

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**



**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**  
**LABORATUVARI-II**  
**DENEY FÖYÜ**

**SORUMLULAR**

**Dr. Öğr. Üy. Zürrkiye GÜNDÜZ**

**Öğr. Gör. Dr. Ayla GÜNGÖR**

**Arş. Gör. Mustafa KORKMAZ**

**Arş. Gör. Süleyman UZUNER**

**Arş. Gör. Yeliz SÜZEN**

**Arş. Gör. Elif ÇALGAN**

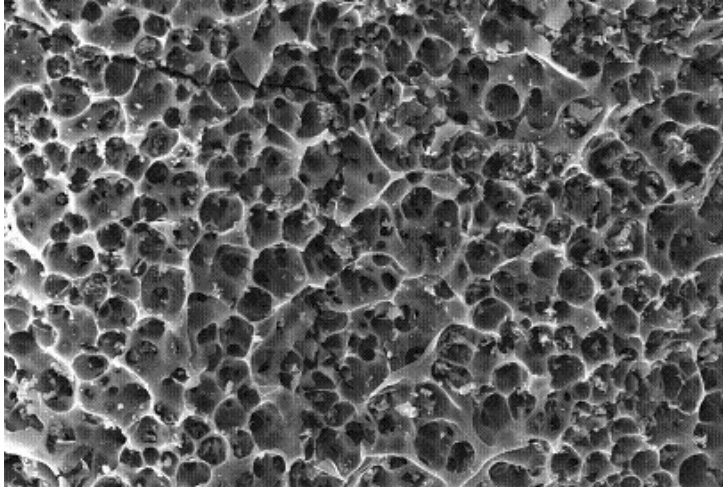
## DENEY: ADSORPSİYON

### 1. DENEYİN AMACI

Atıksudan rengin adsorpsiyonla gideriminin incelenmesi ve adsorpsiyon kinetiklerinin, dengesinin hesaplanması.

### 2. TEORİK BİLGİLER

Atıksu arıtımında Adsorpsiyon, suda bulunan belirli maddeleri (kirletici),bu maddeleri tutabilecek özellikler gösteren adsorbent adı verilen maddeler kullanarak uzaklaştırma işlemidir.Sıklıkla kullanılan adsorbent türlerinden bazıları; aktif karbon, zeolitler (killer), Alumina, silika jel ve bazı endüstriyel atıklar ile tarımsal atıklardır.Bunların arasında aktif karbon en çok kullanılan adsorbenttir. Aktif karbon, yapısında ağırlıklı olarak karbon atomu bulunan, gözenekli yüzeye sahip, tabakalı yapıda ve insan sağlığı için zararsız bir maddedir [1].



Şekil 1. Aktif karbon yüzeyi



Şekil 2.Aktif Karbon (Toz-Granül)

Adsorpsiyon, adsorplanan molekülle katı yüzey arasındaki etkileşimin türüne bağlı olarak ikiye ayrılır.

- **Fiziksel adsorpsiyon:** Fiziksel adsorpsiyon, temelde moleküller arası kuvvetler (Van der Waals) ve kirletici molekülü ile adsorbent yüzeyini oluşturan atomlar arasındaki elektrostatik kuvvetlerden kaynaklanır. Adsorbentlekirletici madde arasındaki moleküler arası çekim kuvveti, kirleticinin kendi molekülleri arasındakinden daha büyük olduğunda gerçekleşir.
- **Kimyasal adsorpsiyon:** Kimyasal adsorpsiyon; adsorbentlekirletici arasındaki kimyasal etkileşimden kaynaklanır. Kirletici, katı yüzeyi ile bir bağ oluşturarak yapışır. Bu etkileşim fiziksel adsorpsiyondan daha kuvvetlidir.

! Düşük sıcaklıklarda sadece fiziksel adsorpsiyon gerçekleştiren adsorbatnyüksek sıcaklıklarda kimyasal adsorpsiyon gerçekleştirebilir, hatta bazen her ikisinin aynı anda gerçekleşebilir.

Adsorpsiyon tersinir bir prosestir. Bu prosesin tersi “Desorpsiyon” olarak adlandırılır. Adsorpsiyon ve desorpsiyonprosesleri arasında denge söz konusudur [2].

**Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler:** Adsorpsiyonprosesinin gerçekleşebilmesi için bazı koşulların oluşması gerekmektedir.

- ✓ Adsorbent yüzeyinde tutulacak olan çözünmüş maddelerin öncelikle kütle etrafını saran çözücü sıvı film içerisinde geçmesi gerekmektedir. Bu geçişe “film difüzyonu” adı verilmektedir.
- ✓ Adsorbent yüzeyine gelen maddelerin, gözeneklerin iç kısımlarına girebilmeleri için “por (gözenek) difüzyonu” adı verilen bir geçişi daha tamamlamaları gerekmektedir.

Bu iki aşamayı geçen çözünmüş maddenin, adsorbent madde üzerine bağlanması ise son işlemdir. Ancak adsorpsiyonu etkileyen faktörler arasında karıştırma hızı, pH, sıcaklık, adsorbentin, adsorplanan madde ve çözücünün özellikleri gibi etmenler de vardır.

- **Karıştırma hızı:** Adsorpsiyon hızı sistemin karıştırma hızına bağlı olarak ya film difüzyonu yadapor difüzyonu ile kontrol edilir. Eğer az bir karıştırma yapılırsa tanecik etrafındaki sıvı film kalınlığı fazla olacak ve film difüzyonu, hızı sınırlandıran etmen olacaktır. Yeterli bir karışım sağlanırsa film difüzyon hızı, hızı sınırlandıran etmen olan por difüzyon noktasına doğru artar. Genelde por difüzyonu yüksek derecede karıştırılan kesikli sistemlerde hızı sınırlandıran faktördür.
- **pH:** Ortamın pH’ı birçok nedenden ötürü, adsorpsiyonu etkileyen önemli bir parametredir. Hidrojen ve hidroksit iyonları kuvvetle adsorplandıklarından, diğer iyonların adsorpsiyonu çözeltinin pH’ından etkilenir. Organik asitler düşük pH değerlerinde daha fazla adsorbe olurken organik bazlar yüksek pH’ da daha iyi adsorplanır.
- **Sıcaklık:** Sıcaklık adsorpsiyonu etkileyen diğer bir faktördür. Adsorpsiyon, sıcaklık artışıyla artarken, sıcaklığın düşmesiyle azalır. Bununla birlikte adsorpsiyon prosesi, ekzotermik bir proses ise adsorpsiyonun büyüklüğü azalan sıcaklıkla artacaktır.
- **Adsorbentin özellikleri:** Adsorpsiyon bir yüzey olayı olduğunda, adsorpsiyonun büyüklüğü, spesifik yüzey alanı ile orantılıdır. Adsorbentin geniş yüzey alanına,

gözenek hacmine, belirli bir gözenek dağılımına sahip olması, parçacıklı bir yapıda olması istenir.

- **Adsorplanan madde ve çözücünün özellikleri:** Çözülebilir bileşikler, çözücüler için kuvvetli bir çekiciliğe sahiptir. Adsorpsiyonun olabilmesi için molekülün çözücüsünden ayrılabilmesi ve adsorbent üzerine yapışabilmesi gerekmektedir. Çözünmüş madde çözücü sistemine ne kadar kuvvetle bağlanmışsa yani hidrofobik özellikleri ne kadar zayıf ise yüze tutunma o denli az olur. İnorganik bileşikler genellikle hidrofilik yapılarından dolayı az, hidrofobik maddeler tercihli olarak daha çok adsorplanır[3].

**Adsorpsiyon Prosesinin Kullanıldığı Yerler:**Katı-sıvı adsorpsiyonu içme suyu ve atıksu arıtımında önemli rol oynar. Adsorpsiyonprosesi ve atıksu arıtımında aşağıdaki amaçlarla kullanılmaktadır.

- *İstenmeyen tat ve kokuların uzaklaştırılması,*
- *İnsektisid, bakterisid ve bunun gibi pestisidler biyolojik arıtma sistemlerinde girişim meydana getirebilirler ve arıtılmadan tesisten çıkarlar. Bu gibi maddelerin alıcı sulara gitmemesi için üçüncül arıtma olarak adsorpsiyon işlemi,*
- *Küçük miktarda toksik bileşiklerin (fenol vb.) sudan uzaklaştırılması,*
- *Deterjan kalıntılarının sudan uzaklaştırılması,*
- *Endüstriyel atıklarda bulunan kalıcı organik maddelerin ve rengin giderilmesi*

**Adsorpsiyon İzotermi:**Adsorpsiyon bir denge reaksiyonuna benzer. Çözelti belirlimiktardaki adsorplayıcı ile temas ettirildiğinde, çözeltide adsorplanan maddenin derişimi,adsorplayıcı yüzeyindekilerle dengeye gelene kadar azalır. Adsorpsiyon dengesi kurulduktan sonra, adsorplanan maddenin çözelti fazındaki derişimi sabit kalır. Genellikle, adsorplanan madde miktarı, sabit sıcaklıkta derişimin bir fonksiyonu olarak saptanır. Sabit sıcaklıkta, denge halinde çözeltide kalan çözünen derişimine karşı, biri adsorplayıcı ağırlığında, adsorplanan çözünen miktarı grafiğe geçilerek adsorpsiyon izotermi adı verilen sonuç fonksiyonu elde edilir. Bunlar Freundlich, Langmuir ve BET (Brunauer, Emmett ve Teller) izotermi leridir.

- **Freundlich İzotermi:**Freundlich modeli heterojen yüzeyler üzerinde adsorpsiyon uygulanmaktadır. Aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$q = \frac{x}{m} = K_f \cdot C_e^{(1/n)}$$

$$\text{Log}(x/m) = \text{Log}K_f + (1/n)\text{Log}C_e$$

Freundlich denkleminde geçen ifadeler şu şekilde tanımlanabilir.

**q= x/m :**Dengede birim adsorplayıcı ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g adsorplayıcı)

**x:**Adsorplanan çözelti derişimi (mg/L)

**C<sub>0</sub>** :Başlangıçta çözünen derişimi (mg/L)

**C<sub>e</sub>** :Dengede adsorplanmadan çözeltide kalan çözünen derişimi (mg/L)

**K<sub>f</sub>** :Adsorpsiyon kapasitesi

**n** :Adsorpsiyon şiddeti

(K<sub>f</sub> ve n sıcaklığa, adsorplayıcıya ve adsorplanan maddeye bağılı sabitlerdir.)

- **Langmuir İzotermi:**Langmuir izotermi homojen yüzey üzerinde adsorpsiyona uygulanır ve şu varsayımlara dayanır. Adsorplayıcı yüzeyinde aynı enerjiye sahip sabit sayıda aktif bölge vardır ve adsorpsiyon enerjisi sabittir. Adsorpsiyon tek tabakalı olarak oluşur ve maksimum adsorpsiyon, adsorplayıcı yüzeyine bağlanan moleküllerin doymuş bir tabaka oluşturduğu andaki adsorpsiyondur. Adsorpsiyon için en basit teorik model langmuir modelidir. Aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

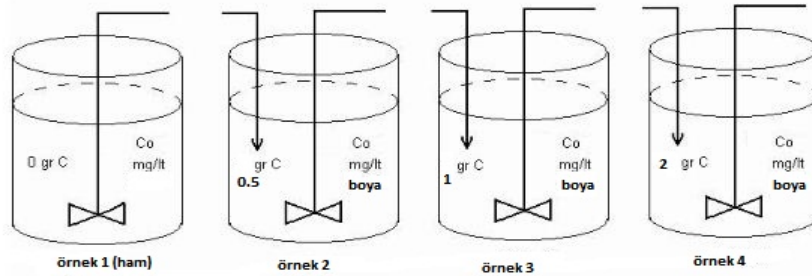
$$q = \frac{x}{m} = \frac{a \cdot K \cdot C_e}{1 + K \cdot C_e}$$

$$1/(x/m) = (1/aK)(1/C_e) + (1/a)$$

### 3. DENEY DÜZENEGİ

- Boyar madde içeren atıksu
- Aktif karbon
- Spektrofotometre
- 100mL polietilen kaplar
- Kronometre
- Santrifüj
- Isıtıcı/soğutucu

shaker



Şekil 3. Deney düzeneği örnek görüntüsü

### 4. DENEYİN YAPILIŞI

- Çözelti olarak, metilen mavisi boyası kullanılarak 500 ppmlik çözelti hazırlanır.
- Adsorpsiyon izotermelerini elde etmek için 100 ml lik polietilen kaplara 50 şer ml'lik çözelti alınır.
- Her birine belirlenen (farklı) miktarlarda aktif karbon atılarak sabit sıcaklık ve sabit karıştırma hızında çalkalanır.

- Belirlenen süreler sonunda numuneler alınır ve santrifüjlenir. Çözeltilerde adsorplanmadan kalan metilen mavisi konsantrasyonları spektrofotometrik olarak ölçülür.
- Bulunan konsantrasyonlar yardımıyla aktif karbon üzerine adsorplanan metilen mavisi miktarı konsantrasyon azalması/gram aktif karbon cinsinden hesap edilir.
- Elde edilen veriler kullanılarak Langmuir ve Freundlich izoterm grafikleri çizilir. Denklemleri ve izoterm sabitleri hesaplanır.

## 5. HESAPLAMALAR

| Zaman (dk)     |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Derişim (mg/l) |  |  |  |  |  |  |  |

| Boya konsantrasyonu (Ce mg/L) | Hesaplanan q (mol/g aktif karbon) | 1/Ce | 1/q | Log Ce | Log q |
|-------------------------------|-----------------------------------|------|-----|--------|-------|
|                               |                                   |      |     |        |       |
|                               |                                   |      |     |        |       |
|                               |                                   |      |     |        |       |
|                               |                                   |      |     |        |       |
|                               |                                   |      |     |        |       |

| Langmuir İzotermi |                |   |   | Freundlich İzotermi |                |   |   |
|-------------------|----------------|---|---|---------------------|----------------|---|---|
| Eğrinin Denklemi  | R <sup>2</sup> | K | a | Eğrinin Denklemi    | R <sup>2</sup> | K | n |
|                   |                |   |   |                     |                |   |   |

## 6. KAYNAKLAR

[1]Bülent Ecevit ÜniversitesiMühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çev 304 Temel İşlemler Laboratuvarı

[2]Süleyman Demirel Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kmm 302, Kimya Mühendisliği Laboratuvarı I

[3]Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fiziksel Ve Kimyasal Temel İşlemler Laboratuvarı Dersi



## DENEY: PIHTILAŞTIRMA VE YUMAKLAŞTIRMA DENEYİ (JAR TESTİ)

### A. DENEYİN AMACI

Doğal yüzeysel sulardaki süspanse madde veya rengin giderilmesi için kullanılan pıhtılaştırıcı maddelerden olan alüminyum sülfat(Alum) ve demir(III) sülfatın en uygun miktarlarını, en uygun pH'ını , en uygun karıştırma süre ve şiddetini kavanoz deneyi (jar test) ile tespit etmektir.

### B. TEORİ

Koagülasyon (pıhtılaştırma) ve flokülasyon(yumaklaştırma) birbirine bağlı, ısı, bulanıklık, renk, pH, alkalilik, karıştırma şiddeti ve süresi ve kullanılan kimyasal reaktif özellikleri gibi pek çok faktöre bağlıdır. Bu nedenle en uygun pıhtılaştırma dozu suyun analizlerinden ölçülemez, ancak dozaj deneyleri ile bulunabilir. Bu deneylere “pıhtılaştırma yumaklaştırma deneyi veya jar test” denir. Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma çevre mühendisliğinde kimyasal çöktürme, susuzlaştırma gibi temel işlemlerde yaygın olarak kullanılır. Bu işlem suya kimyasal madde ilave edilerek suda bulunan askıda ve çözünmüş katı maddelerin sudan uzaklaştırılmasını amaçlar. Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemi esas olarak kolloid haldeki maddelerin giderilmesini amaçlar. Kolloid haldeki maddeler birbirleri ile ve su ile çeşitli etkileşimleri nedeniyle bir araya gelemez ve birleşemezler. Pıhtılaştırma işlemi kolloid haldeki bu maddelerin kimyasal maddeler ilavesi yardımıyla birbirleri ile birleşebilir yapıya dönüşmeleri ve yumaklaşmaya başlangıç olacak kümelerin oluşturulması işlemidir. Yumaklaştırma işlemi ise pıhtılaşmış taneciklerin birleştirilerek sudan çöktürme ile ayrılabilir yapıdan yumaklar haline getirilmesidir. Yumaklaştırma işlemi için suya yavaş karıştırma yapılır.

Koagülasyon işlemi için kullanılabilecek maddeler;

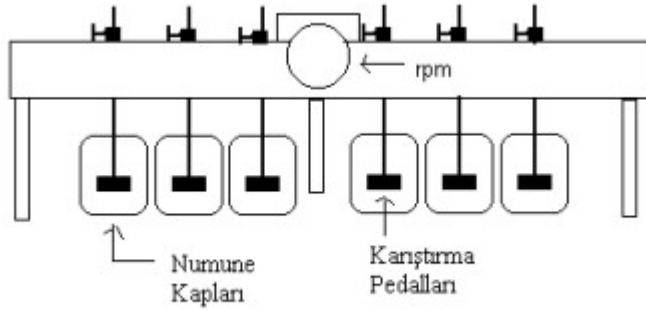
- Alüminyum sülfat
- Demir(III) klorür
- Demir sülfat
- Sodyum alüminat
- Amonyaklı alüminyum sülfat

Deney atıksu arıtma proseslerinin simüle edilmiş halidir.

## C. DENEYİN YAPILIŞI

### Kullanılan Araç Gereçler

- Jar test düzeneği



- 6 adet cam beher(1L veya 500 ml)
- 2 adet 1 L'lik balon joje
- Tartım kapları
- Spektrofotometre (Bulanıklık deneyi için)

### Kullanılan Kimyasallar

Alüminyum sülfat(alum çözeltisi), %10 luk: 10 gr alüminyum sülfat  $Al_2(SO_4).18H_2O$  tartılır ve bir miktar distile suda tamamen çözülerek 1L'ye tamamlanır.

pH ayarlamasi için: 0.1M  $H_2SO_4$ , 0.1M NaOH kullanılır

### Deneyin yapılışı

#### En uygun Koagulant Dozunun Bulunması

- Beherlere 1000ml (500ml) su numunesi konulur ve numuneler deney düzeneğine yerleştirilir. Suyun ilk pH, bulanıklık, sıcaklık değerleri kaydedilir.
- Her bir beher belirlenen miktarlarda alum çözeltisi ile dozlanır.
- Dozlamadan sonra numunelere 100 devir/dakika(rpm) hızla 1 dakika boyunca hızlı karıştırma yapılır.
- Daha sonra numuneler 30-40 rpm'de 20-30 dk yavaş karıştırılır. Gözler görülen yumakların oluşumuna kadar geçen süre, meydana gelen yumakların boyut ve görünüşü not alınır.
- Yumaklaşma işleminden sonra pedallar çıkarılır ve beherler 30 dk çökmeye bırakılır.



- 30 dk sonra beherlerdeki çamur derinlikleri ölçülür ve yaklaşık olarak hesaplanır. Üstteki berrak kısımdan çökelmeyi dağıtmadan numune alınarak dozlama yapılmış her bir beher için renk, bulanıklık ve ph ölçümleri yapılır.
- Elde edilen sonuçlar yeterli değilse koagülant dozajı değiştirilerek en uygun doz bulununcaya kadar deneye devam edilir.

#### En uygun PH değerinin bulunması

- Bir önceki bölümde yapılan kavanoz deneyinde kullanılan pıhtılaştırıcının en uygun dozu kullanılarak PH değeri 6.0, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5 ve 9.0'a getirilmiş numunelerde yukarıdaki işlemler tekrarlanır. ( Numunelerin Ph değeri 0,1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> veya 0,1 N NaOH kullanılarak pıhtılaştırıcı ilavesinden önce ayarlanmalıdır).
- İşlem sonunda beherlerde oluşan çamur derinlikleri ölçülür ve yaklaşık hacimleri hesaplanır. Berrak kısımdan numune alınarak her bir beher için PH renk ve bulanıklık ölçümü yapılır.

#### **D. HESAPLAMALAR**

- Bulanıklık-pıhtılaştırıcı dozu ve rengin tersi pıhtılaştırıcı dozu arasında grafik çizilir.
- Renk ve bulanıklığın başlangıç ve son pH değerine göre değişimi grafikte gösterilir. En uygun pıhtılaştırıcı dozundaki en uygun başlangıç pH değeri tespit edilir.
- Kullanılan pıhtılaştırıcı dozajı ve pH için( bulanıklığın tersi- zaman) arasında bir grafik oluşturularak en uygun karıştırma hızı tespit edilir.
- Daha sonra (bulanıklık değerinin tersinin logaritması-zaman) arasında bir grafik çizilir. Deney sonuçlarına en uygun olan doğru çizilir ve eğimi bulunur.

## DENEY: TOPLAM ORGANİK KARBON TAYİNİ

### Genel Bilgiler

Atıksulardaki organik kirlenmeyi ölçen önemli parametrelerden biridir. Organik kirleticiler; sularda çözünmüş olan oksijeni tüketerek kirlenmeye sebep olan maddelerdir. Böyle maddeler antropojenik faaliyetler (ev atıkları, hayvan atıkları, gıda fabrikaları atıkları, kağıt fabrikası atıkları, mezbaha atıkları, dericilik atıkları vb.) sonucu sulara karışırlar. Karıştıkları sular durgunsa bunlar suyun dibinde toplanırlar. Buna sedimentasyon denir. Sedimentasyonla çöken organik maddeler içinde inorganik maddelerde bulunur. Organik ve inorganik maddelerin bir karışımı olan sedimentler bakteriler ve diğer organizmalar için iyi bir ortamdır. Böyle bir ortamda mikroorganizmalar suda çözünmüş oksijeni kullanarak sedimentteki organik maddeleri parçalarlar. Bunlarda su, CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, ve PO<sub>4</sub> meydana getirirler.

Bir su bitki ve hayvanların yaşamasına yetecek konsantrasyonda oksijen ihtiva etmiyorsa bu suya kirli su denir. Yani bir suyun yeterince oksijen ihtiva etmemesi o suyun kirli olduğunun bir ölçüsüdür. Kirlenmeye neden olan maddelerin büyük bir çoğunluğu yapılarında karbon ihtiva ederler. Karbon bakterilerinde yardımıyla oksijenle yükseltgenerek CO<sub>2</sub> oluşturur. 3 mg karbon için çözünmüş halde 9 mg oksijen gereklidir.

Su ve atıksularda bulunan toplam karbon aşağıda kısaca açıklanan kısımlardan oluşur.

**Toplam Karbon(TK):** Herhangi bir bileşikteki hem organik hem de inorganik karbonun tamamını ifade eder.

**Toplam İnorganik Karbon(TİK):** Karbon IV'ün oksitlerini, hidroksitlerini ve iyonlarını ifade etmek için kullanılır. Karbonat ve bikarbonatın tüm çözünmüş formlarını içine alır.

**Çözünür İnorganik Karbon(ÇİK):** TİK'un 0,45 µm porçaplı bir filtreden geçen kısmıdır. TİK'nun sadece çözünür türlerini içine alır.

**Toplam Organik Karbon(TOK):** Organik maddelere kovalent olarak bağlanmış tüm karbon atomlarıdır. Hem doğal hem de suni tüm organik maddeleri içine alır. Partikül organik maddeler(POM) ve çözünür organik maddelerin(ÇOK) toplamıdır. TOK: ÇOK + POM. Partikül organik karbon mikroskobik boyuttan makroskobik boyuta kadar çeşitli boyutlarda olabilir. Pratik olarak TOK şu şekilde hesaplanır. TOK: TK- TİK

**Çözünür Organik Karbon(ÇOK):** Çözülebilir organik karbonun tümünü içine alır. TOK'un 0,45 µm porçaplı bir filtreden geçen kısmıdır.

**Çözülemez Organik Karbon(NÇOK):** Tanecikli organik karbon olarak da bilinir ve TOK'un 0,45µm porçaplı bir filtrede kalan kısmıdır.

**Uçucu Organik Karbon(UOK):** Düşük molekül ağırlıklı hidrokarbonlar ve haloalkenleri içeren TOK'un gaz ayırma ile uzaklaştırılan kısmıdır.

**Uzaklaştırılmayan Organik Karbon(NUOK):** Gaz ayırma ile uzaklaştırılmayan organik madde olarak bilinir.

Su ve atıksulardaki organik karbon, çeşitli oksidasyon basamaklarındaki organik bileşiklerden oluşur. Bu karbon bileşiklerinden bazıları, biyolojik yada kimyasal proseslerle daha ileri

seviyelerde oksitlenebilirler ve buda BOD ve COD parametreleri kullanılarak karakterize edilebilir. Ortamda organik karbon bulunması durumunda, TOC (Toplam Organik Karbon) ölçümü için BOD yada COD uygun sonuç vermez. TOC, ortamdaki toplam organik muhtevanın ifade edilmesinde aynı tür bilgi vermemesine rağmen daha uygundur. TOC, organik maddelerin bulunduğu oksidasyon basamağından bağımsızdır ve ortamda bulunan organik olarak bağlanmış azot ve hidrojen elementlerden ve BOD yada COD ile ölçüldüğünde oksijen tüketimine katkıda bulunan inorganiklerden gelen oksijen tüketimini ölçmez.

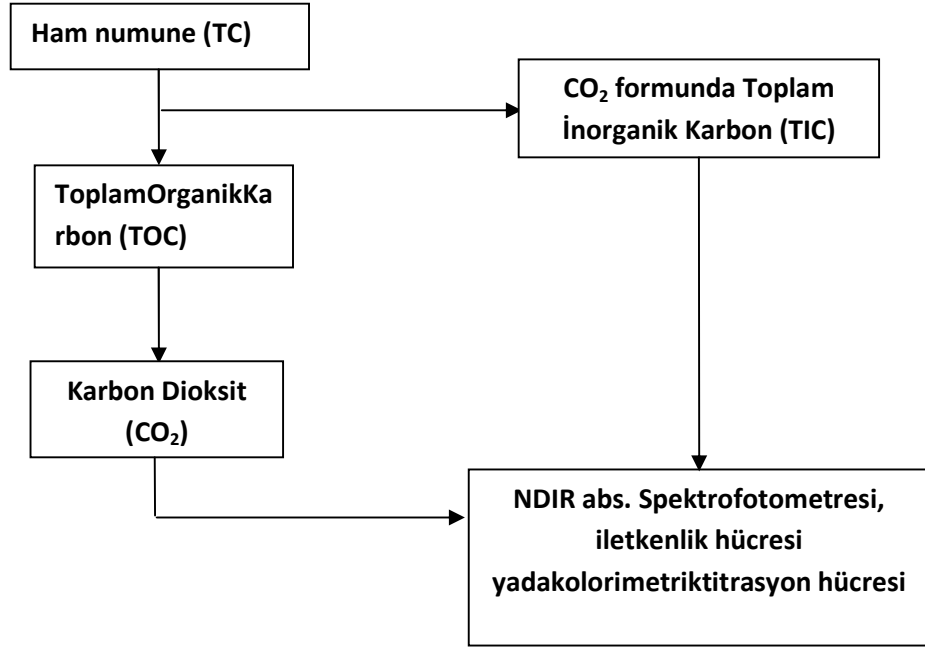
TOK analizinin ortak dezavantajı cihazın maliyeti ve organik karbonun oksidasyon durumunun belli olmamasıdır. Bu teknik biyolojik olarak parçalanabilen ve parçalanamayan maddeleri ayırt edemez. Ancak kısa sürede su numunesinin organik madde miktarını vermesi analizin en önemli avantajıdır.

### **Analizde Kullanılacak Kimyasal Maddeler ve Hazırlanmaları**

1. Standart çözeltilerin ve diğer reaktiflerin hazırlanmasında karbon içermeyen distile su kullanılmıştır.
2. İnorganik karbonu (IC) ayırmak için yapılan asitlendirmede konsantre  $H_3PO_4$  yada  $H_2SO_4$  kullanılabilmesine rağmen (HCl'den özellikle kaçınılması gerekir) cihazın el kitabı dikkate alınarak %21'lik fosforik asit(50 ml % 85'lik fosforik asit, saf su ile 200 ml'ye tamamlanarak) kullanılmıştır.
3. Organik Karbon Stok Çözeltisi: 2.1254 g. Susuz potasyum biftalat ( $C_8H_5KO_4$ ) karbon içermeyen distile suda çözülmüş ve çözelti 1000 ml'ye tamamlanmıştır. Bu çözeltinin karbon derişimi: 1 ml= 1 mg'dır. (1000 ppm karbon) potasyum biftalat bulunamazsa, uygun kararlılık, saflık ve çözünürlüğe sahip organik karbon içeren farklı bir bileşikte karbon kaynağı olarak kullanılabilir. Bu bileşikler arasında mono yadadisakaritler, fenoller, alkoller, florlu karboksilik asitler, alkaloidler, jelatinler ve sürfektanlar gösterilebilir. Hazırlanan stok çözelti  $H_3PO_4$  yada  $H_2SO_4$  ile  $pH \leq 2$ 'ye asitlendirilerek muhafaza edilebilir.

### **Analizin Yapılışı**

Organik olarak bağlanmış karbonu ölçebilmek için, organik moleküller tek karbonlu birim yada parçacıklara ayrılmalı ve kantitatif olarak ölçülebilecek moleküler formlara dönüştürülmelidir. TOC ölçüm metodlarında, özel Toplam Organik Karbon cihazı kullanılır. Herhangi bir toplam organik karbon cihazıyla TOK analizinde ilk adım inorganik karbon bileşenlerini asidik şartlar altında ortamdan uzaklaştırmaktır. Daha sonra su numunesi katalizör kullanan yüksek sıcaklıktaki fırına enjekte edilmekte ve organik maddeler bu fırında  $CO_2$  gazına dönüşmektedir. Organik karbonu  $CO_2$ 'ye çevirmek için; ısı ve oksijen, UV-radyasyonu, kimyasal oksitleyicileri yada bu oksitleyicilerin bir kombinasyonu kullanılır. Fırından çıkan  $CO_2$  direkt olarak İnfraredanalizatör vasıtasıyla direkt olarak ölçülebileceği gibi kimyasal olarak titre edilebilir yada metana indirgenerek alev iyonizasyondedektörü ile ölçülebilir.



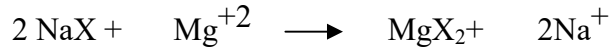
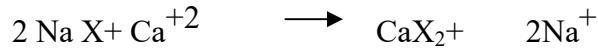
Şekil 1. Toplam Organik Karbonun Belirlenmesi için Proses Akım Şeması

**DENEY: İYON DEĞİŞİMİ METODU İLE SULARDAN BOR ARITIM****AMAC :**

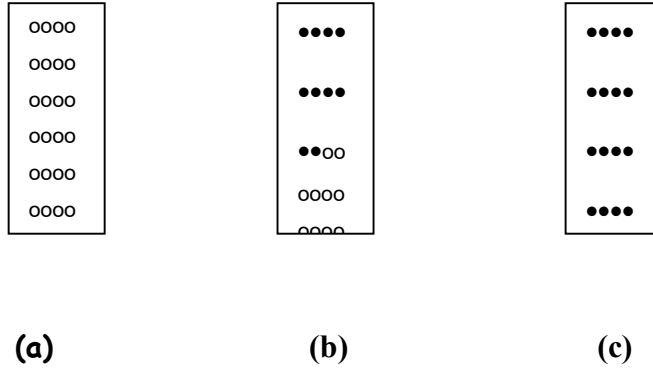
- İyon değişim kolonunun yükleme ve/veya geri kazanma işlemi sırasındaki davranışını incelemek.
- İyon değiştiricinin özelliklerini incelemek.

**TEORİK BİLGİLER:**

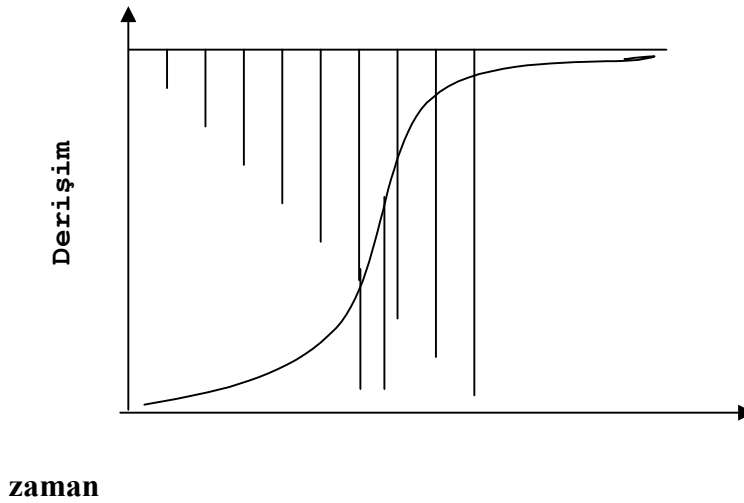
İyon değiştiriciler, yer değiştirebilir katyon ve anyonları taşıyan, çözünür olmayan katı maddelerdir. Yer değiştirebilir iyonlar elektrolit bir çözelti ile temas ettiğinde aynı işaretli diğer iyonların stokiometrik olarak eşdeğer miktarı ile yer değiştirebilirler. Yapısında yer değiştirebilir katyon olarak sodyum bulunduran bir iyon değiştiricinin (X olarak tanımlayalım), kalsiyum ve magnezyum iyonlarını içeren çözelti ile temas ettirilmesi durumunda, sodyum iyonu kalsiyum ve magnezyum iyonlarıyla aşağıdaki şekilde yer değiştirecektir.



İyon değişim özelliğinden yararlanılan ayırma işlemlerinde genellikle iyon değiştirici katının sabit olarak yerleştirildiği ve çözeltinin sürekli akışının sağlandığı dolgu kolon kullanılmaktadır.  $\text{A}^+$  katyonlu bir iyon değiştiriciyi içeren bir kolondan  $\text{C}_0$  derişiminde  $\text{B}^+$  iyonunu içeren çözeltinin geçirildiği bir sistemi inceleyelim. Başlangıçta tüm kolon A formundaki katyon değiştirici ile doludur (Şekil 1-a).  $t=0$  anında kolonun tepesinden  $\text{C}_0$  derişiminde  $\text{B}^+$  içeren çözelti geçirilmeye başlamaktadır. Aradan belli bir süre geçince, kolondaki A katyonu yerini B katyonuna bırakacaktır. Dolayısıyla iyon değiştirici kolonun tepesinden başlamak üzere yavaş yavaş B formuna dönüşecektir. Bir süre kolonun üstte belli bir bölümü B formunda, belli bir bölümü A ve B formunda karışık ve belli alt bir bölümü de A formunda iyon değiştirici içerecektir. (Şekil 1-b). Temas süresi arttıkça A formundaki kolonun alt bölgesi azalacaktır. Sonuçta kolonun tamamı B katyonu ile doymuş hale gelecektir (Şekil 1-c). Bu zamandan sonra kolonda herhangi bir iyon değişimi olması söz konusu değildir. Çıkış akımında belli aralıklarla  $\text{B}^+$  katyonunun derişiminin ölçülmesi durumunda, Şekil 2’de görülen derişim zaman eğrisi elde edilecektir. Şekilde gösterilen taralı alan kolonun dengedeki iyon değişim kapasitesini göstermektedir. Bu tür sistemlerde derişim– zaman eğrileri genellikle “S” şeklindedir. İyon değişim mekanizması, katyonların türleri, akış hızı, katyonların çözeltideki derişimleri bu eğrinin şeklini etkileyen parametreler olarak sayılabilir.



Şekil 1. Dolgulu kolonda iyon değişiminin aşamaları



Şekil 2. Dolgulu kolonda tipik derişim – zamaneğrisi

## **DENEYSEL :**

### **Düzenek**

İyon değişim deneyleri, ceketli cam kolon reaktörde yapılacaktır ( Şekil 3). Öğrenciler deneye başlamadan önce aleti incelemek ve tanımakla yükümlüdürler. Çözeltilerin bor analizi titrimetrik yöntemle yapılacaktır. Deneysel çalışmada cam kolon reaktör, beher (100 ve 1000 ml'lik), balon joje (50 mL, 2 L'lik) ve pipet ( 5 ve 10 ml'lik) gerekli olacağından deneye başlamadan bunların kontrol edilmesi ve eksiklerin giderilmesi gerekmektedir.

### **Kimyasallar**

Borik asit (Bor çözeltisini hazırlamak için)

Mannitol (Bor analizi için)

KOH (0.02N 'lik çözelti) (Bor analizi için)

HCl (0.1N'lik çözelti) (Bor analizi için)

PUROLİTE S 108 spesifik bor reçinesi

**BOR TAYİNİ:** Bor içeren çözelti (5 mL) 100 mL'lik behere aktarılır ve üzerine 50 mL saf su ilave edildikten sonra pH değeri 7.6'ya ayarlanır ve pH düşüşü sabitleninceye kadar mannitol ilave edilir. Bu aşamadan sonra çözelti 0.02 N KOH ile tekrar pH 7.6 oluncaya kadar titre edilir ve baz sarfıyatından bor miktarı hesap edilir. Bor miktarı hesaplanmadan önce bazın standardizasyon faktörü hesaplanmalıdır. Hesap formülü aşağıdaki gibidir.

$$Bor(mg / L) = \frac{(V1 - 0,2) * 1000 * 0,21627 * 1000 * SF}{V2}$$

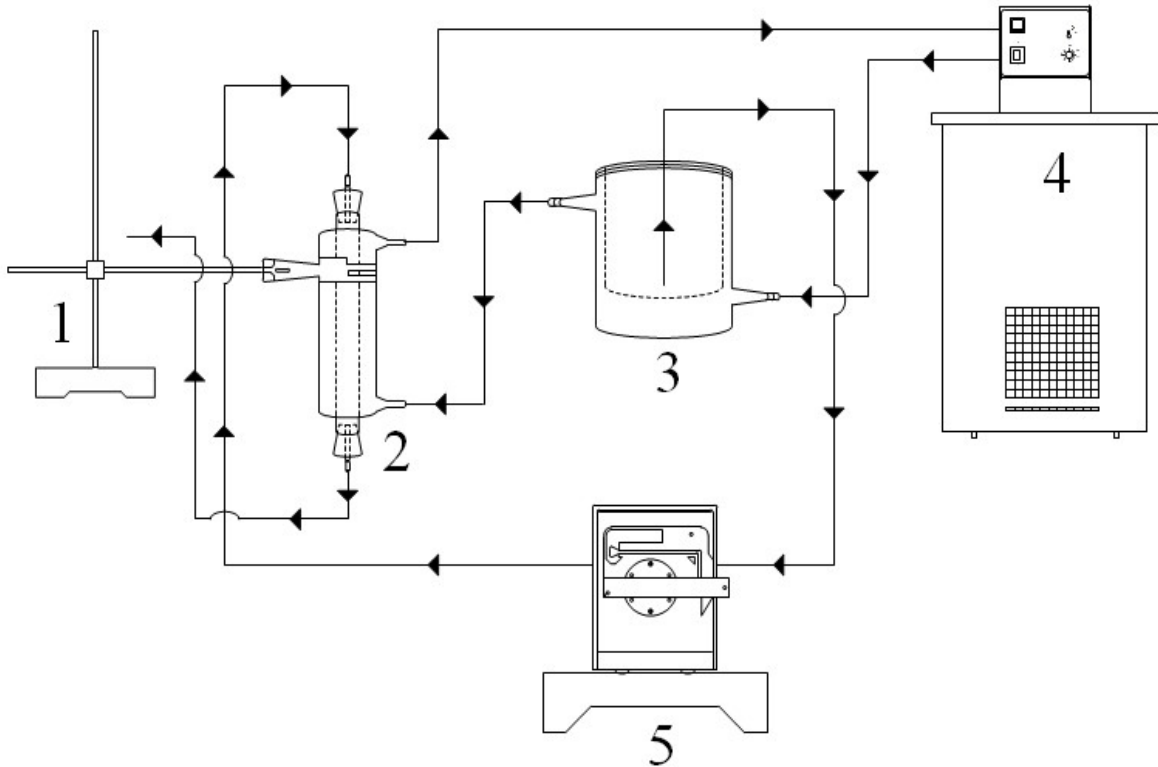
V1: Baz sarfıyatı (ml)

V2: Alınan çözelti hacmi (ml)

SF: Standardizasyon faktörü

### Sonuçların Değerlendirilmesi

- Derişim–zaman eğrisini yer değıştiren bor için çiziniz ve irdeleyiniz.
- Aynı grafikleri normalize edilmiş derişime (  $C/C_0$ ) karşı yatak hacmi sayısı şeklinde tekrarçiziniz.
- Kolonun teorik iyon değışim kapasitesini hesaplayınız.
- Akış hızının artırılması veya azaltılması yukarıda hesaplanan değeri ne yönde etkileyecektir. Tartışınız.



**Şekil 3.** Deney düzeneği (1:kelebek, 2:kolon reaktör, 3:rezervuar, 4:termostat, 5: peristaltik pompa)

### DENEY: ENGELLİ ÇÖKELME



## DENEYİN AMACI:

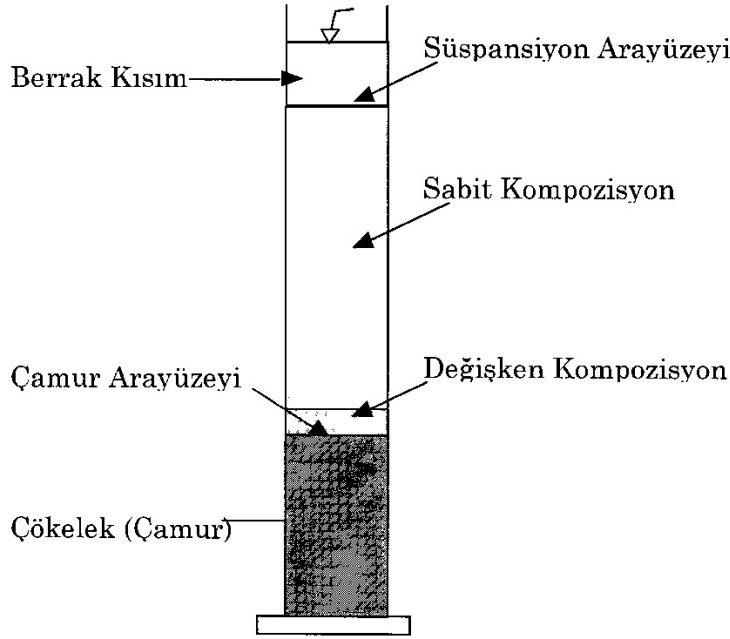
Farklı konsantrasyonlara sahip süspansiyonların çökelme hızlarının bulunması ve değişik çökelme tiplerinin gözlenmesi.

## 1. TEORİK BİLGİLER

Çökelme bir katı sıvı ayırma tekniği olup, bir sıvı içerisindeki süspanse katıların ağırlıkları yardımıyla çöktürülmesi işlemidir. Genel olarak bu teknik içme sularının arıtılmasında kullanıldığı gibi atıksuların arıtılmasında da kullanılmaktadır. Çökelme atıksuların arıtılmasında ilk çöktürme havuzundaki taneli maddeleri, aktif çamur çöktürme havuzundaki biyolojik flokları ve kimyasal koagülasyon proseslerinde oluşan kimyasal flokları uzaklaştırmak için kullanılır. İçme sularının arıtılmasında yumuşatma işlemiyle ortaya çıkan çamurların su ortamından ayrılmasında kullanılır.

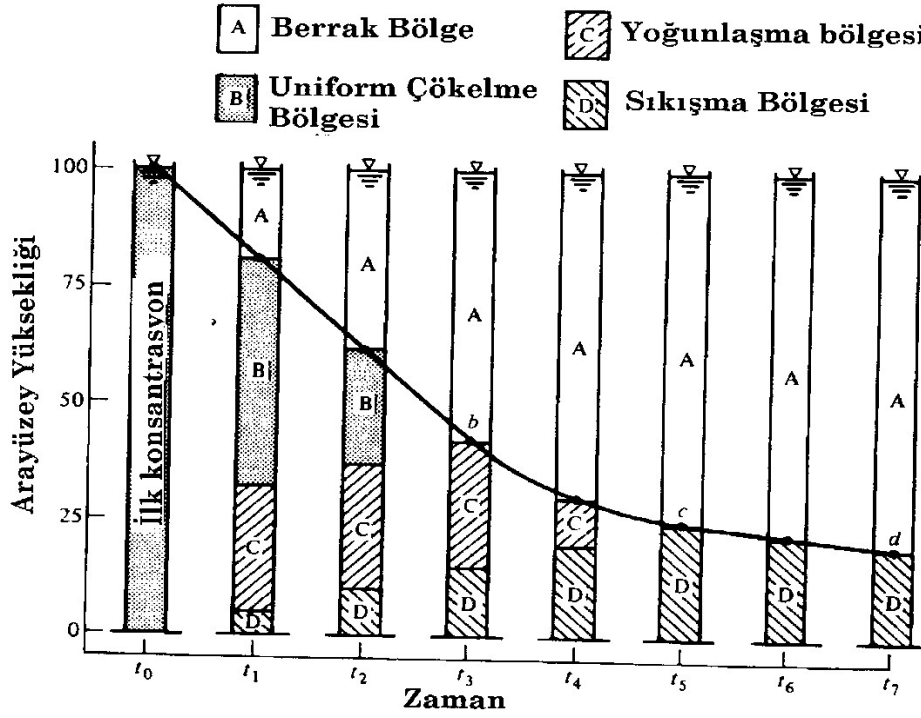
Çökelen tanelerin çökelme biçimleri ve konsantrasyonlarına bağlı olarak 4 ayrı tip çökelme meydana gelmektedir. Bunlar taneli, floklu, engelli ve sıkışmalı çökelme olarak sıralanabilir. Birinci tip çökelme düşük katı madde konsantrasyonuna sahip olan sulardaki tanelerin çökmesi sırasında oluşur. Taneler birbirinden bağımsız olarak hareket ederler ve tanelerin birbirlerinin çökmesi üzerine önemli bir etkisi yoktur. Genelde atıksulardan kum tanecikleri ve grit uzaklaştırmada kullanılır. Floklu çökeltmede ise taneler birbirleri ile yapışarak büyürler ve taneciklerin kütlelerinin artmasıyla birlikte çökelme hızları da artar. Daha çok ilk çöktürme havuzunda arıtılmamış atıksular ile biyolojik arıtım sonrası son çöktürme havuzundaki biyolojik flokların çökelmelerinde rastlanır. Bu tip çökelmeye kimyasal flokların uzaklaştırılması sırasında da karşılaşılır. Engelli çökelme taneciklerin civardaki taneciklerin çökelmelerini engelledikleri durumlarda olur. Taneler birbirlerine göre sabit bir pozisyonda kalacak şekilde çökelerler ve taneler bir bütün olarak davranırlar. Çökelen kütlenin en üstünde bir katı sıvı arakesiti meydana gelir. Bu tip çökelmelere biyolojik arıtım tesislerinde ikinci çöktürme havuzlarında rastlanır. Sıkışmalı çökelme türüne de çok yüksek katı madde konsantrasyona sahip sularda görülür. Çökelme olayından ziyade çökelen taneciklerin, üstlerine gelen yeni taneciklerin ağırlıklarından dolayı biraz daha sıkışmasından dolayı meydana gelir. Bu tür çökelmeye daha çok atıksu arıtma tesislerinde ortaya çıkan çamurların yoğunlaştırılmasında ve ikinci çöktürme havuzunun derin kısımlarında rastlanır. Bir çökelme olayı sırasında yukarıda sayılan 4 tip çökeltmeden birden fazlasının meydana gelmesi sık rastlanılan bir durumdur ve bazı durumlarda dört tip çökeltmenin hepsinin birden meydana gelmesi de mümkündür.

Su içerisindeki süspansiyonun özelliğine bağlı olarak meydana gelen çökelme şekil 2'de gösterilmektedir.

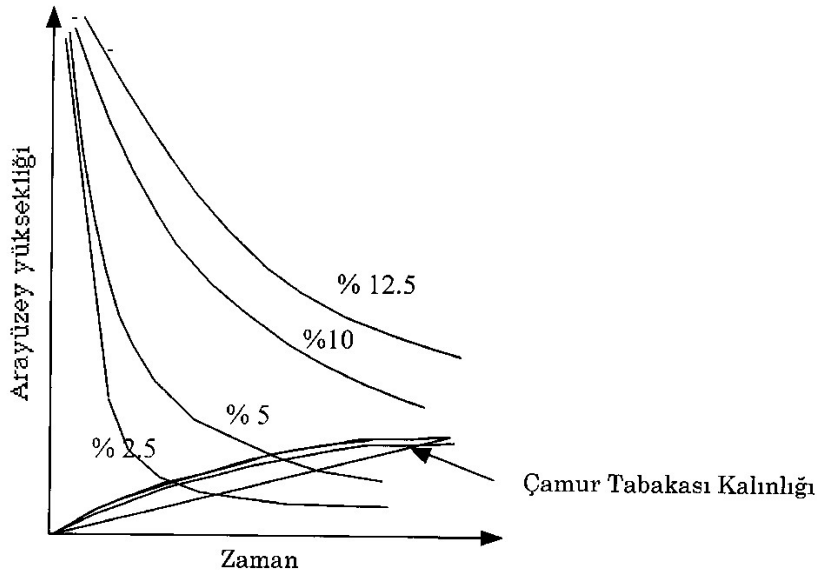


**Şekil 2.** Durgun bir su içerisindeki çökeltme olayları

Şekil 2'de 4 ayrı bölge bulunmaktadır. Bunlardan birincisi tüm süspansiyonun tamamen ayrıldığı berrak en üst kısım, ikincisi ise sabit kompozisyon bölgesidir. Bu bölgede stokes kanununa bağlı olarak taneli bir çökeltme görülmektedir. Tüm taneler sabit bir hızda çökeltirler. Üçüncü bölgede ise konsantrasyon oldukça fazladır ve kolonun dibine doğru çamur bölgesi oluşmaktadır. Çamur bölgesi ile sabit kompozisyon bölgesi arasında değişken bir yapıya sahip olan bir bölge daha vardır. Katı sıvı arayüzeyi alçaldıkça alt taraftaki çamur yüksekliği de artar. Katı-sıvı arayüzeyinin çamur bölgesinden olan yüksekliğinin, çamur bölgesinin yüksekliğine eşit olduğu nokta kritik nokta olarak bilinir ve çökeltme hacminin bir ölçüsüdür. Süspansiyonun arayüzey alçalma hızı süspansiyonun katı madde konsantrasyonuna bağlıdır. Şekil 3'de çökeltme sırasında katı-sıvı ara kesit alçalmasını durumu, Şekil 4'de ise farklı süspanse katı madde konsantrasyonuna sahip çözeltilerin zamanla çökeltme hızlarındaki değişimler gösterilmektedir.



Şekil 3. Katı sıvı arakesit alçalması ve çamur bölgesinin yükselmesi



Şekil 4. Farklı katı madde konsantrasyonuna sahip süspansiyonların zamanla çökme hızlarındaki değişimler

Şekil 4'den daha yüksek katı madde konsantrasyonuna sahip süspansiyonların doğrusal çökme hızından sapmaların daha hızlı olduğu görülmektedir. Bu tür grafiklerden ilk çökme hızları grafiğin ilk kesimindeki doğrusal kısmın eğiminden hesaplanır. Akı ise şu şekilde hesaplanır.

$$\text{Akı (g/cm}^2 \text{ saat)} = \text{İlk Çökme Hızı (cm/saat)} \times \text{Katı Madde Konsantrasyonu (gram/cm}^3 \text{)}$$

İlk çökelme hızı şekil 4'deki grafiklerin ilk kısımlarını oluşturan lineer kısmın eğimine eşittir. Bu şekilde farklı katı madde konsantrasyonlarına sahip süspansiyonların ilk çökelme hızları belirlenerek süspansiyondaki katı madde yüzdesine karşılık grafiğe aktarıldığında, çamur yoğunlaştırıcılar ve son çöktürme havuzlarının dizaynı için gerekli parametrelerin elde edildiği akı grafikleri elde edilir.

## 2. DENEYİN YAPILIŞI

1-Kil gibi su içerisinde iyi süspansiyon oluşturan toz bir maddeden 1.5 L su içerisinde farklı miktarlarda karıştırarak % 2.5, 5, 10 ve 12.5'luk katı madde içeren süspansiyonlar hazırlayın. Su miktarı çöktürme kolonu içerisine ilave edildiğinde kolonun en üst kısmında 5 cm aşağıda kalacak şekilde olmalıdır.

2-Süspansiyon hazırlama kaplarını iyice karıştırarak, en yoğunundan başlayarak her birini çöktürme kolonlarına dökünüz.

3-Kolonları bağlı oldukları yerlerden uzaklaştırarak kauçuk tıplarını kapatınız ve dikkatlice bir kaç defa ters çeviriniz.

4-İyice karıştırılmış kolonları daha sonra yerine tekrar yerleştiriniz ve bir kronometre tutarak belli zaman aralıklarında katı sıvı arakesit yüzeyinin alçalmasını aşağıdaki tabloya işeyiniz.

5-Bu arada özellikle düşük katı madde konsantrasyonuna sahip olan süspansiyonlarda dipte oluşan çamur bölgesinin yükseklik artışını da kaydediniz.

## 3.DENEY SONUÇLARININ HESAPLANMASI

| Zaman (dak) | Çamur Konsantrasyonu (%) |     |     |      |      |
|-------------|--------------------------|-----|-----|------|------|
|             | 2,5                      | 5,0 | 7,5 | 10,0 | 12,5 |
| 0           | 0                        | 0   | 0   | 0    | 0    |
| 5           |                          |     |     |      |      |
| 10          |                          |     |     |      |      |
| 15          |                          |     |     |      |      |
| 20          |                          |     |     |      |      |
| 30          |                          |     |     |      |      |
| 40          |                          |     |     |      |      |
| 50          |                          |     |     |      |      |

|                                              |  |  |  |  |  |
|----------------------------------------------|--|--|--|--|--|
| Konsantrasyon (%)                            |  |  |  |  |  |
| Kullanılan ilk katı miktarı (g)              |  |  |  |  |  |
| Kritik noktaya ulaşıldığındaki yükseklik (m) |  |  |  |  |  |
| Son çökelek yüksekliği (m)                   |  |  |  |  |  |

Elde edilen veriler yardımıyla katı-sıvı arayüzey alçalma hızlarını bulunuz ve katı madde miktarına bağlı olarak ilk çökelme hızlarını grafiğe aktarınız.

## DENEY: VAKUM FİLTASYONU VE ÖZGÜL FİLTASYON DİRENCİNİN BELİRLENMESİ (ÇAMUR SUSUZLAŞTIRMA)

### DENEYİN AMACI:

Arıtma çamurlarının susuzlaştırılmasında kullanılan vakum filtrasyonuna ait parametrelerin incelenmesi ve filtrasyon direncinin belirlenmesi

### 1. TEORİK BİLGİLER

Vakum filtrasyonu çamurların su oranını azaltmak amacıyla yapılan bir temel işlemdir. Bir başka deyişle vakum filtrasyonu çamurun katılığını artırmak amacıyla yapılan bir işlemdir.

Vakum filtreleri mekanik su alma yöntemi olarak uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Vakum filtrasyonu basınç farkıyla çamurun bir filtre bezi üzerinden süzülmesi işlemidir. Süzülme esnasında filtre üzerinde birikerek yoğunlaşan çamur tabakası ayrıca bir filtre ayrıca bir filtre vazifesi yapmakta ve suyun tabakalaşması bu çamur kekinin tanecikleri arasında olmaktadır. pratikte çoğunlukla vakum filtrasyonu için dairesel döner filtre tamburları ve kısaca döner vakum filtreleri kullanılır. Vakum filtrasyonu esnasında filtre yüzeyinden geçen suyun debisi aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir:

$$Q = \frac{28 * \pi * \Delta P * d^4}{\eta * L} \quad 1$$

Q : Geçen su debisi (m<sup>3</sup>/saat)

$\Delta P$  : Basınç farkı

$\eta$  : Sıvının viskozitesi

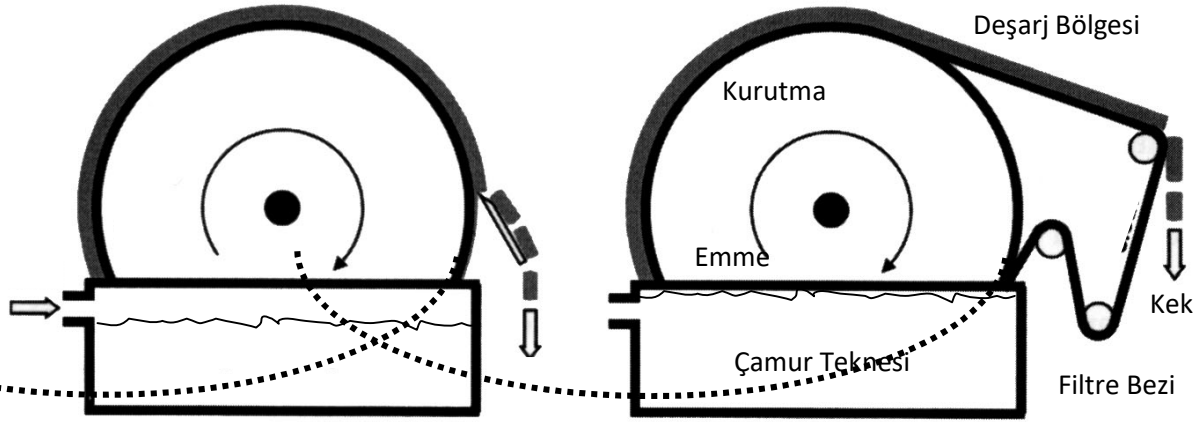
d : Kapiler çap

L : Kapiler boyu

Kapilerite, suyun çamur taneleri arasındaki hareketinde önemli bir rol oynadığından yukarıdaki ifade kullanılmaktadır. Filtre verimini arttırmak için şu yöntemler kullanılmaktadır.

1. Filtrasyon basıncını arttırmak
2. Kapilerite çapının arttırılması. Kapilerite çapının arttırılması çamur taneciklerinin büyütülmesiyle olmaktadır. Çamur taneciklerinin çapının arttırılması ise koagulantlar yardımıyla yada çamura iri taneciklerin ilave edilmesiyle yapılmaktadır.

3. Sıvının viskozitesinin azaltılması. Viskoziteyi düşürmek amacıyla suyu alınacak çamur ısıtılabilir.



Şekil 15. Döner tip vakum filtresi

Filtre tamburunun alt kısmı çamur içerisinde kalacak şekilde tamburun altına bir çamur teknesi yerleştirilir. Yavaş dönen tamburun içerisinde bir vakum oluşturulur. Tambur bu çamur teknesinin içerisinde geçerken vakum nedeniyle sıvı tambur içerisine doğru emilir. Ancak bu esnada tambur üzerindeki filtre bezi suyu geçirirken çamuru filtre bezi üzerinde tutar. Böylece kalınlaşan çamur kuru çamur olarak alınır. Vakum filtresi 3 bölümden oluşur.

1. Emme bölgesi: Tambur içerisindeki vakum sayesinde çamur emilir. Su tamburun iç kısmına geçerken çamur yüzeyde kalır.
2. Kurutma bölgesi: Su emme işlemi bittikten sonra tambur çamur teknesini terk eder ve artık içerisindeki vakumdan dolayı hava emmeye başlar. Emilen hava çamurun kurumasına sebep olur.
3. Deşarj bölgesi: Hava emişi sırasında filtre keki filtre bezine yapışır ve ayrılması zor olur. Bu kenetlenmeyi önlemek için uzaklaştırma (deşarj) bölgesinde yüksek basınç uygulanmakta ve kazıyıcının çamuru kolayca ayırması sağlanmaktadır.

Vakum filtrasyonu işlemi esnasında meydana gelen direnci iki bölüme ayırabiliriz. Birincisi filtre bezinin filtrasyona gösterdiği dirençtir. İkincisi ise filtre bezi üzerinde biriken çamur tabakasının filtreleme işlemine karşı gösterdiği dirençtir. İkincisi için kek direnci olarak ifade edilmektedir. Filtre ortamının direnci kek direnci yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Aslında filtrasyonu gerçekleştiren kısımda filtrenin üzerinde birikmekte olan çamur keki tabakasıdır. Filtre bezinin veya filtre ortamının bu olaya katkısı kekin oluşabilmesi için destek görevi görmesidir.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dP * A^2}{\mu} [W * V * R + A * R_f] \quad 2$$

Bu eşitlikte,

V= Filtrat hacmi (cm<sup>3</sup>)

T = Zaman (sn)

$\Delta P$  = Uygulanan vakum basınç farkı (gr / cm<sup>2</sup>)

A = Filtre alanı (cm<sup>2</sup>)

$\mu$  = Filtratın dinamik viskozitesi (gr / cm – sn)

R = Çamur kekinin özgül direnci (sn<sup>2</sup> / gr)

R<sub>f</sub> = filtre ortamının özgül direnci (sn<sup>2</sup> / gr)

W = Birim filtrat hacmi başına katı kek ağırlığı (gr / cm<sup>3</sup>)

Vakum filtrasyonunun dizaynında en önemli parametre R'dir. Çünkü R kekin geçirgenliğinin bir ifadesidir ve laboratuvar da deneysel olarak tespit edilir. 2 numaralı eşitliğin integrali alınır aşağıdaki ifade elde edilir:

$$\frac{t}{V} = \left[ \frac{\mu * W * R}{2 * \Delta P * A^2} \right] * V + \left[ \frac{\mu * R_f}{\Delta P * A} \right] \quad 3$$

Bu ifade aslında,

Y=B<sub>1</sub>\*V+B<sub>2</sub> şeklinde bir doğru denklemdir. Bu eşitlikte (t/V) y ekseninde, (V) x ekseninde gösterilmek üzere grafik çizilirse:

Doğrunun eğimi =  $B_1 = \left[ \frac{\mu * W * R}{2 * \Delta P * A^2} \right]$  ve

y eksenini kestiği nokta =  $B_2 = \left[ \frac{\mu * R_f}{\Delta P * A} \right]$  olmaktadır. Buradan spesifikkek direncini

hesaplayabiliriz:

$$R = \frac{2 * \Delta P * A^2}{\mu * W} * (\text{eğim}) \quad 4$$

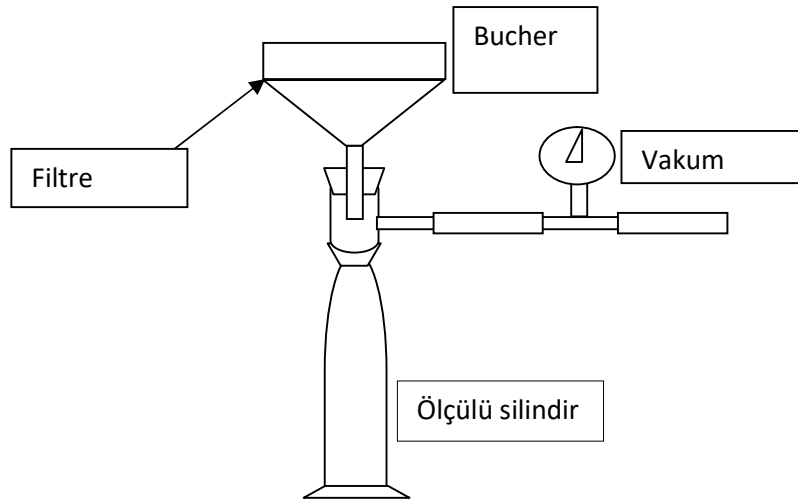


W'nun değeri ise filtre kağıdı üzerindeki kuru ağırlığın, deney süresince elde edilen filtrat hacmine bölünmesiyle elde edilir.

Vakum filtrasyonunda kekin permeabilitesini artırarak spesifik kek direncini azaltmak amacıyla birtakım kimyasallar kullanılmaktadır. Burada asıl amaç çamuru floklu bir yapıya sokmaktır. Kimyasal madde dozajı ile kek direnci arasında grafik çizilerek optimum kimyasal madde dozajı tespit edilebilmektedir.

### 1. DENEYİN YAPILIŞI

Deney aşağıdaki düzenekte yapılır.



Şekil 16. Deney düzeneği

Deney aşağıdaki gibi yapılmaktadır:

1. 4 L çamur alınır ve başlangıçtaki katı madde konsantrasyonu tespit edilir
2. Çamur 5 kısma ayrılır. Her bir numuneye değişik miktarlarda koagülant madde ilave edilir. Koagülant olarak  $\text{FeCl}_3$  veya  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  kullanılabilir. Uygun koagülant dozları olarak toplam katı yüzdesinin 2, 4, 6, 8, 10'u tavsiye edilmektedir.
3. Bucher Hunisine filtre kağıdı yerleştirildikten sonra hazırlan değişik koagülant dozu içeren her bir numuneden 100 mL çamurlu su huniye alınır.
4. 250 mm Hg civarında bir vakum basıncı altında süzme işlemi yapılır. Geçen her 10mL süzüntü için zaman kaydedilir. İşlem, çamur tamamen süzülene kadar devam ettirilir.

### 3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

1. Her bir koagülant dozu için vakum filtrasyonu verileri tablo halinde (t/V) değerleri hesaplanarak yazılır.
2. Her dozaj için (t/V) ile V arasında grafik çizilerek R ve  $R_d$  değerleri hesaplanır.
3. Koagülant dozuna karşı hesaplanan R ve  $R_d$  değerleri tablo haline getirilir.
4. Özgül filtrasyon dirençlerine karşı koagülant miktarları grafiğe geçirilerek optimum koagülant dozu hesaplanır.

## DENEY: AKTİF ÇAMUR MİKROORG. MİKROSKOBİK İNCELENMESİ

### Mikroskopun bölümleri;

**Oküler:** Mikroskoba baktığınız bölüm. İçinde mercek vardır.

**Gövde kolu:** Oküler ve objektifleri tutan parçadır. Mikroskobu taşımak için buradan tutarız.

**Hareketli revolver:** Objektif değiştirmek istediğimizde kullandığımız döner kafadır. İstenilen büyütmeyi sağlayacak objektif kullanılır.

**Objektifler:** Oküler gibi mercek ihtiva eden bir parça. Büyütme bunlar sayesinde olur. 100X objektife **immersiyon objektif** denir. İmmersiyon yağı damlatılarak kullanılır. Çünkü immersiyon objektifinin alt merceği çok küçüktür. Objeden gelen ışınlar yeteri kadar bu objektife geçemez. Bunu sağlamak için immersiyon (sedir) yağından yararlanılır. İmmersiyon yağının kırılma indisine camın kırılma indisine çok yakındır. Bu nedenle ışınlar kırılmadan merceğe geçebilir.

**Nesne tablası:** İncelenecek cisim bu tabla üstüne konulur.

**İris diyafram:** Işığın geldiği deliktir. Ayar kolu sayesinde ışın şiddeti değiştirilebilir.

**Aydınlatma:** Işık kaynağıdır. Eski mikroskoplarda elektrikli lambalar yerine yansıtıcı aynalar kullanılmaktadır.

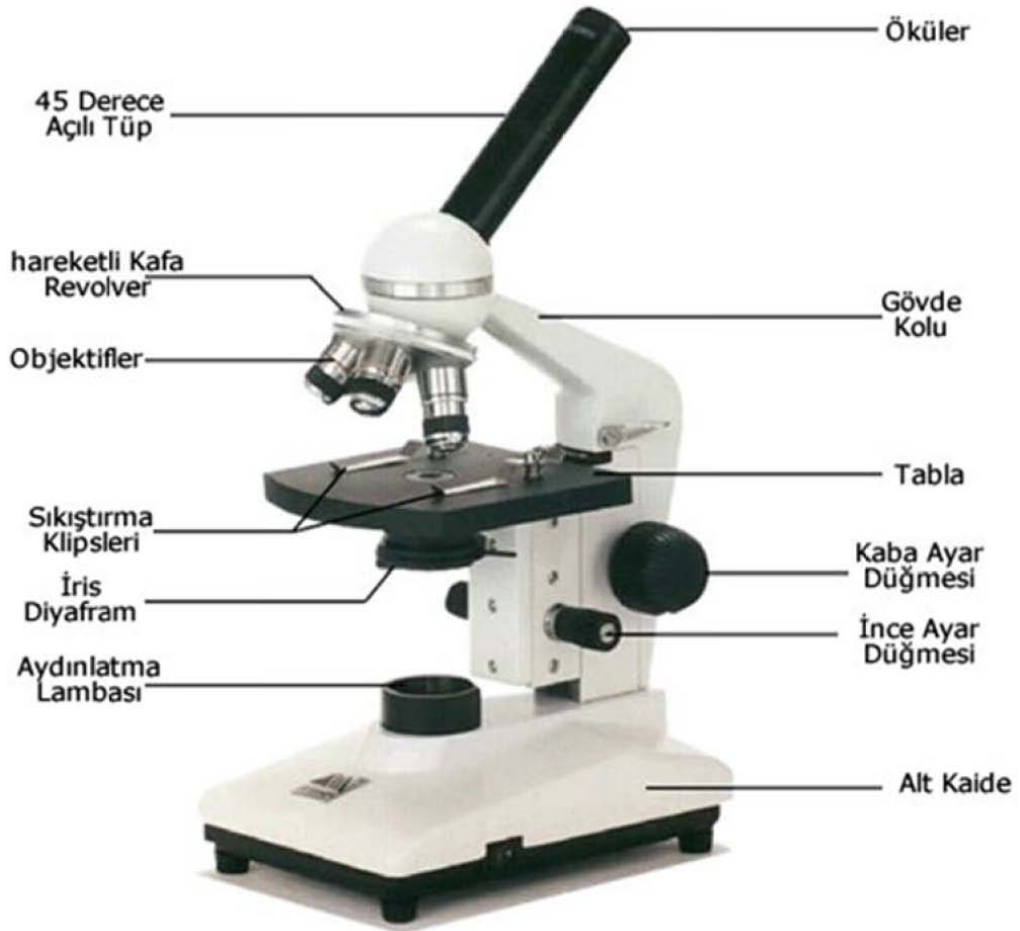
**Kaba ayar düğmesi:** Görüntüyü ayarlamakta kullanılır.

**İnce ayar düğmesi:** Daha hassas ayarlar sağlar. Görüntü kaba ayarla bulununca bu düğme sayesinde en net görüntü bulununcaya kadar ayar yapılır.

**Alt kaide:** Mikroskopu ayakta tutan parçadır. Mikroskop elde taşınırken bir elde alttan bu bölgeyi desteleyecek şekilde tutulmalıdır.

Bir mikroskopun büyütmesi şu şekilde yapılır;

Mikroskop büyütmesi= oküler X objektif



## **BASİT PREPARAT HAZIRLANMASI**

Maya, bakteri veya alg süspansiyonundan lam üzerine bir öze aktarılır. Yaklaşık 50-1000 µl hücre süspansiyonunun aktarılması çalışma kolaylığı sağlayacaktır.

Bundan sonra lamın üzerine lameli arada hava kalmayacak şekilde kapatılır.

Etrafa taştan kısımları kurutma kâğıdı ile kurutulur ve hazırlanan bu preparatı mikroskopta düşük büyütme güçlü objektifle incelenir. Gelen ışığı azaltmak amacıyla diyafram yavaş yavaş kapatılır. Görüntü bulunur.

Lamel üzerine sedir yağı damlatılarak immersiyon merceğı ile incelenir.

## **BOYAMA METOTLARI**

- 1- Basit Boyama
- 2- Negatif Boyama
- 3- Gram Boyama
- 4- Asit-Fast Boyama
- 5- Spor Boyama

## **Boyama Aşamaları: Preparat hazırlama – Boyama**

### **Preparat Hazırlama:**

- Temiz bir lamın ortasına bir damla damıtık su konur (sıvı kültürden boyama yapılacaksa, kültür yoğunluğuna bağı olarak buna gerek görülmeyebilir). (lamın temizlemesi için; lamın üzerine 1-2 damla ksilol veya etil alkol damlatılır ve temiz bir bezle silinir, damla sonra da silinen lam yüzü Bunzen beki alevinden geçirilir).
- Kültürden öze le alınan örnek, önce su damlası yanında ezilerek, daha sonra da su damlası ile azar azar karıştırılarak lamın üzerine ince bir film halinde yayılır (smear yapma).
- Havada kuruması sağlanır.
- Bakterilerin lam üzerinde tespiti (fiksasyon) yapılır. Bunun için genel olarak lamın alt yüzünü 3 defa Bunzen beki alevinden geçirmek gerekmektedir. Tespit sırasında preparat alev üzerinden seri olarak geçirilmektedir. Aksi takdirde MO.'lar dağılmış, şişmiş, patlamış ve deforme olmuş bir şekilde görülürler. Tespit işlemi bakterilerin ölmesini ve preparat yıkanırken lamın üzerinden akıp gitmemesini sağlamak için yapılır. Tespit sırasında hücre içindeki enzimler koagüle olarak aktivitesini yitirmektedir.

### **Boyama:**

Boyama da genellikle bazik boyalardan yararlanılmaktadır.

## **1- BASİT BOYAMA**

- Bakterilere ve mayalara uygulanan ve sadece tek bir boya çözeltisinin kullanıldığı yöntemdir. (metilen mavisi, kristal violet, fuksin, safranin). Mikroorganizmalar

boyamada kullanılan boyanın rengini alır.

- Preparat hazırlanır.
- Preparat üzerine kullanılacak boya ile kaplanır. (kristal violet 1dk, metielen mavisi 5dk, fuksin 30 sn)
- Boyama dökülerek preparat damıtık su ile yıkanır.
- Havada kurutulur ve mikroskopta incelenir.

### **HAREKETLİ BAKTERİLERİN MİKROSKOP ALTINDA İNCELENMESİ**

Mikroskopik hareket muayeneleri hemen sonuç alınması ve uygulama kolaylığı nedenleriyle sıkça tercih edilir. En çok kullanılanları Asılı Damla Yöntemi, Lam-Lamel arası muayene, Yarı – katı besiyerinde muayene, Flagella Boyaması.

- **Asılı Damla Yöntemi:**

Bu yöntemde çukur lam adı verilen özel lamlar kullanılmakta ve genel olarak aşağıdaki şekilde bir yol izlenmektedir;

- Çukur lam temizlenir ve çukur kısmın bört bir yanına çok az miktarda immersiyeon yağı sürülür.
- Temiz bir lamelin orta kısmına bir öze dolusu sıvı bakteri kültürü aktarılır.
- Çukur lam ters çevrilerek lamelin üzerindeki kültür damlası çukur kısmın tam ortasına gelecek şekilde lamel üzerine yavaşça bırakılır. Daha sonra preparat ters çevrilerek mikroskop tablasına yerleştirilir. Lamel üzerine bir damla immersiyeon yağı damlatılır ve mikroskopta immersiyeon objektifi ile hareket incelemesine geçilir.

### **3- GRAM BOYAMA**

Bakteriler hücre duvarındaki yapı farklılığından dolayı 2'ye ayrılır. Gram pozitif bakterilerin hücre duvarında çok az miktarda lipid bulunmasından dolayı alkol veya aseton ile yıkandığında kristal violetin rengini kaybetmez. Alkol hücre çeperindeki suyu alarak uzaklaştırır ve çeperi kurutur. Dolayısıyla mikroskopta menekşe renginde görünürler. Gram negatif bakterilerde hücre çeperindeki yağ oranı çok yüksek olduğundan alkol hücre çeperindeki yağı belli ölçülerde çözerek hücre çeperinde bir takım boşluklar meydana getirir. Kristal violet bu boşluklardan dışarı çıkar ve hücre yine şeffaf hale döner. Kısaca kristal violeti hücre içinde tutabilen bakteriler gram pozitif, tutamayıp hücre dışına bırakan bakteriler gram negatiftir.

- Preparat hazırlanır (18-24 saatlik kültürden preparat hazırlanır)
- Preparat kristal violet ile kaplanır ve 1 dk beklenir.
- Preparat bol damıtık su ile yıkanır.
- Preparat üzeri lügol çözeltisi ile kaplanır ve 1 dk beklenir. (iyot mordant görevi görür (renk sabitleyici))
- Lügol akıtılarak damıtık su ile yıkanır.
- Preparat uygun bir kaptaki %96'lık etil alkolde 10-15 sn beklenir (dekolorizasyon)
- Preparat damıtık su ile yıkanır.
- Preparat karşıt boya olan sulu fuksin ve safranin ile kaplanarak 15-30 sn beklenir.
- Preparat bol saf su ile yıkanarak havada kurutulur.
- Mikroskopta görüntü bulunduktan sonra immersiyeon merceğinde incelenir.

Mor renkli bakteriler =Gram pozitif

Pembe-kırmızı renkli bakteriler = Gram negatif

- Bacillus-staphylococcus – Gram pozitif
- Pseudomonas-Escherichia – Gram negatif

100X objektife immersiyon objektifi de denir ve objenin üzerine immersiyon yağı damlatılarak kullanılır. Çünkü, immersiyon objektifinin alt tarafı çok küçüktür. Objeden gelen ışınlar yeteri kadar bu objektife geçemez. Bunu sağlamak için immersiyon yağından yararlanılır. İmmersiyon yağının kırılma indisi camın kırılma indisine çok yakındır. Bun nedenle ışınlar kırılmadan merceğe girebilir.

### **SPOR BOYAMA**

Spor oluşumu Bacillaceae familyasının tipik özelliğidir. Spor bu familyanın üyeleri olan *Bacillus* ve *Clostridium* cinsi bakterilerde görülür. Sporlu bir bakteri belli koşullarda hücre içerisinde kendine özgü konumda ve büyüklükte endospor oluşturmaktadır. Endospor bulundurmeyen bakteri hücrelerine “vejetatif hücre” endospor oluşmuş hücrede endosporu çevreleyen hücre kısmına “sporangium” adı verilmektedir. Serbest sporlar çok hafiftirler ve hava akımıyla toz partiküllerine de tutunarak hemen her yere rahatlıkla taşınabilmektedirler. Bu nedenle sporlar önlem alınmadığı takdirde besiyerleri ve kültürleri önemli bir kontaminasyon kaynağı haline gelmektedir.

Sporların soğuk, sıcak, UV, osmoz gibi fiziksel etkilere ve kimyasal maddelere karşı vejetatif hücrelerden daha dayanıklı olması, kimyasal ve fiziksel yapılarının farklılığından kaynaklanmaktadır. Sporların 3 önemli özelliği vardır.

- 1 Kimyasal maddelere karşı geçirimsizlik
- 2 Sıcaklığa karşı dayanıklılık
- 3 Kırılma indisinin artması

Sporların bu özellikleri, özel spor boyama yöntemlerinin geliştirilmesine neden olmuştur. Ancak sporları basit boyama ve gram boyama yöntemleri ile de gözlemlemek mümkündür.

Sporlu boyama yöntemleri:

Endosporların normal çevre sıcaklıklarında boya içlerine almaya karşı dirençleri vardır. Ancak boya çözeltisinin sıcaklığı yaklaşık 100 °C'ye yükseltildiğinde endosporların bu direnci kırılmakta ve endosporlar boyayı içlerine alarak boyanmaktadır. Bu amaçla genel olarak zayıf bazik boya olan malaşit yeşili kullanılmaktadır. Malaşit yeşili zayıf bir pozitif yüke sahip olduğundan sporangiumun yüzeyine ve iç kısmına kuvvetli bir şekilde bağlanamaz. Bu boya sporangiuma kolayca girer ancak su ile yıkama sırasında kolayca hücreden ayrılır ve yıkama suyuyla da dışarı atılır. Buna karşılık boyama sıcak malaşit yeşili ile gerçekleştirilirse boyanın endospor içine girmesi kolaylaşır. Boya bir kez spor içine girdiğinde bu boyanın spordan yıkamayla uzaklaştırılması çok zordur. Preperat soğutularak yıkanırsa sporlar yeşil renkli, sporangium ise renksiz kalır.

### **Malaşit yeşili ile spor boyama**

- İncelencek bakteri kültürü ile preperat hazırlanır.
- Preperat içerisine bir miktar su ilave edilmiş bir beher üzerine yerleştirilir. Su banyosu

ya da alev üzerine yerleştirilir.

- Preperatın üzerine bir miktar malaşit yeşili kaplanır ve lamdan daha küçük kesilmiş kurutma kağıdı yerleştirilir. Kurutma kağıdı boya çözeltisini çekerek ıslanır.
- Ateş üzerinde 5-6 dk boyunca kurutma kağıdının kurumasına izin verilmeden malaşit yeşili ilavesi devam edilir.
- Süre sonunda kağıt bir pens ile atılır ve preperat yıkanır.
- Karşıt boya olan sulu fuksin ya da safraninsporangiumların tespiti için 20 sn kadar boyanır.
- Preperat tekrar yıkanır ve kurutulur.
- İmmersiyon merceği altında sporlar yeşil, sporangiumlar kırmızı gözlemlenir.

### **Mikroskopta Büyüklüğün Ölçülmesi**

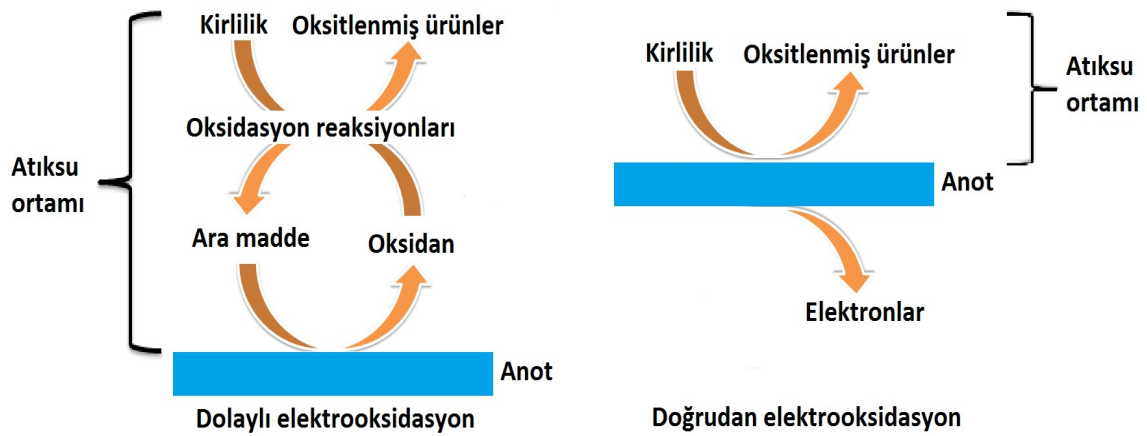
- 1/100 mm (10µm) bölmeli objektif mikrometre mikroskop tablasına yerleştirilir. Bölmeli kısım ışık kaynağına göre ortalanır. Oküler mikrometre okülerin içerisine takılır.
- Düşük büyütme güçlü objektif kullanılarak oküler mikrometrenin başlangıç çizgisini objektif mikrometrenin başlangıç çizgisi ile üst üste gelecek şekilde ayarlanır. Kullanılan objektife göre oküler mikrometrenin iki çizgisi arasındaki mesafe hesaplanır.
- Oküler ve objektif mikrometrenin birbiri ile çakıştığı çizgilerin başlangıç çizgisi ile arasındaki bölmeler hem oküler hem de objektif mikrometrede sayılır.
- Oküler mikrometrenin iki çizgisi arasındaki mesafe hesaplanır. Örn oküler mikrometrenin 80. Çizgisi objektif mikrometrenin 12. Çizgisi ile çakışmış olsun, objektif mikrometrenin her bölmesi 10 µm olduğuna göre 12. Aralık =120 µm olur. Oküler mikrometredeki her bölme  $120/80 = 1,5$  µm uzunluğunda olur.
- Bu işlemler yapıldıktan sonra objektif mikrometre kaldırılarak yerine ölçmede kullanılacak preperat konulur.
- Ölçülmesi istenen m.o. oküler mikrometrenin kaç bölmesini işgal ediyorsa bu değer yukarıdaki gibi bir örnek incelenecek olursa 1,5 µm ile çarpılarak m.o. boyu µm olarak hesaplanır.

**DENEY: ELEKTROOKSİDASYON İLE SULU ÇÖZELTİLERDEN BOYAR MADDELERİN GİDERİLMESİ****DENEYİN AMACI:**

Sentetik olarak hazırlanmış bir boya çözeltisinden faydalanılarak elektrokooksidasyon işleminin ve bu işlem üzerinde etkili parametrelerin saptanması.

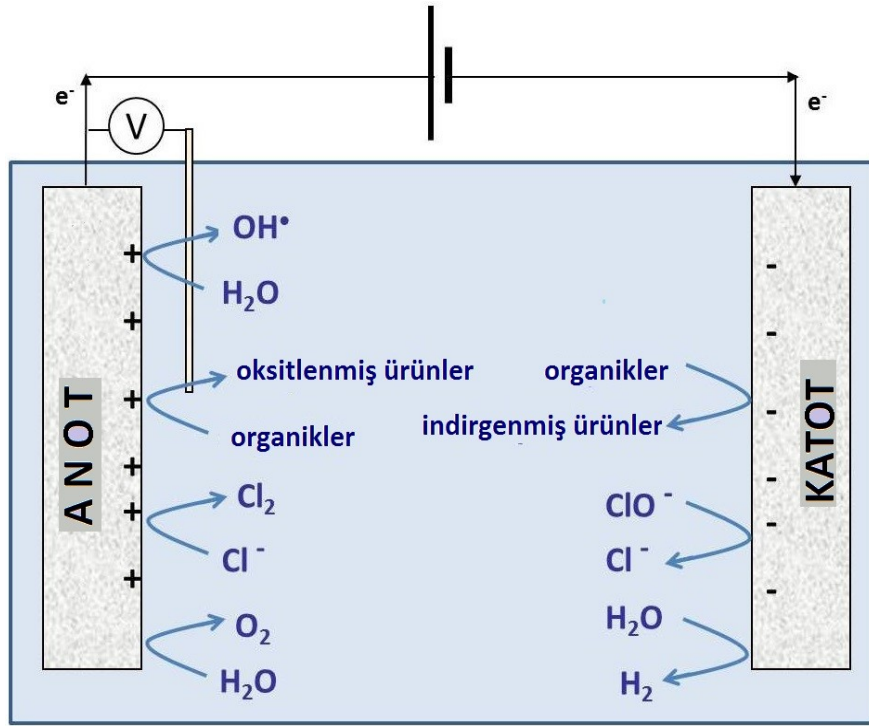
**1. TEORİK BİLGİLER**

Elektrooksidasyon; grafit, kaplanmış titanyum, bor kaplı elmas gibi çözünmeyen bir anot malzemesi kullanılarak organik maddelerin direk veya endirekt olarak oksitlenmesi esasına dayanır. Organik kirlilikler elektrokimyasal oksidasyon yöntemiyle direk veya dolaylı oksidasyon prosesi ile anot yüzeyinde parçalanabilir. Bu iki prosesin şeması Şekil 1 ve 2’de gösterilmiştir.



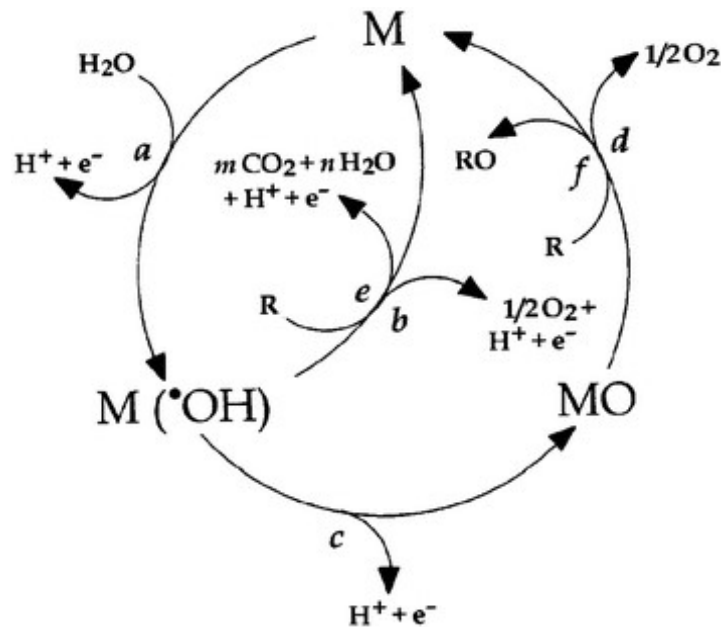
**Şekil 1.** Elektrokimyasal oksidasyon prosesinde kirleticilerin parçalanması





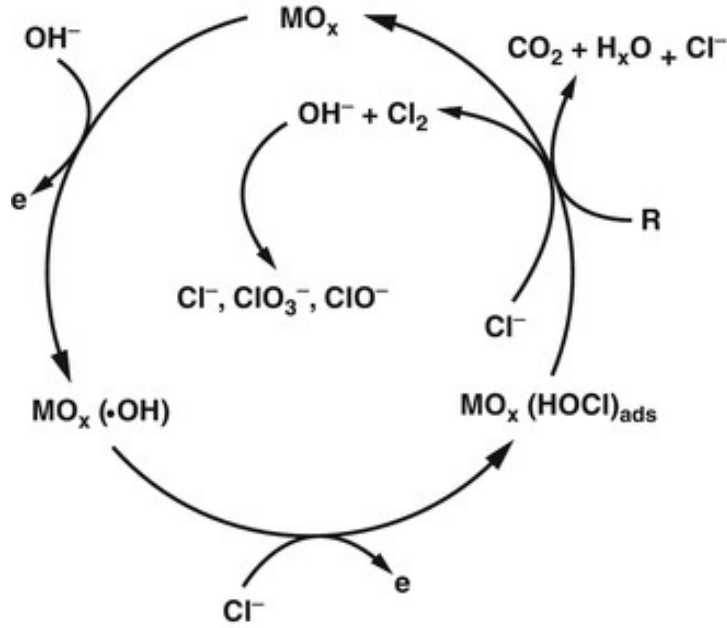
**Şekil 2.** Elektrokimyasal oksidasyon prosesinde kirleticilerin anot ve katot yüzeyinde parçalanma mekanizması

Direk anodikproseste kirleticiler ilk önce anot yüzeyine adsorbe olurlar ve daha sonra anot yüzeyinden elektron transferi gerçekleşir. Organik kirleticilerin direk oksidasyon hızı, anodun aktif noktalarına organik bileşiklerin difüzyon hızı ve uygulanan akım şiddeti yardımıyla anodun katalitik aktivitesine bağlıdır. Endirekt elektrooksidasyon süresince organik maddelerin oksidasyonun da etkili olan klor, hipoklorit, hidrojen peroksit ve ozon gibi ajanlar anodik olarak üretilebilir. Her iki oksidasyon mekanizması içinde reaksiyon şemaları Şekil 3 ve 4’de verilmiştir.



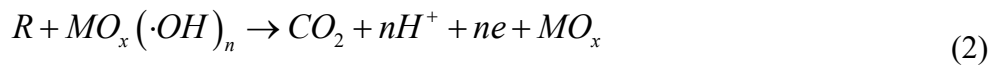
**Şekil 3.** Organik bileşiklerin aktif (a, c, d ve f reaksiyonları) ve aktif olmayan (a, b ve e reaksiyonları) anot yüzeyinde eş zamanı olarak anodikoksidasyonu

\*(a)Hidroksil radikallerin oluşumu ( $\cdot\text{OH}$ ), (b)Hidroksil radikallerinin elektrokimyasal oksidasyonu tarafından oksijen dönüşümü, (c)Daha aktif metal oksit oluşumu ( $\text{MO}$ ), (d)Daha aktif metal oksidin kimyasal ayrışması tarafından oksijenin dönüşümü, (e)Hidroksil radikalleri vasıtasıyla organik bileşiklerin ( $\text{R}$ ) elektrokimyasal parçalanması, (f)Daha aktif metal oksit vasıtasıyla organik bileşiğin ( $\text{R}$ ) elektrokimyasal dönüşümü



**Şekil 4.** Organik bileşiklerin ortamda klor bulunması durumunda anot yüzeyinde dolaylı anodikoksidasyonu

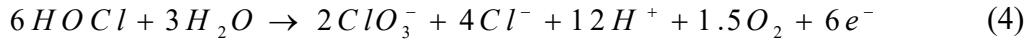
Direk anodikoksidasyon elektrokimyasal çevrim ve elektrokimyasal parçalanma olarak iki farklı yolla gerçekleştirilir. Elektroliz süresince aktif oksijenin iki oksit türü anot yüzeyinde elektrokimyasal olarak üretilebilir ( $\text{MO}_x$ ). Birisi kimyasal adsorplanmış aktif oksijendir ( $\text{MO}_{x+1}$ ) ve elektrokimyasal çevrimden sorumludur (Eşitlik 1). Diğeri elektrokimyasal parçalanmadan sorumlu olan fiziksel olarak adsorplanmış oksijendir ( $\cdot\text{OH}$ ) (Eşitlik 2).



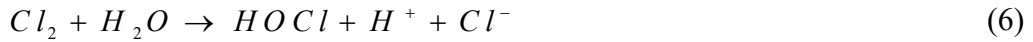
Burada;  $\text{R}$ , organik bileşikler;  $n$ , anot yüzeyinde adsorbe edilmiş olan  $\cdot\text{OH}$ 'nin sayısıdır. Elektrokimyasal çevrim sürecince organik maddeler sadece belli oranda parçalanır ve eğer tamamen ortamdan uzaklaştırılmak istenirse ardı sıra gelecek bir ilave artırım gerektirebilir.

Aksine elektrokimyasal dönüşümün son ürünleri CO<sub>2</sub> ve su tam bir arıtımın olduğunun göstergesidir. Fıstık sanayi işleme atıksularının elektrokimyasal oksidasyon ile arıtımında, anot yüzeyine adsorbe olmuş kirliliklerin belli derecede parçalanmasına direk anodik oksidasyon sebep olmasına rağmen, atıksuda kendinden var olan veya daha sonra eklenmiş olan klorun anodik reaksiyonlar sonucu dönüştüğü hipoklorit vasıtasıyla öncelikle indirekt elektrokimyasal oksidasyon ile gerçekleşebilir. Elektrokimyasal oksidasyon süresince indirekt reaksiyonlar aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir (Eşitlik 3-9). Hipoklorit (OCl<sup>-</sup>) (Eşitlik 7) atıksu ortamında organik maddeleri oksitleyebilen güçlü bir oksitleyicidir.

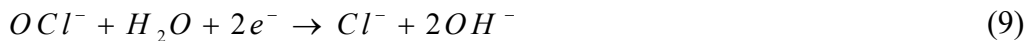
Anodik reaksiyonlar:



Çözelti reaksiyonları:



Katodik reaksiyonlar:



Elektrokimyasal tepkimeler elektrot-çözelti ara yüzeyinde gerçekleşen tepkimelerdir. Bu sistemlerde anotta gerçekleşen olaylara elektrokimyasal oksidasyon ve katotta gerçekleşen olaylara ise elektrokimyasal indirgenme adı verilmektedir. Anodik ve katodik olayların gerçekleşebilmesi çözelti-anot ara yüzeyinde iyon ya da moleküllerin elektrot yüzeyine adsorblanması ve bunların elektrokimyasal tepkimeye girmesi, elektrot malzemesinin özelliği, ortam koşulları, sıcaklık

vb. etkenlere bağlı olmaktadır. Elektrokimyasal tepkimelerin ara yüzeyinde gerçekleşen olaylarda anot, elektrot ve elektrolitin özellikleri ile uygulanan potansiyel, elektrokimyasal tepkimenin gidişini etkileyen etkenler önemlidir.

### **Elektrooksidasyon prosesine etki eden parametreler**

Yüksek organik kirlilik içeren atıksuların arıtımında elektrokimyasal proseslerin performansını etkileyen faktörler aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ Ön arıtım,
- ✓ Anot malzemesi,
- ✓ pH,
- ✓ Akım yoğunluğu,
- ✓ Eklenen destek elektrolit türleri ve konsantrasyonları,

**Ön arıtım:** Elektrooksidasyondan önce uygulanabilecek ön arıtım yöntemi bu prosesin verimini artıracaktır. Katı madde ayrımı iyi yapılmış olan bir atıksuyaelektrooksidasyonuygulandığında anotların pasivizasyonu engellendiğinden aynı akım yoğunluklarında daha yüksek artıma verimleri elde etmek mümkündür. Atıksuyun içinde bulunabilecek katı maddeler ortam direncini artırarak akım yoğunluğunun verimini düşürmekte ve buna bağlı olarak verilen akım ısıya dönüşerek hem elektrik maliyetlerini artırmakta hemde arıtma verimlerini düşürmektedir.

**Anot Malzemesi:** Anot malzemesi elektrooksidasyonu etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Anotların katalitik aktivitesi ve korozyona karşı olan direnci elektrooksidasyonu etkileyen en önemli faktörlerdir. Yüksek organik içerikli atıksularınelektrooksidasyonunda çeşitli anot malzemeler çalışılmıştır. Üçlü Sn-Pd-Ru oksit kaplı titanyum (SPR), titanyum üzeri karışık metal oksit kaplı titanyum (Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>), titanyum üzeri rutenyum oksit kaplama (Ti/RuO<sub>2</sub>), titanyum üzeri iridyum oksit kaplama (Ti/IrO<sub>2</sub>), PbO<sub>2</sub> ile kaplı titanyum (Ti/PbO<sub>2</sub>), grafit, SnO<sub>2</sub> kaplı titanyum (Ti/SnO<sub>2</sub>), platin kaplı titanyum (Ti/Pt), bor kaplı elmas (BDD) bunlardan bazılarıdır. Çizelge 1’de çeşitli anot malzemelerine ait oksijen dönüşüm potansiyel değerleri verilmiştir.

**Çizelge 1.**Bazı anot malzemelerine ait oksijen dönüşüm potansiyel değerleri

| Anot Türleri                             | Değer (V) |
|------------------------------------------|-----------|
| Pt                                       | 1,3-1,6   |
| IrO <sub>2</sub>                         | 1,6       |
| Grafit                                   | 1,7       |
| PbO <sub>2</sub>                         | 1,9       |
| SnO <sub>2</sub>                         | 1,9       |
| Pb-Sn                                    | 2,5       |
| Ebonex (Ti <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) | 2,2       |
| Si/BDD                                   | 2,3       |
| Ti/BDD                                   | 2,7-2,8   |

**pH:** pH, ortamda oluşan elektrolitik reaksiyonları direkt olarak etkilediği için büyük öneme sahiptir. Elektrooksidasyon için hidroksil radikallerinin oluşumu için pH birinci dereceden etkilidir. Belli pH değerleri dışında hidroksil radikallerinin oluşum yüzdesi büyük oranda azalacaktır. Ayrıca proses sonucunda pH'nın değişimi de söz konusudur. Elektrooksidasyondan pH giderek düşme eğilimi göstermektedir. Giderim verimleri başlangıç pH'ına bağlı olduğu kadar son durumdaki pH değerlerine de bağlıdır. Bazı çalışmalarda anot malzemesi türüne göre asidik şartlarda en iyi giderim verimleri elde edilirken, bazı çalışmalarda bazik veya nötrale pH değerlerinde en yüksek arıtma verimlerine ulaşılmıştır. Bu farklılıklar, muhtemelen atıksuların kompozisyonlarının kompleks olmasından ve kullanılan farklı pH aralıklarından kaynaklanmaktadır.

**Akım Yoğunluğu:** Elektrokimyasal arıtımda önemli işletme şartlarından biri de akım yoğunluğudur. Çünkü akım yoğunluğu reaksiyon hızını kontrol eden en önemli parametredir. Akım yoğunluğunun optimizasyonu elektrokimyasal arıtım yöntemi için çok önemlidir. Gerekinden fazla akım yoğunluğu uygulandığında maliyet artışı oluşabilir. Ayrıca arıtım çalışmalarında akım yoğunluğu ile arıtım süresi yakından ilişkilidir. Yüksek akım yoğunluğu uygulandığında daha kısa süreli bir arıtım gerçekleşmektedir.

**Eklenen Destek Elektrolit Türü ve Konsantrasyonu:** Elektrokimyasal arıtım proseslerinde elektrolit türü, atıksuyun iletkenliğinin artırılmasının yanında dolaylı elektrooksidasyonun hızını ve etkinliğini arttırmak içinde ilave edilir. İlave edilen elektrolitler anodik, katodik veya çözelti içerisindeki gerçekleşen reaksiyonlar yardımıyla dolaylı elektrooksidasyonu artmasına yardımcı olan ara oksidantlara dönüşürler. Başlıca elektrolit türlerine ait potansiyel farkları Çizelge 2'de verilmiştir. Artan elektrolit konsantrasyonu oluşacak oksidant miktarını artıracığı için belli noktalara kadar elektrooksidasyonun etkinliğini artırmaktadır.

**Çizelge 2.**Bazı kimyasal oksidant türlerine ait oluşma potansiyel değerleri

| Oksidant Türleri                                                                             | Oluşma Potansiyeli (V) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| H <sub>2</sub> O/O <sub>2</sub> (Atomik Oksijen)                                             | 1,23                   |
| Cr <sup>3+</sup> /Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> (Dikromat)                    | 1,23                   |
| Cl <sup>-</sup> /Cl <sub>2</sub> (Klor)                                                      | 1,36                   |
| Cl <sup>-</sup> /HOCl <sup>-</sup> (Hipokloröz asit)                                         | 1,47                   |
| Ag <sup>+</sup> /Ag <sup>2+</sup> (Gümüş (II) İyonu)                                         | 1,50                   |
| Cl <sup>-</sup> /ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (Klordioksit)                                 | 1,57                   |
| H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (Hidrojen Peroksit)                           | 1,77                   |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup> (Peroksodisülfat) | 2,01                   |
| O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub> (Ozon)                                                        | 2,07                   |
| H <sub>2</sub> O/•OH (Hidroksil Radikali)                                                    | 2,80                   |

**Elektrooksidasyon prosesinin avantajları**

1. Kimyasal bir reaksiyon oluşturmak için herhangi bir kimyasal madde eklemeye gerek kalmaz. Sadece elektronlar kullanılarak istenilen kimyasal maddeler elde edilebilmektedir. Böylece kimyasal maddeleri depolama ve taşıma problemi ortadan kalkmaktadır,
2. Basit ekipmanlar gerektirirler, genellikle düşük sıcaklık ve basınçta çalıştırılırlar ve özellikle elektriğin ucuz olduğu yerlerde oldukça düşük maliyetlidir,
3. Kolay uygulanabilmektedir ve reaksiyon istenildiği gibi kontrol edilebilmektedir ve oldukça etkin sonuçlar vermektedir,
4. Geleneksel metotlarla arıtilamayan toksik kirletici içeren atıksuların arıtılması sağlanabilmektedir.

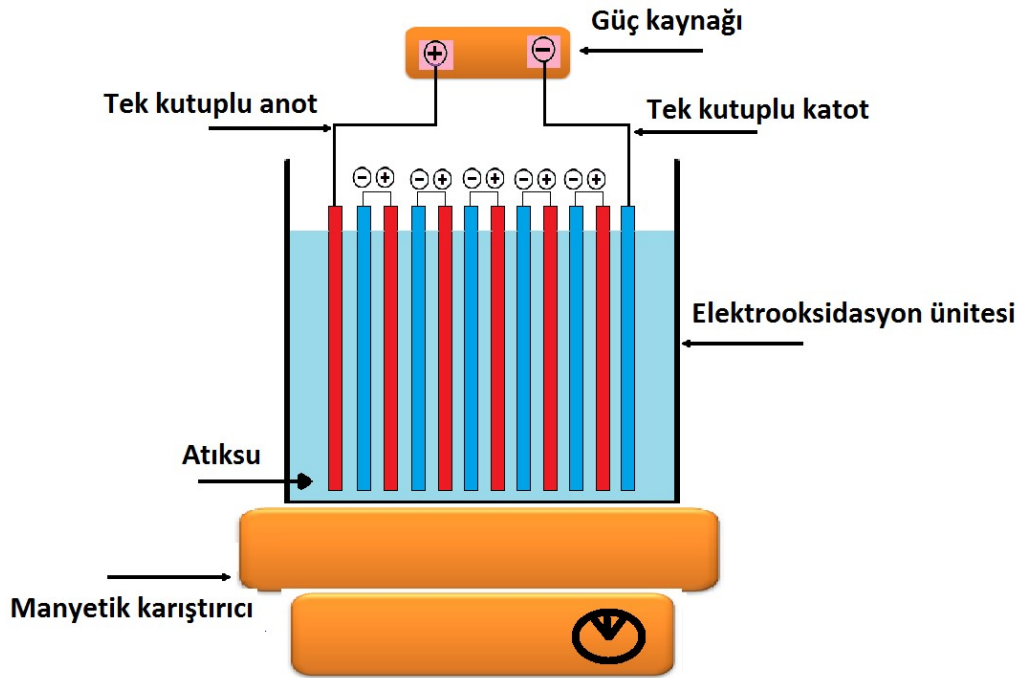
**Elektrooksidasyon prosesinin dezavantajları**

1. Elektrot kirliliğinin önlenmesi gerekmektedir (Elektrotların yüzeyinde geçirimsiz tabakalar oluşabilmektedir),
2. Ucuz ve uzun ömürlü elektrota ihtiyaç duyulmaktadır,
3. Arıtılacak suyun belli bir iletkenliğe sahip olması gerekmektedir,

4. Konsantrasyon düştüğü için (kütle taşınımı sınırlı olmasından dolayı) akım verimliliği azalabilir.

#### Elektrot düzenlemeleri (konfigürasyonları)

En basit şekli ile elektrooksidasyon reaktörü bir anot ve katottan oluşur. Elektrotlar harici bir güç kaynağına bağlandığında, katot pasifleşmeye maruz kalırken anot malzemesi yükseltgenme sebebi ile zamanla elektrotun yüzeyi aşınır ve etkinliğini kaybeder. Fakat anot çözünme hızını en aza indirmek için daha büyük yüzey alanına sahip elektrotlar gerektiğinden yukarıda anlatıldığı şekilde bir düzenleme çoğu zaman uygun değildir. Bu handicap, elektrotların tek kutuplu modda seri yada paralel bağlanması ile aşılmıştır. Şekil 5'te bir çift anot ve katodun tek kutuplu modda paralel bağlı olduğu durum görülmektedir.

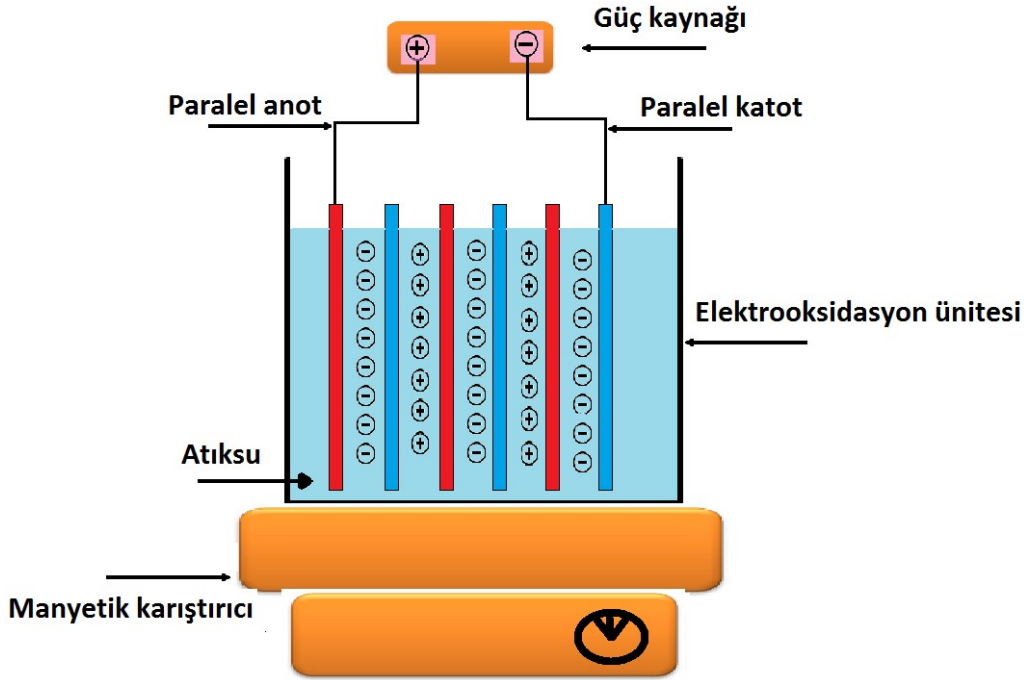


Şekil 5. Tek kutuplu seri bağlı elektrooksidasyon reaktörü

Hücrelerin seri olarak düzenlenmesi durumunda tüm elektrotlardan aynı akım geçmesine rağmen seri bağlanan hücreler sistemin toplam direncini artırdığı için belirli bir akım şiddetini sağlamak için daha yüksek potansiyel fark uygulanması zorunluluğu vardır. Öte yandan, paralel bağlamada ise elektrik akımı tüm elektrotlara, oluşturulan hücrelerin direnci ile ilişkili bir şekilde dağılır.

Bazı araştırmacılar, elektrotları çift kutuplu modda seri ya da paralel bağlı şekilde kullanmaktadır. Bu tip bir reaktör Şekil 6'da şematize edilmiştir. Bu düzenlemede dış

kısımlardaki elektrotlar güç kaynağına bağlanırken iç kısımdaki elektrotlarda herhangi bir elektriksel bağlantı bulunmamaktadır.



**Şekil 6.** Çift kutuplu seri bağlı elektrooksidasyon reaktörü

Doğru akım elektrooksidasyon tekniğinde, yükseltgenme sebebi ile anodun etkinliğinin azalması kadar, katot yüzeyinde oluşan geçirimsiz oksit tabakası oluşumu da bu teknikte sıklıkla rastlanan bir problemdir. Bu olaylar elektrooksidasyon hücresinin etkinliğini kaybetmesine sebep olur.

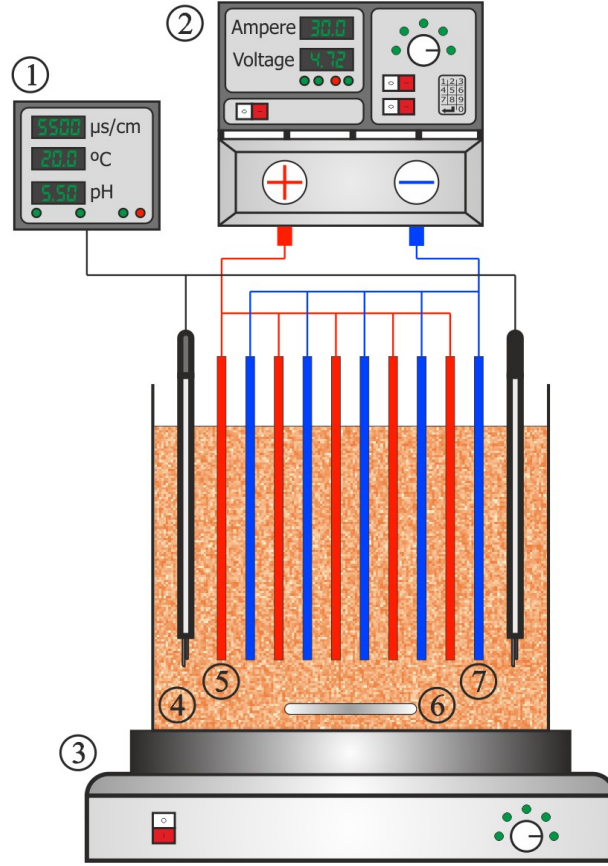
Bu problemlerin azaltılmasında alternatif akım elektrooksidasyon tekniğinin kullanımı da bir seçenek olarak sunulmaktadır. Alternatif akım kullanımının, elektrotların anot ve katot sıralamasını belirli periyotlarda değiştirmesi sebebiyle yukarıda bahsedilen pasifleşme sorununu önleyeceği ve bunun bir sonucu olarak da kabul edilebilir bir elektrot ömrü sağlayacağına inanılmaktadır.

## 2. DENEYİN YAPILIŞI

Anot ve katotlar reaktöre yerleştirildikten sonra daha önceden hazırlanmış olan boyar madde çözeltisinden yaklaşık 850 ml reaktöre doldurularak karıştırıcı çalıştırılır ve atıksuyun pH değeri gerekliyse çalışılması istenen değere ayarlanır. Daha sonra karıştırıcı belli bir karıştırma hızına ayarlandıktan sonra çözeltinin pH, sıcaklık, iletkenlik değerleri okunarak aşağıdaki tabloya kaydedilir. Ardından doğru akım güç kaynağı belirlenen akım yada



potansiyel fark değerine ayarlanarak sistem çalıştırılır. Sistemden belirli zaman aralıklarında örnekler alınarak filtre kağıdından süzülür ve boyar madde analizleri yapılarak aşağıda verilen tablo doldurulur. Temsili deney düzeneği Şekil 7’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.1.** Deneysel düzenek

\*1-Multi-parametre ölçer, 2-Doğru akım güç kaynağı, 3-Magnetik karıştırıcı, 4-Atıksu, 5-Anot, 6-Magnet, 7-Katot

### 3. DENEY SONUCUNUN HESAPLANMASI

Deney sonuçlarının hesaplanmasında aşağıdaki formüller kullanılarak zamana karşı giderme verimi ve enerji tüketimi eğrileri çizilecektir.

1. Arıtma veriminin hesaplanması: Arıtma veriminin hesaplanmasında 10 no’lu eşitlik kullanılacaktır.

$$\eta(\%) = \left( \frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) \times 100 \quad (10)$$

[illegible]

