlene konur.
- Yaklaşık 3 mL asetik asit ile pH 3-4 civarına getirilir.
- Yaklaşık 0.5 gr KI eklenir.
- 0.025 N tiyosülfat çözeltisi açık sarı renk oluşuncaya kadar eklenir.
- 1 mL nişasta indikatörü eklenip oluşan mavi renk tamamen kaybolana kadar titrasyona devam edilir.
- Şahit numune: Numune hacmi kadar (100 mL) saf su kullanılarak aynı işlemler tekrarlanır.
- Nişasta ile mavi renk oluşur, bu mavi renk kaybolana kadar titrasyona devam edilir. Bu durumda sarfiyat (B) negatif (-) değerlik alır.
- Nişasta ile mavi renk oluşmazsa önce 0.0282 N iyodin çözeltisiyle mavi renge kadar titrasyon yapılır, sonra tiyosülfat ile bu renk kayboluncaya kadar geri titre edilir. İyodin ve tiyosülfat farkı B'dir ve pozitif (+) değerlik alır.

$$\text{Klor, mg / L} = (A \mp B) \times N \times 35450 / \text{mL numune}$$

A : Numune için harcanan tiyosülfat çözeltisi miktarı, mL

B :Şahit için harcanan tiyosülfat çözeltisi miktarı, mL,

N :Tiyosülfat çözeltisinin normalitesi.

Sonuçlar:

Klor Dozu mL	Na ₂ S ₂ O ₃ Sarfiyatı, mL			
	İlk Seri Numune		İkinci Seri Numune	
	A	B	A	B

Bulgular:

Klor Dozu mL	Na ₂ S ₂ O ₃ Sarfiyatı, mL				Kalıntı klor mg/L
	İlk Seri Numune		İkinci Seri Numune		
	A	B	A	B	

Hesaplamalar ve Değerlendirme:

- Klor dozuna karşılık kalıntı klor grafiği çizilir. Grafikte kırılma noktasının olup olmadığı tartışılır. Elde edilen grafik teorik grafikte karşılaştırılır, teorik grafikte bulunan bölgelerden hangilerinin deney grafiğinde bulunduğu belirlenir ve her bir bölgenin neyi gösterdiği açıklanır.
- Bu su için uygun klor dozu seçilir. Bu dozda sistemde kalıntı klorun ne kadar olduğu, sebebiyle birlikte açıklanır.
- Bulunan doz ve kalıntı klor değerlerinin içme suyu arıtma tesisinde gereken değerlerle uyumluluğu tartışılır

DENEY 10. Biyolojik Arıtım ve Aktif Çamur Kinetiği

Amaç:

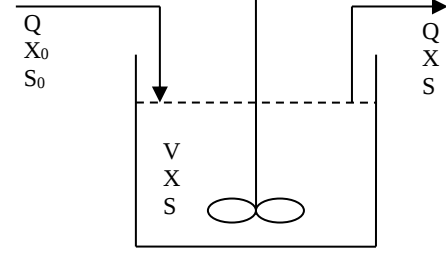
Biyokütle ve substrat konsantrasyonunun geri devirsiz reaktör içinde zamana bağlı değişimini, büyüme hızını ve biyolojik arıtım sistem kinetiğini incelemek.

Genel:

Aktif çamur prosesleri atıksu içindeki organik maddeleri aerobik şartlar altında çeşitli mikroorganizmaların büyümesi için kullandırıran sistemlerdir. Böylece substratlar mikrobiyal solunum ve mikroorganizma senteziyle uzaklaştırılırlar. Bu yöntemle çözünmüş veya kolloid halindeki çökmez durumda bulunan organik maddeler flokleştirilerek çöktürülebilir 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 çöktürme 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 çöktürme havuzundaki çöktürülmüş aktif çamurun bir kısmı geri devredilir. Geri devir oranı istenen MLSS konsantrasyonuna ve geri devir akışındaki çöktürülmüş 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 üretilebildiği, dışarıdan çamur ilavesine gerek olmadığı bilinmektedir.

Laboratuvar şartlarında sürekli akımlı reaktöre benzeşimi sağlayabilmek için doldur-boşalt şeklinde reaktör (kemostat) çalıştırılır. Şekilde bir kemostat sistemi şematik olarak gösterilmektedir.



Geri devirsiz bir kemostat sisteminde biyokütle için kütle dengesi:

Biyokütledeki net artış = Biyokütle Büyümesi – Sistemden çıkan biyokütle

$$Vdx = V\mu Xdt - QXdt$$

$$dX/dt = (\mu - D)X$$

- 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:

$$\frac{dS}{dt} \cdot V = Q \cdot S_0 - Q \cdot S - V \cdot \frac{k_d \cdot X \cdot S}{K_s + S}$$

$$VdS = Q \cdot S_0 dt - Q \cdot S dt - V \cdot \mu \cdot X \cdot dt / Y$$

S:Substrat konsantrasyonu

Y:Dönüşüm oranı.

Büyüme Verimi ve Endojen Bozunma:

Substrat tüketimi ve biyokütle üretimi kinetiğinin birleştirilip düzenlenmesi sonucu büyüme veriminin ve endojen bozunma sabitinin hesaplanması mümkündür. Bu eşitlikten elde edilen veriler yardımıyla reaktörlerdeki gerçek ve gözlemlenen verim hesaplanabilir.

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

$$q = \frac{\mu_m}{Y}$$

$$q = \frac{1}{Y} \mu + \frac{k_d}{Y}$$

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

q :Spesifik substrat kullanım düzeyi,

k_d :Endojen bozunma sabiti,

Y_{obs} :Gözlemlenen dönüşüm

Kinetik Eşitlikler:

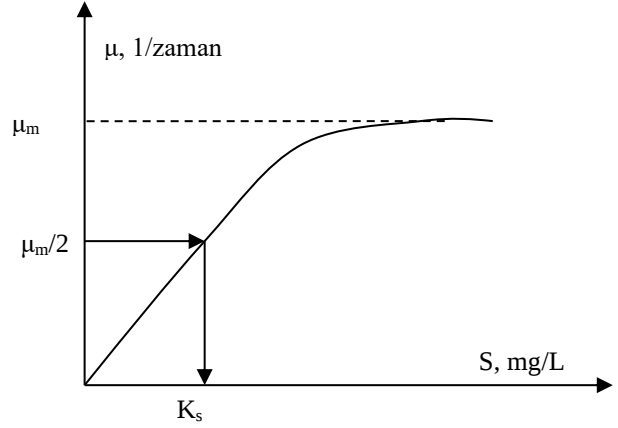
Aktif çamurda meydana gelen substrat uzaklaştırma ile ilgili olarak iki temel yaklaşım mevcuttur. Birinci yaklaşım aşağıda görülen Monod ve Michaelis-Menten kinetiğidir.

Monod Bağıntısı

$$r_g = \frac{dX}{dt} = \mu \cdot X = Y \frac{dS}{dt} \quad \mu = \frac{\mu_m \cdot S}{K_s + S}$$

Y :Hücre dönüşüm katsayısı (0-1 aralığında olur),
dX/dt :Hücre büyüme hızı, kütle/ zaman,
 μ :Spesifik büyüme hızı, 1/zaman,
dS/dt :Substrat kullanım hızı.
 μ_m :Maksimum spesifik büyüme hızı,
 K_s :Doygunluk sabiti.

Substrat konsantrasyonunun spesifik büyüme hızı üzerine etkileri şu şekilde ifade edilir;



Endojen bozunma - İç çürüme (parçalanma) hızı : $r_d = \frac{dX}{dt} = -k_e \cdot X$ k_e :Hücre çürüme katsayısı

Michaelis - Menten Hız Eşitliği

$$r = -\frac{k_s \cdot [S]}{K_m + [S]}$$

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.

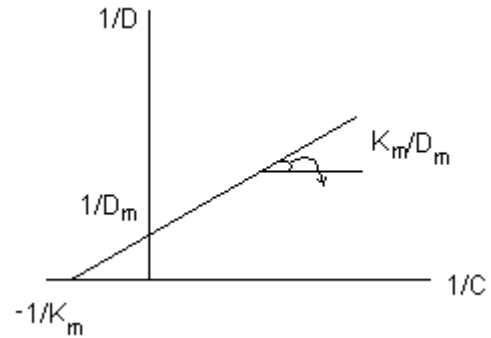
Lineweaver – Burk Yaklaşımı

Substrat konsantrasyonunun büyüme hızı üzerine etkisini belirlemek için D_m ve K_m değerlerinin bilinmesi gerekir. Bunun için farklı substrat konsantrasyonlarında kesikli reaktörlerle testler yapılır ve hepsinde reaksiyon derecesi ölçülür. Veriler grafiğe aktarılarak D_m ve K_m bulunur.

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

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

Bunun için farklı substrat konsantrasyonlarında kesikli reaktörlerle testler yapılır



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 alınır;

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{\theta \cdot X} \rightarrow \frac{\text{tuketilen substrat / zaman}}{\text{MLVSS (MLSS) kütlesi}}$$

M :Ortamdaki mikroorganizma konsantrasyonu,
F :Ortamdaki substrat konsantrasyonu,

Çamur yaşı

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

$$\theta_c = \frac{V \cdot X}{Q_w \cdot X_r + Q \cdot X_e}$$

X_r : Atık aktif çamur akışındaki aktif biyolojik katılar

Malzemeler:

- **Düzenek için:**
 - 4 adet reaktör (6, 8, 10 ve 12 gün θ_c değerlerinde)
- **MLSS için:**
 - Vakum düzeneği ve filtre kağıdı
 - Etüv
 - Hassas terazi
- **KOİ için:**
 - Manyetik karıştırıcı
 - Büret
 - Termoreaktör
 - Kapaklı cam tüp
- **SVI için:**
 - Imhoff konisi

Reaktifler:

- **KOİ analizi için:**
 - **Standart potasyum dikromat çözeltisi (0.0167 M):** Bir miktar saf suya 2.4565 g $K_2Cr_2O_7$, 16.65 g $HgSO_4$ ve 83.5 mL H_2SO_4 konulur, çözülüp soğutulduktan sonra 500 mL'ye tamamlanır.
 - **Gümüş-Asit çözeltisi:** 10.12 g Ag_2SO_4 H_2SO_4 ile 1 L'ye tamamlanır, çözünmesi için 1-2 gün bekletilir.
 - **FAS çözeltisi (0.1 M):** 19.6 g $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ + 10 mL H_2SO_4 saf su ile 500 mL'ye tamamlanır.
 - **Ferroin indikatörü:** Sıvı indikatörden 1/10 seyreltilir
 - **FAS Standardizasyonu:** 2.5 mL saf su + 3.5 mL gümüş-asit çözeltisi + 1.5 mL dikromat çözeltisi + 1-2 damla ferroin indikatörü FAS ile titre edilir.

$$M_{FAS} = \frac{mL \text{ 0.0167M } K_2Cr_2O_7}{mL \text{ FAS}} * 0.1$$

Yöntem:

Geri devirsiz sistem ($HRT=SRT$), ($\theta = \theta_c$)

- Reaktörlerin birbirinden farkı $\theta = \theta_c$ süreleri olacaktır. Bu süreler 1. Reaktör için 6 gün, 2. Reaktör için 8 gün, 3. Reaktör için 10 gün ve 4. Reaktör için 12 gün olacaktır.
- Her gün her bir reaktörden alınan sıvılarda MLSS ve KOİ analizleri yapılır, bulgular tabloya yazılır.

Günlük Analizler

MLSS Ölçümü

- Deney öncesinde sabit tartıma getirilmiş filtre kağıtları hazırlanır ve sabit tartımlar kaydedilir.
- Reaktörden alınan numune iyice karıştırılır veml numune alınarak vakum filtrasyon düzeneğinde sabit tartımı bilinen filtre kağıdından süzülür.
- Numunenin süzüldüğü filtre kağıdı etüvde 105°C'de 1 saat kurutulur.
- Etüvden desikatöre alınır ve 15 dk soğuması beklenir.
- Hassas terazide tartılır ve reaktörün katı madde konsantrasyonu (MLSS) bu tartım verileriyle hesaplanır.

$$mg / L \text{ MLSS} = \frac{(Sontartım - Kağıtbos ağırlığı) * 1000mg / g}{mL \text{ numune}} * 1000mL / L$$

KOİ Analizi

Reaktör KOİ değeri çok yüksekse numune seyreltilir.

- Süzülmüş numune analize uygun seviyede seyreltilerek (yaklaşık 5 kat) 2.5 mL kapaklı tüpe konur.
- 2.5 ml safsu ile de şahit tüpü hazırlanır.
- Tüplere 1.5 mL 0.0167 M dikromat çözeltisi ve sonra 3.5 mL gümüş-asit çözeltisi eklenir.
- Termoreaktörde 2 saat 148°C'de bekletilir.
- Oda sıcaklığına soğutulduktan sonra tüpteki çözelti bir behere alınır, tüpte numune kalmaması için az safsu ile çalkalanarak behere eklenir.
- Üzerine 1-2 damla ferroin indikatörü eklenir.
- Manyetik karıştırıcı üzerinde beherdeki sıvı karışırken FAS ile nar çiçeği kırmızısına kadar titre edilir.

$$mg / L KOI = \frac{(A - B) * M * 8000}{mL \text{ numune}}$$

A : Şahit için harcanan FAS, mL,

B : Numune için harcanan FAS, mL,

M : FAS molaritesi.

SVI Analizi

- Reaktörden alınan 1 L atıksu numunesi İmhoff konisine doldurulur.
- 30 dk bekletilerek çökmesi sağlanır.
- 30 dk sonrasında çöken çamur miktarı belirlenir.

$$mL / g SVI = \frac{Cokelencamur(mL / L) * 1000mg / g}{mg / L MLSS}$$

Sonuçlar:

Zaman, gün	MLSS			KOI		SVI mL/L
	Boş tartım, g	Dolu tartım, g	Süzülen numune, mL	Seyrelme	mL FAS	
R1						
R2						
R3						
R4						

Zaman, gün	MLSS				KOI			SVI
	Boş tartım, g	Dolu tartım, g	Süzülen Numune, mL	mg/L	Seyrelme	mL FAS	mg/ L	mL/g
R1								
R2								
R3								
R4								

Hesaplamalar ve Değerlendirme:

- Herbir reaktör için zamana karşılık MLSS ve KOİ değerleri aynı grafik üzerinde gösterilir (her reaktör için bir grafik olacak). Herbirinde ulaşılan maksimum MLSS ve minimum KOİ konsantrasyonları belirlenir.
- Ulaşılan bu sonuç değerleriyle yeni bir tablo oluşturulur ve bu tablodaki değerleri kullanarak çamur yaşına karşılık MLSS ve KOİ değişimi aynı grafikte gösterilir. Bu grafikteki eğrilerin çakışma noktasından kritik çamur yaşı (θ_{cr}) belirlenir.
- Doğrusallaştırılmış Monod kinetiği ve Lineweaver-Burk yaklaşımından yararlanarak k_d , Y , μ_{max} ve K_s değerleri hesaplanır, μ_{max} değeri $1/\theta_{cr}$ ile kıyaslanır ve yorumlanır.
- Bulunan sabitleri kullanarak Y_{obs} değeri hesaplanır ve evsel atıksu için aralık değerlerle kıyaslanarak yorumlanır.
- Herbir reaktördeki SVI değerlerinin zaman ile değişimi grafikte gösterilir. Herbir reaktör için ortalama bir SVI belirlenir. Bu verileri toplayarak çamur yaşı ile SVI değişimi grafiksel olarak gösterilir.
- Evsel nitelikli atıksuyu arıtmak için kullanılacak biyolojik arıtım sisteminde HRT ve θ_c ve SVI teorik değerleri ile deneydeki değerler kıyaslanıp gerçek tesiste uygulanabilirlik açısından yorumlanır.

- Bu sistem geri devirli çalıştırılmış olsaydı nelerin değişebileceği yorumlanır.