

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Atıksularda Süspansiyon Giderilmesi

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Yurtbaşı

1987

119

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIKSULARDA SÜSPANSİYON  
GİDERİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞ.MÜH.MEHMET YURTBAŞ

İSTANBUL 1986

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ  
GENEL KİTAPLIĞI

Kot : ..... R 150  
Alındığı Yer : ..... Fen Bil. Ens. 119  
Tarih : ..... 26.12.1988  
Fatura : .....  
Fiatı : ..... 6000 TL  
Ayniyat No : ..... 1/24  
Kayıt No : ..... 45931  
UDC : ..... 378.242  
Ek : ..... 623.3



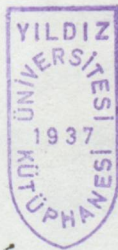
YILDIZ UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIKSULARDA SÜSPANSİYON GİDERİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞ.MÜH.MEHMET YURTBAŞ



İSTANBUL 1986

## ÖZET

Bu çalışmada su tasfiyesinin temelini teşkil eden Süspansiyonların Giderilmesi konusu ele alınmış ve bununla ilgili metodlar incelenmiştir.

Kullanılmış su içerisindeki süspansiyonlar önemli bir yer tutmakta ve alıcı ortamı en çok kirleten husus olmaktadır. Bu süspansiyonların giderilmesiyle kirlilik büyük oranda yok edilmektedir.

Süspansiyonların giderilmesi, alıcı ortamın durumuna ve tasfiye edilecek suyun özelliğine göre biri, ikisi veya üçü bir arada kullanılabilen üç metod incelenmiştir.

Bu uygulanacak metodlar:

- a)- Basit Çökeltme
- b)- Yumaklı Çökeltme
- c)- Kimyasal Çökeltme

şeklindedir.

Bu çalışma kapsamı içerisinde; bu çökeltme türlerinin teorisi, pratikte kullanılış şekli anlatılıp, şekillerle izah edilmiştir. Bunlarla ilgili deneylerin nasıl yapılacağı izah edilip, literatürlerde mevcut deney sonuçları ele alınıp incelenmiştir. Çökeltmelerle ilgili formüller çıkarılıp projelendirilmeye nasıl kullanılacağı misallerle izahı yapılmıştır.

Günümüzde alıcı ortamların hassasiyet kazanması ve çevre kirliliğinin artıp atık suların verilmesi sakıncalı



bir duruma geldiğinden bu suların ileri derecede tasfiye edilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Bunun için ileri derecede tasfiyede kullanılan yumaklı çökeltme ve kimyasal çökeltme mevzusunun üzerinde daha çok durulmuştur.

|   |    |
|---|----|
| 1. GİRİŞ  | 1  |
| 2. ÇÖKELTME   | 2  |
| 2.1. Çökeltme Olayı   | 2  |
| 2.2. Çökeltme İşleminin Tarihi Gelişimi   | 3  |
| 2.3. Sıkık Çökeltme   | 5  |
| 2.4. Çökeltmenin Esası  | 7  |
| 2.5. Süspansiyonların Çökeltme Analizleri   | 8  |
| 2.5.1 Sıkık Çökeltmede Varlık   | 17 |
| 2.6. Sürekli Akmalı Havuzlarda Çökeltme   | 19 |
| 2.6.1 (Camp's Süresi) İdeal Bir Çökeltme Havuzuna Ait Teori   | 19 |
| 3. YUMAKLI ÇÖKELTME   | 23 |
| 3.1. Yumaklı Çökeltmenin Esası  | 23 |
| 3.2. Yumaklı Süspansiyonlarda Toplam Çökeltme Verimini Bellemek İçin Tatlık Edilen Çeşitli Metotlar | 31 |
| 3.2.1 Birinci Metot   | 31 |
| 3.2.2 İkinci Metot  | 37 |
| 3.2.3 Üçüncü Metot  | 38 |
| 4. KİMYASAL ÇÖKELTME  | 41 |
| 4.1. Filtreleştirmenin Esası  | 42 |
| 4.2. Filtreleştirmenin Çeşitli  | 43 |



## İ Ç İ N D E K İ L E R

Sahife

|  | <u>Sahife</u> |
|--|---------------|
| ÖZET   |               |
| 1. GİRİŞ   | 48            |
| 1.1. Süspansiyon Giderilmesinin Atıksu Tasfiyesindeki Önemi                                      | 1             |
| 2. ÇÖKELME   | 2             |
| 2.1. Çökelme Olayı   | 2             |
| 2.2. Çökelme İşleminin Tarihi Gelişimi   | 2             |
| 2.3. Basit Çökeltme  | 5             |
| 2.4. Çökelmenin Esası  | 7             |
| 2.5. Süspansiyonların Çökelme Analizleri   | 8             |
| 2.5.1 Sakin Çökelmede Verim  | 17            |
| 2.6. Sürekli Akımlı Havuzlarda Çökelme   | 19            |
| 2.6.1 (Camp'a Göre) İdeal Bir çökeltim Havuzuna Ait Teori  | 19            |
| 3. YUMAKLI ÇÖKELME   | 28            |
| 3.1. Yumaklı Çökelmenin Esası  | 28            |
| 3.2. Yumaklı Süspansiyonlarda Toplam Çökelme Verimini Bulmak İçin Tatbik Edilen Çeşitli Metedlar | 31            |
| 3.2.1 Birinci Metod  | 31            |
| 3.2.2 İkinci Metod   | 37            |
| 3.2.3 Üçüncü Metod   | 38            |
| 4. KİMYASAL ÇÖKELTME   | 41            |
| 4.1. Pıhtılaştırmanın Esası  | 42            |
| 4.2. Pıhtılaştırmanın Gayesi   | 43            |

|   | <u>Sahife</u> |
|---|---------------|
| 4.3. Zeta Potansiyeli .....                                       | 45            |
| 4.4. Kolloidlerin Denge Hali .....                                | 48            |
| 4.5. Koagülasyonun Genel Mekanizması .....                        | 53            |
| 4.6. Koagülasyonun Kimyasal Yönü .....                            | 58            |
| 4.7. Kimyasal Koagülasyon İçin Optimum pH .....                   | 61            |
| 4.8. Pıhtılaştırma ve Çökelme .....                               | 63            |
| 4.9. Karıştırma havuzlarının Başlangıcı .....                     | 64            |
| 4.10. Mekanik Karıştırma Havuzlarının .....                       | 64            |
| 4.11. Mekanik Karıştırma Havuzlarının Projelendirilmesi           | 65            |
| 4.11.1 Ani Karıştırıcılar .....                                   | 65            |
| 4.11.2 Pedallı Yavaş Karıştırıcılar .....                         | 67            |
| 4.12. Dağıtma İşİ .....   | 72            |
| 4.13. Koagülasyon ve Flokülasyon Deneyi (kavanoz<br>deneyi) ..... | 81            |
| 5. SONUÇLAR .....   | 87            |

REFERANSLAR





## 1. GİRİŞ

### 1.1. Süspansiyon Giderilmesinin Su Tasfiyesindeki Önemi

Günümüzde nüfusun hızla artması, bununla beraber kentleşmenin hızlanması ve deniz, göl, akarsu çevrelerinde nüfusun yoğunlaşması sonucu bu suların hızla kirlenmesine neden olmuştur. Bu sorunlar, kullanılmış suların tasfiye edilerek alıcı ortama verilmesi gerekliliğini güncel hale getirmiştir.

Kullanılmış su içerisinde süspansiyonlar büyük yer tutmaktadır. Ve bunların giderilmesi de su tasfiyesinin temelini teşkil etmektedir. Şöyle ki ileri derecede tasfiye edilmesi gereken sularda bile öncelikle süspansiyonların giderilmesi gerekmektedir. Hatta kimyasal çöktürme ile pis suların ileri derecede tasfiyesi yapılabilmektedir.

Bunun için bu çalışmada süspansiyonların giderilmesi konusu ele alınmış ve çeşitli metodlarla incelenmiştir.

Bunun için bu çalışmada süspansiyonların giderilmesi konusu ele alınmış ve çeşitli metodlarla incelenmiştir.

Amerika'da çöktürme ilk defa 1892'de Lynchburg'da içme suyu tesisinde kullanılmıştır. 1889 tarihinde Omaha'da çöktürme tesisine girmeden önce suya alüminyum sülfat (şap) verilmeye başlanmıştır. Bundan 34 yıl sonra tesis filtreler ilave edilmiştir.

Filtresyon işlemi kullanılmaya başlanıldığından beri

## 2. ÇÖKELME

### 2.1.Çökeltme Olayı

Kullanılmış sularda süspansiyonların büyük çoğunluğu çökeltme ile giderilir.

Çökeltme bir akışkan ortamında mevcut olan ve içinde bulunduğu akışkandan daha yoğun bulunan katı taneciklerin kendilerine tesir eden yerçekimi kuvveti ile akışkanın kaldırma ve direnme ile direnç kuvvetinin etkisi altında dibe doğru çökmesidir.Pratikte çökeltme kendi kendine meydana gelen bir olaydır.

### 2.2.Çökeltme İşleminin Tarihi Gelişimi

İçme ve kullanma için su,asırlarca öncede çökelttilerek temizlenmekte idi.Örneğin,Mısırda taşkınlardan sonra Nil nehrinin suları geniş havuzlarda dinlendirilir ve sonra kullanılırdı.Kartaca şehrinin harabelerinde yağmur sularını dinlendirmeye mahsus,geniş depolar bulunmuştur.Roma'da sath sularının evsafı için Hristiyanlıktan önce geniş çökeltme havuzları yapılmıştır.Anadolu'nun bilhassa güney kesimlerinde,çok eski zamanlardan kalma ve halen kullanılmakta olan yağmur sularını dinlendirmeye mahsus sarnıçlar mevcuttur.

Amerika'da çökeltme ilk defa 1892 de Lynchburg'da içme suyu tesisinde kullanılmıştır.1889 tarihinde Omaha'da çökeltme havuzuna girmeden önce,suya alimünyum sülfat(şap) verilmeye başlanmıştır.Bundan 34 yıl sonra tesise filtreler ilave edilmiştir.

Filtrasyon işlemi kullanılmaya başlanıldığından beri

su genellikle filtreden önce çökeltilip dinlendirilmiş ve ancak sonra filtreye verilmiştir.Yavaş filtre tesisleriyle birlikte,genellikle çok geniş çökeltme havuzları kullanılmıştır.Su bu havuzlarda ekseriya iki gün veya daha uzun süre bekletilmekte ve kimyasal bir koagülasyona(Pıhtılaştırma) tabi tutulmamaktadır.

Hızlı (seri)filtrelerle birlikte,koagülasyonlu çökeltme tatbik eden küçük havuzlar kullanılmaya başlanılmıştır.Gün geçtikçe pıhtılı çökeltme daha çok ve daha tesirli şekilde kullanılmaya başlanılmış,böylece bekleme süreleri ve dolayısıyla havuz hacimleri oldukça küçülmüştür.

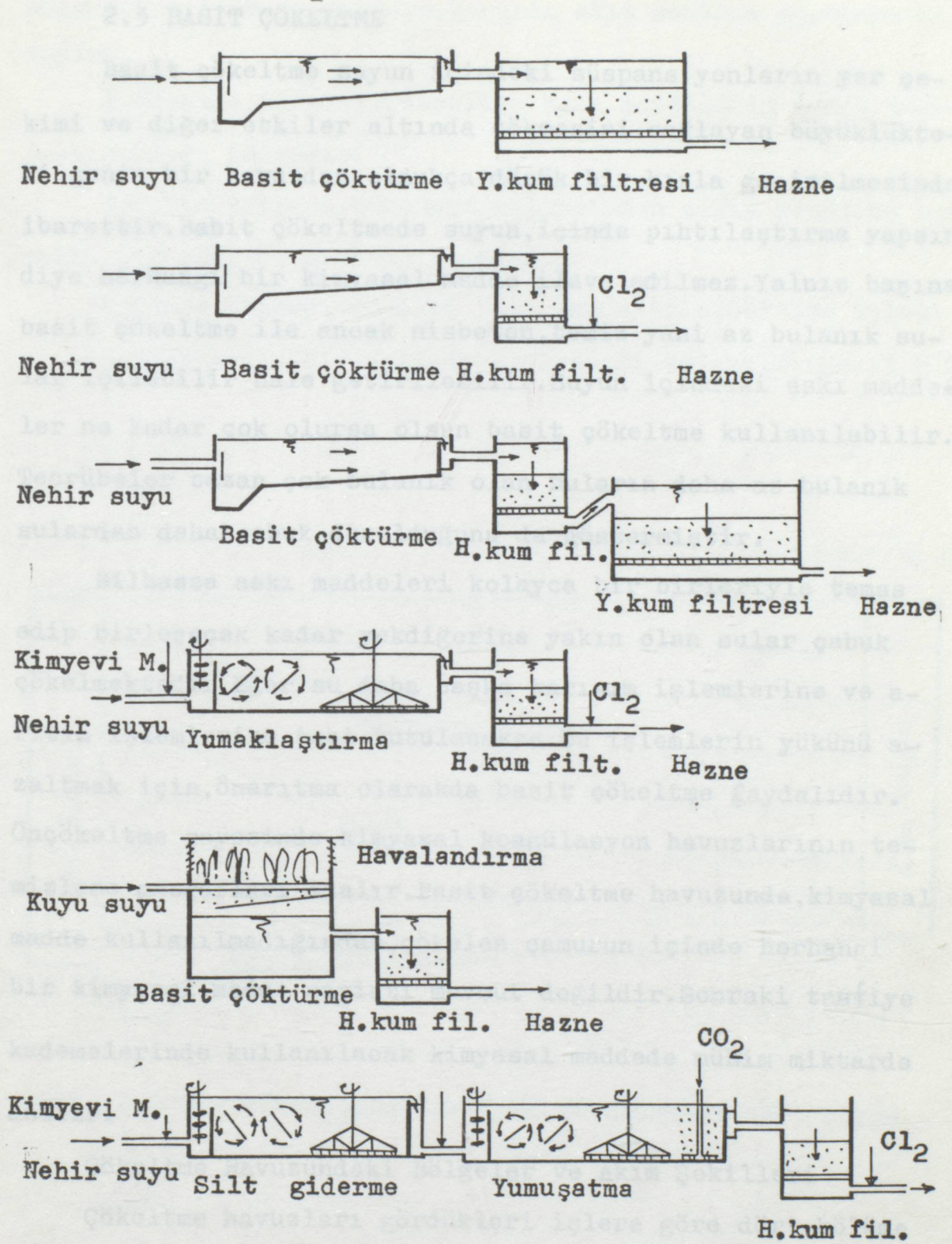
Bu durumda çökeltmeyi "basit çökeltme" ve "pıhtılı Çökeltme(koagülasyonlu çökeltme)" diye iki ana gruba ayırmak mümkündür.

Basit çökeltme suda bulunan askı maddelerin kendi ağırlığı ile ve diğer etkiler altında çökebilen maddeleri sudan uzaklaştırmak için kullanılır.

Bulanıklığın fazla olması hallerinde kendisinden sonraki tasfiye kademesinin yükünü azaltmak maksadıyla kullanılabilir.Bilhassa yavaş kum filtrelerinden önce sabit ve basit çökeltme havuzlarının kullanılmasının sebebi budur.

Pıhtılı çökeltme,renk ve bulanıklığı gidermek için yumaklaştırıcı kimyevi maddelerin ilavesi ve sertliği giderme için kireç ve soda ilavesi suretiyle meydana gelen çok miktardaki çökebilen maddeleri sudan uzaklaştırmak maksadıyla kullanılır. (1)

İçme suyu tasviyesinde çöktürme havuzlarının yeri şekil (2.1) de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Çöktürme havuzlarının su tasfiyesindeki yeri

### 2.3 BASİT ÇÖKELTME

Basit çökeltme suyun içindeki süspansiyonların yer çekimi ve diğer etkiler altında çökmesini sağlayan büyüklükteki geniş bir havuzdan oldukça düşük bir hızla geçirilmesinden ibarettir. Basit çökeltmede suyun, içinde pıhtılaştırma yapısın diye herhangi bir kimyasal madde ilave edilmez. Yalnız başına basit çökeltme ile ancak nisbeten, temiz yani az bulanık sular içilebilir hale getirilebilir. Suyun içindeki askı maddeler ne kadar çok olursa olsun basit çökeltme kullanılabilir. Tecrübeler bazan çok bulanık olan suların daha az bulanık sularından daha çabuk durulduğunu da göstermiştir.

Bilhassa askı maddeleri kolayca bir birleriyle temas edip birleşecek kadar yekdiğerine yakın olan sular çabuk çökelmektedir. Eğer su daha başka karışım işlemlerine ve arıtım işlemlerine tabi tutulacaksa bu işlemlerin yükünü azaltmak için, önarıtma olarak da basit çökeltme faydalıdır. Önçökeltme sayesinde kimyasal koagülasyon havuzlarının temizleme masrafları azalır. Basit çökeltme havuzunda, kimyasal madde kullanılmadığından, çökelen çamurun içinde herhangi bir kimyasal madde zayıatı mevcut değildir. Sonraki tasfiye kademelerinde kullanılacak kimyasal maddede mühim miktarda azalır.

#### Çökeltme Havuzundaki Bölgeler ve Akım Şekilleri

Çökeltme havuzları gördükleri işlere göre dört bölüme ayrılır. Bunlar:

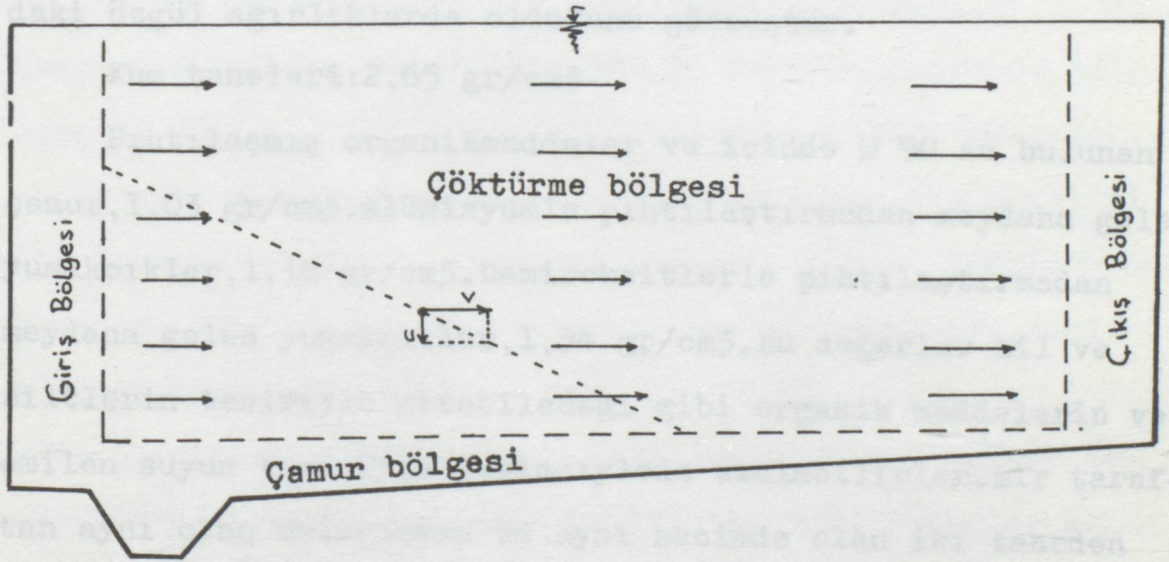
1) Giriş Bölgesi: Giren suyun sakin bir geçişle çökeltme

bölgesinde istenen üniform, kararlı akım şekline dönüşmesini sağlar.

2)Çökelme Bölgesi:Çökebilen katı maddelerin sudan uzaklaştırıldığı bölgedir.

3)Çıkış Bölgesi:Çöktürme bölgesinden çıkış kanalına suyun sakin bir şekilde geçişini sağlar.

4)Çamur Bölgesi:Çökelen katı maddeyerin,çökelme işlemini engellemiyecek bir şekilde toplandığı bölgedir.(Şekil 2.2)



Şekil 2.2 Bir dikdörtgen çöktürme havuzundaki dört bölge

## 2.4 ÇÖKELMENİN ESASI

Çökelpnenin esası, teorisi su içinde bulunan küçük yoğunluklu askı maddeler üzerindeki yer çekimi tesirinin incelenmesidir. Yoğunluğu  $1,0 \text{ gr/cm}^3$  den büyük olan herhangi bir tane yerçekimi altında gittikçe artan bir hızla çökmeye başlayacaktır. Bu hız artışı ancak suyun taneye karşı gösterdiği mukavemet tanenin efektif ağırlığına eşit oluncaya kadar devam eder. Bundan sonra artık tanenin çökme hızı artmaz, sabittir, tanenin büyüklüğüne, biçimine, yoğunluğuna ve vizkozitesine bağlıdır.

Araştırmacılarından Camp, bulanık sulardaki tanelerin aşağıdaki özgül ağırlıklarda olduğunu görmüştür.

Kum taneleri:  $2,65 \text{ gr/cm}^3$

Pıhtılaşmış organik maddeler ve içinde % 90 su bulunan çamur,  $1,03 \text{ gr/cm}^3$ . Alüminyumla pıhtılaştırmadan meydana gelen yumakcıklar,  $1,18 \text{ gr/cm}^3$ . Demiroksitlerle pıhtılaştırmadan meydana gelen yumakcıklar,  $1,34 \text{ gr/cm}^3$ . Bu değerler kil ve siltlerin tesiriyle artabileceği gibi organik maddelerin ve emilen suyun tesiriyle fazlasıyla azalabilirler. Bir taraftan aynı cins malzemedeki ve aynı hacimde olan iki taneden şekli gayrimuntazam olanı, şekli küresel olandan daha geç çökelmektedir. Kum taneleri ve ağır pıhtı yumakları, normal bir çökelpme havuzunda kolayca çökelmektedir. Ancak bu şekildeki tanelerin miktarı azdır.

Şekil, büyüklük ve özgül ağırlık farklarının değişik olması, tanelerin çok değişik hızlarda çökelmelerine sebep olmaktadır. Bunun yanında hızlı çökelen taneler önüne rast-

layan yavaş çöküşlü tanelerinde beraber sürüklemekte böylece pıhtılaşma temayülü yavaş olan tanelerin pıhtılaşmalarında hızlanmaktadır.

Netice itibarıyla çökelmekte olan tanelerin şekillerinin değişmesi ile paralel olarak hızlarında değişir.(2)

Camp, askı maddelerinin sudaki kontrasyonu % 1'i geçtiği takdirde, tanelerin çökme hızının bir birinin çökme sahasına gireceğini bununda hızı % 10 kadar düşüreceğini işaret etmiştir.

## 2.5 Süspansiyonların Çökme Analizleri

Çökeltim havuzlarındaki çökme olayının hızını anlamak maksadıyla laboratuarda bir çökeltme deneyi yapılır. Bu deney, havuzun modelinin hazırlanmasına, ve havuzun modelide 1/1 ölçekli orijinalinin projelendirilmesine imkan verir. Bir süspansiyonun çökme hızı, süspansiyonun çökme özelliği ile havuzun hidrolik karakteristiklerinin bir fonksiyonudur. Çöktürme deneyleri, süspansiyonun çökme karakteristiklerinin tespiti için yapılır.

Güvenilen sonuçlar alabilmek için bir laboratuvar deneyinin yapılması sırasında dikkat edilecek hususlar şunlardır:

1. Numune, çökme özellikleri tespit edilmek istenen süspansiyonu tam olarak temsil edebilmelidir. Çökme ve yumaklaşma (Flokülasyon) sürekli bir işlem olduğundan, numunenin alınması ve deneyin başlaması arasında fazla zaman geçmemelidir. Öğütücüden veya pompalardan geçirilmiş olan kullanılmış suların çöktürüleceği havuzlara ait bilgi



elde etmek için yapılacak deneylerde, mecralardan alınan su numunesiyle analiz yapılmasının pek az kıymeti vardır.

2. Konveksiyon akımlarını minimum yapmak için numune, deney sırasında bir su banyosu yardımıyla bütün derinliği boyunca sabit sıcaklıkta tutulmalıdır.

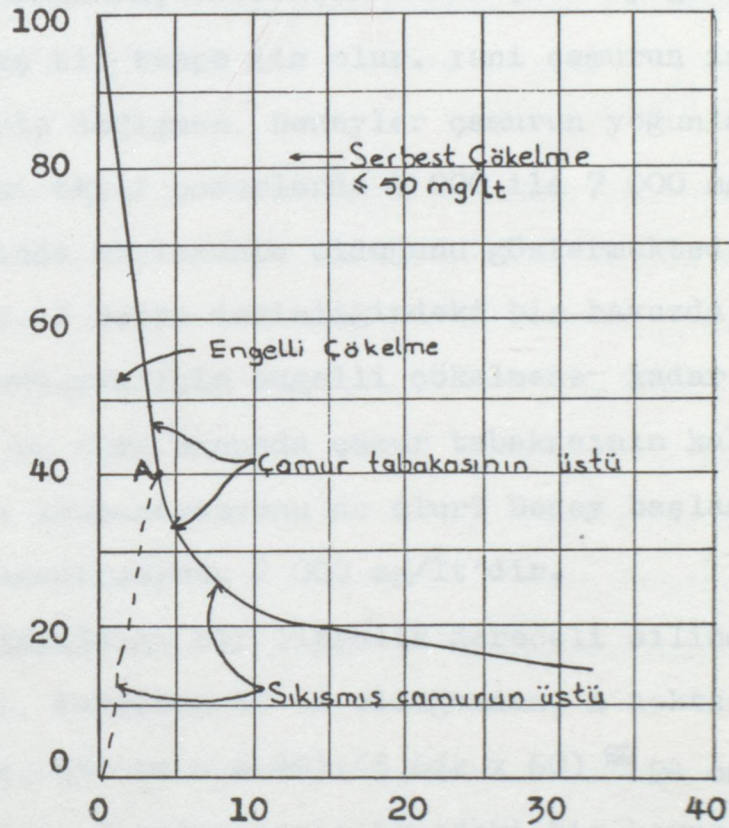
3. Eğer mümkünse deney, derinliği havuz derinliğine eşit veya ondan büyük olan bir kab içerisinde yapılmalıdır.

Deney, incelenecek süspansiyon ile doldurulmuş silindirik bir kab yardımıyla yapılır. Süspansiyon, kab içinde sükûnette bulunmaktadır. Anlatımda kolaylık olması için, bundan böyle olayı tamamen bu kab içindeki benzer şekilde meydana gelen ve bu kab ile aynı derinliğe sahip bulunan bir havuza ideal çökeltim havuzu denilecektir. Gerçek bir havuzda ise türbülans, taban çamurunun hareketi, hızlı yumaklaşma, konveksiyon akımları ve başka sebeplerle meydana gelen kısa devreler ve çevrintiler dolayısıyla çökeltme olayı, bir kab içindeki durgun çökeltmeden farklı olacaktır. Bu faktörlerin çoğu çökeltmeyi geciktirir; fakat hızlı yumaklaşma çökeltmeyi kolaylaştırır. Bu sebepler dolayısıyla, hakiki bir havuzun durumu ideal bir havuzdan farklıdır, ve katı maddelerin sudan ayrılma derecesi, bu faktörlerin birbirine nazaran gerçek büyüklüklerine bağlı olarak hakiki bir havuzdakinden daha fazla veya daha azdır.

Burada açıklanan durgun çökeltme deneyleri, pratikte geniş tatbik sahası bulamamıştır. Pis su tasfiye tesislerini işletmekte, Imhoff konisi çoktan beri kullanılmakta isede çökeltim havuzlarının projelendirilmesinde yetersizdir.

Bugün çoğunlukla tatbik edilen bir başka deney, aktifleştirme havuzlarından alınan numunenin dereceli silindirik kablarda çöktürülmesidir. Bu deneyde bir litre hacminde numune kısmı çökelmeye bırakılır ve çamur tabakasının üst sınırı deney başlangıcından itibaren zamana bağlı olarak kaydedilir. Deney, otuz dakika ve bazan daha uzun müddet devam eder.

Şekil 2.3'de böyle bir deney sonucu gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Deney başlangıcında katı madde konsantrasyonu takriben 2000mg/lit olan tipik bir aktifleştirilmiş çamur süspansiyonunun çökmesi ve yoğunlaşması (T.R.Camp)

Çökeltme olayının başlangıcında, daha sık fasılalarla okuma yapılırsa bu deney, derin havuzlarda aktif çamurların ne şekilde çökeleceğini yaklaşık olarak anlamak için kullanılabilir. Bununla beraber derin bir kab tercih edilir. Şekil 2.3'de verilen misalde, çökeltmenin başlangıcında çizginin eğimi, çamur tabakasının üst kenarındaki tanelerin engellenmiş çökeltme hızının bir ölçüsüdür. Engelli çökeltme A noktasında tamamlanmıştır. Bundan sonra çamur yoğunluğunun artması, yavaş bir tempo ile olur. Yani çamurun işgal ettiği hacim fazla değişmez. Deneyler çamurun yoğunlaşmasının iyi özellikteki aktif çamurlarda 4 000 ila 7 000 mg/lt konsantrasyonlarında başlamakta olduğunu göstermektedir. (3)

Misal 2.1. 3 metre derinliğindeki bir havuzda, şekil 2.3'deki süspansiyon için engelli çökeltmeye kadar müddetle devam eder ve bu süre sonunda çamur tabakasının kalınlığı ile katı madde konsantrasyonu ne olur? Deney başlangıcında katı madde konsantrasyonu 2 000 mg/lt'dir.

Deneyin yapıldığı bir litrelik dereceli silindir kabının yüksekliği, takriben 40 cm olduğundan, A noktasına tekabül eden hız,  $(40 \text{ cm} \times 0,40) : (3,6 \text{ dk} \times 60) \cong 24 \text{ cm} : 240 \text{ sn}$  0,11 cm/sn olur. 3 metre derinliğindeki bir havuzda bu noktaya tekabül eden çökeltme zamanı  $\frac{300}{40} \text{ cm} \times 3,6 \text{ dk} = 27,5 \text{ dk}$  dır. Bu süre sonunda çamur tabakası kalınlığı  $0,40 \times 3,0 = 1,20 \text{ m}$  ve tabana çökeltmiş katı maddelerin ortalama konsantrasyonu  $2 000 / 0,4 = 5 000 \text{ mg/lt}$  olur.

Misal 2.2. misal 2.1'deki ile aynı süspansiyon ve aynı çökeltim havuzu kullanıldığına göre katı madde konsant-

rasyonu 12 500 mg/lt olan bir çamur elde etmek için çökeltme süresi ne olmalıdır?

Bu durumda tabana çökelmiş maddeleri işgal ettiği hacim başlangıçtaki toplam numune hacminin  $2\ 000/12\ 500 = \% 16$ 'sına tekabül eder. Bu hacme ulaşmak için şekil 2.3'e göre deney esnasında 25 dakika beklemek gerekmektedir. Bununla beraber hakikatte derinlik çok büyük olduğundan engelli çökeltmenin tamamlanabilmesi  $27,5 - 3,6 = 23,9$  dakikalık bir gecikme ile meydana gelebilmektedir. Bu sebeble çökeltme zamanı  $25 + 23,9 = 48,9$  dakika olmalıdır.

Münferit veya yumaklı tanelerde meydana gelen bir süspansiyonun çökeltme analizi şekil 2.4'de görülen tipte bir kab ile yapılabilir. Su banyosunun sıcaklığı, nümune sıcaklığı ile aynı olmalıdır. Analizin başlangıcında, süspansiyon bütün kab içinde üniform olarak yayılmış bulunmalıdır. Deney, başlangıç konsantrasyonu ile, bir veya birden fazla derinlikte belli zaman aralıkları sonundaki konsantrasyonları ölçmekten ibarettir. Deney sırasındaki çökeltme zamanı, çökeltim havuzundakinden daha büyük olmalıdır.

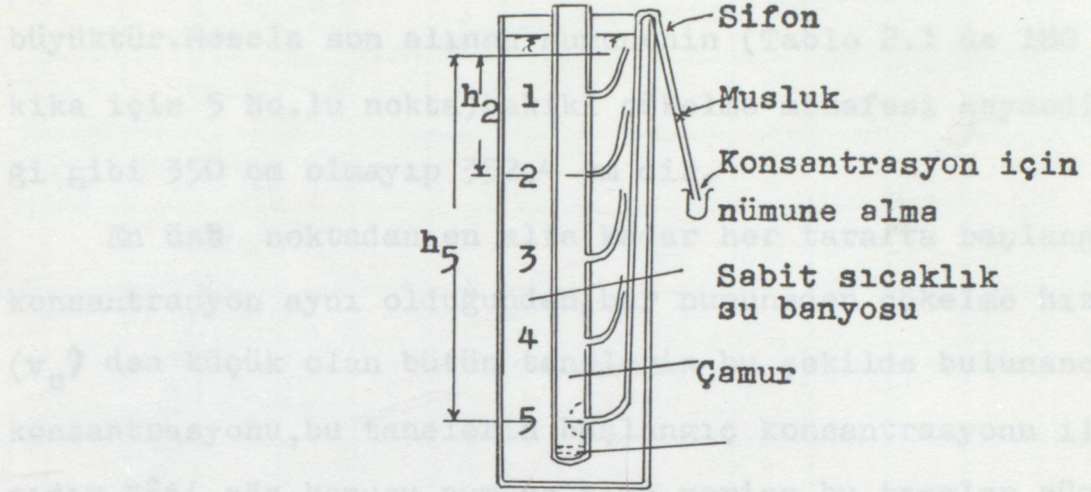
Katı madde konsantrasyonu; süspansiyon madde, bulanıklık, demir, alüminyum, kalsiyum, sertlik, renk, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI) veya çökeltme sırasında azalan herhangi başka bir indeks cinsinden ölçülebilir. Şekil 2.4'de görülen numune alma metodu demir, alüminyum, kalsiyum, sertlik, süspansiyon madde ve BOI için emniyetle kullanılabilir. Fakat bu metod bulanıklık deneyi yapılıyorsa kullanılamaz ve renk tayini deneyleri içinde şüphelidir. Deney silindirinin çapı su

yüzeyinin hissedilebilir bir alçalmasına sebep olmaksızın numune kısımları almaya imkan verecek derecede büyük olmalıdır.

Tablo 2.1 a, münferit tanelerden meydana gelen bir süspan-  
siyonun ideal deney şartlarını hüküm sürdüğü hipotetik bir  
çökeltme analizi sonucunu göstermektedir. Bu durumda engellen-  
memiş serbest bir çökeltme olayı meydana gelecektir. Her numune  
alma noktası ve her çökeltme süresi için konsantrasyon kaydedil-  
miş konsantrasyona oranlanarak  $C_r$  sembolü ile gösterelmiştir.  
h derinliği numune alınmadan hemen önce, su yüzeyinden itiba-  
ren ölçülen su derinliğidir. Hatayı asgariye indirmek için nu-  
muneler, yukarıdan aşağıya doğru ve mümkün olduğu kadar hızlı  
bir şekilde alınmıştır. Alınan her numune kısmı şekil 2.4'de  
5 Nolu noktada gösterildiği üzere, numune alma yerinin etra-  
fındaki küre şekilli bir bölgeden gelmektedir. Alınan numune  
ler sebebiyle su derinliğinde bir miktar azalma olacaktır.  
Tablo 2.1'de h cm olup zaman başlangıcında  $C_r = 1$  dir.

Deney başlangıcından, numune alma zamanına kadar geçen  
süre zarfında kat ettikleri mesafe bu noktanın su yüzeyine  
olan derinliğinden daha büyük olan tanelerin hiç biri alınan  
numune içerisinde bulunmayacaktır.

Bu sebepten dolayı, her numune içindeki tanelerin maks-  
imum çökeltme hızı yaklaşık olarak  $(h/t)$  değerine eşittir. Bura-  
da t, çökeltme süresini göstermektedir. Böylece hesaplanan  $v_s$   
değerleri, üst taraftan alınan numuneler için doğrudur. Fakat  
diğer numuneler için h, en büyük taneler tarafından katedilen  
hakiki uzunluğu göstermediğinden dolayı hesaplanan değerler  
bir miktar hatalıdır. En alt noktadan son numune için hata en



Şekil 2.4 Sakin çökeltme için deney tesisatı (T.R.Camp)

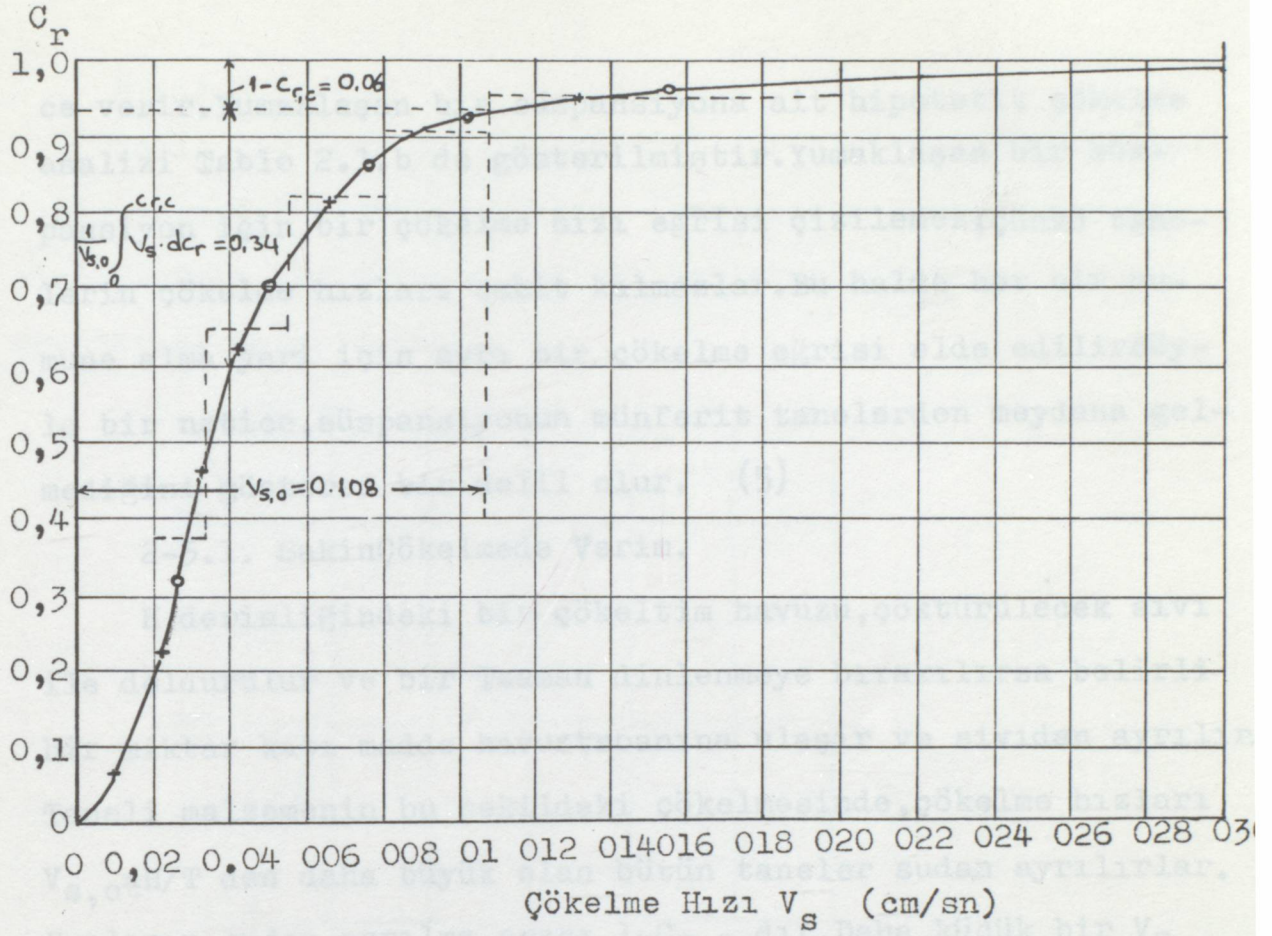
| Nokta                   | Çökeltme zamanı (dakika) |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |
|-------------------------|--------------------------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
|                         | 0                        |       | 15  |       | 30  |       | 45  |       | 60  |       | 90  |       | 180 |       |
|                         | h                        | $c_r$ | h   | $c_r$ | h   | $c_r$ | h   | $c_r$ | h   | $c_r$ | h   | $c_r$ | h   | $c_r$ |
| (a) Münferit Taneler    |                          |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |
| 1                       | 42                       | 0,65  | 40  | 0,23  | 38  | 0,10  | 36  | 0,05  | 34  | 0,03  | 32  | 0,01  | 30  |       |
| 2                       | 122                      | 0,96  | 120 | 0,81  | 118 | 0,62  | 116 | 0,46  | 114 | 0,23  | 112 | 0,06  | 110 |       |
| 3                       | 202                      | 0,98  | 200 | 0,94  | 198 | 0,85  | 196 | 0,73  | 194 | 0,52  | 192 | 0,16  | 190 |       |
| 4                       | 282                      | 0,99  | 280 | 0,97  | 278 | 0,93  | 276 | 0,86  | 274 | 0,70  | 272 | 0,32  | 270 |       |
| 5                       | 362                      | 1,00  | 360 | 0,98  | 358 | 0,96  | 356 | 0,92  | 354 | 0,83  | 352 | 0,46  | 350 |       |
| (b) Yumaklı Süspansiyon |                          |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |
| 1                       | 42                       | 0,65  | 40  | 0,23  | 38  | 0,10  | 36  | 0,05  | 34  | 0,03  | 32  | 0,01  | 30  |       |
| 2                       | 122                      | 0,77  | 120 | 0,50  | 118 | 0,28  | 116 | 0,17  | 114 | 0,09  | 112 | 0,02  | 110 |       |
| 3                       | 202                      | 0,81  | 200 | 0,54  | 198 | 0,33  | 196 | 0,21  | 194 | 0,11  | 192 | 0,03  | 190 |       |
| 4                       | 282                      | 0,85  | 280 | 0,57  | 278 | 0,38  | 276 | 0,25  | 274 | 0,13  | 272 | 0,04  | 270 |       |
| 5                       | 362                      | 0,90  | 360 | 0,60  | 358 | 0,40  | 356 | 0,27  | 354 | 0,14  | 352 | 0,04  | 350 |       |

Tablo 2.1 Süspansiyonların sakin çökeltme analizi (h,cm olarak su yüzeyinin altındaki derinlikleri göstermektedir)

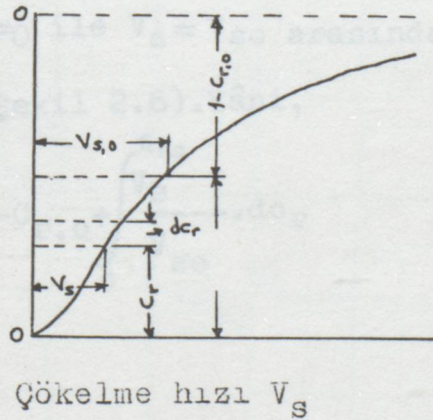
büyüktür. Mesela son alınan numunenin (Tablo 2.1 de 180 dakika için 5 No.lu nokta) hakiki çökme mesafesi kaydedildiği gibi 350 cm olmayıp 352,4 cm dir.

En üstü noktadan en alta kadar her tarafta başlangıçta konsantrasyon aynı olduğundan, bir numuneden çökme hızları ( $v_s$ ) den küçük olan bütün tanelerin bu şekilde bulunanc  $C_r$  konsantrasyonu, bu tanelerin başlangıç konsantrasyonu ile aynıdır. Yâni, söz konusu numune alma yerine bu taneler, süspansiyonun çeşitli kısımlarından gelmişler ise de, başlangıçta her noktada süspansiyonun özelliği aynı olduğundan  $C_r$ , süspansiyonun, çökme hızları, belirli bir değerden daha küçük olan tanelerin yüzdesini gösterir. Bu sebepten, çökme hızı eğrisi, süspansiyonu karakterize eden bir eğridir ve tane büyüklüklerinin dizilişini ifade eder. Buna süspansiyonun granülo-metre eğrisi gözü ile bakmak mümkündür. Çünkü her çökme hızı, belirli bir tane büyüklüğü tekabül eder. (4) şekil 2.5 tablo 2.1 deki bilgiler yardımıyla çizilmiş olup (+) ve (o) sembolü ile gösterilen noktalar 2 ve 4 No. dan alınan numunelere tekabül etmektedir. Buradan, eğrinin sadece bir noktadan alınan numunelerle bile çizilebileceği anlaşılmaktadır. Çünkü bütün numune alma noktalarına ait bilgiler, aynı bir eğri üzerine düşmektedir.

Engellenmiş, serbest bir çökmenin meydana geldiği ideal deney şartları altında flokülasyon meydana geliyorsa, birleşen taneler daha hızlı olarak çökeceklerdir. Bu durum, kabın tabanını civarında, taneli çökelmeye nazaran daha fazla katı madde nin sudan ayrılmasını, yani çökmenin daha iyi olmasını neti-



Şekil 2.5 Münferit tanelerden meydana gelen bir süspansiyonun çökeltme analizi (T.R. Camp)



Şekil 2.6 Münferit tanelerden meydana gelen bir süspansiyonun tipik çökeltme hızı eğrisi



ce verir. Yumaklaşan bir süspansiyona ait hipotetik çökeltme analizi Tablo 2.1.b de gösterilmiştir. Yumaklaşan bir süspansiyon için bir çökeltme hızı eğrisi çizilemez; çünkü tanelerin çökeltme hızları sabit kalmazlar. Bu halde her bir numune alma yeri için ayrı bir çökeltme eğrisi elde edilir. Böyle bir netice, süspansiyonun münferit tanelerden meydana gelmediğini gösteren bir delil olur. (5)

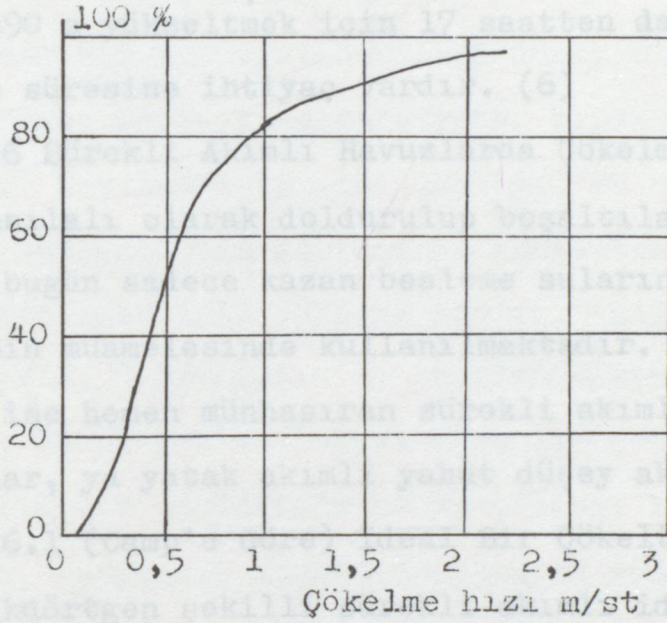
#### 2-5.1. Sakin Çökeltmede Verim.

H derinliğindeki bir çökeltim havuzu, çöktürülecek sıvı ile doldurulur ve bir T zaman dinlenmeye bırakılırsa belirli bir miktar katı madde havuz tabanına ulaşır ve sıvıdan ayrılır. Taneli malzemenin bu şekildeki çökeltmesinde, çökeltme hızları  $V_{S,0} = H/T$  den daha büyük olan bütün taneler sudan ayrılırlar. Bunların sudan ayrılma oranı  $1 - C_{r,0}$  dır. Daha küçük bir  $V_S$  çökeltme hızına sahip tanelerin konsantrasyonundaki azalma oranı ise  $V_S/V_{S0}$  olur. Buna göre, katı maddelerin toplam sudan ayrılma oranı  $V_S=0$  ile  $V_S=V_{S0}$  arasındaki ortalama düzey mesafeye eşittir. (Şekil 2.6). Yâni,

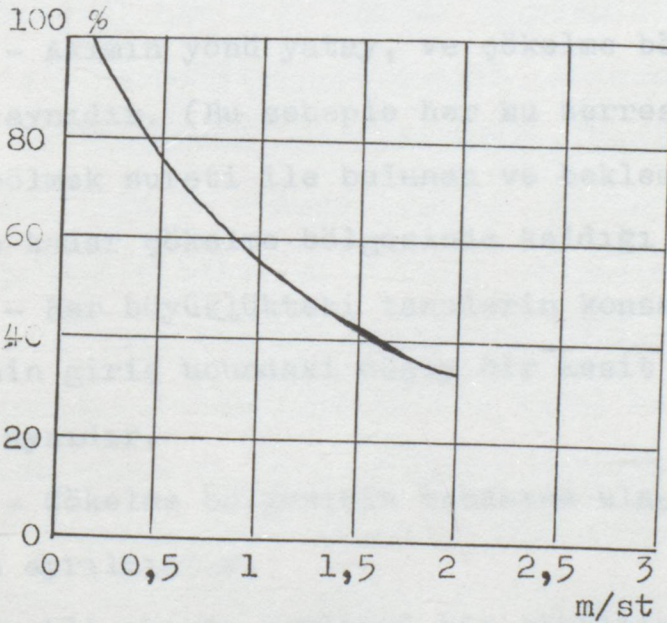
$$r = 1 - C_{r,0} + \int_0^{C_{r,0}} \frac{V_S}{V_{S0}} \cdot dC_r \quad (2-1)$$

## Misal 2.3

Şekil 2.7 deki çökelme analizi eğrisini kullanarak, çeşitli yüzeysel hidrolik yükler, (yanimesela sabit bir H derinliğindeki bir havuzda çeşitli bekletme süreleri ) için r oranlarını hesaplayınız.



Şekil 2.7 (Misal 2.3) de incelenen çökelme analizi eğrisi.



Şekil 2.8 Misal 2.3 de incelenen çökelme analizi eğrisi için yüzeysel hidrolik yükün bir fonksiyonu olarak katı maddenin sudan ayrılma oranı.

Şekil 2.8 de verilen eğri yardımıyla bulunan neticeleri göstermektedir. Meselâ 5m derinliğinde bir çökeltim havuzunda bekletme süresi  $T=4$  st ise ,  $V_{s,o} = 5/4 = 1,25$  m/st ve  $r = \%50$  olacaktır. Bu oranı  $\%70$  şe çıkarmak için bekletme süresi 7,5 saata çıkarılarak  $V_{s,o}$  kritik hızı 0,65 m/st a düşürülmelidir. Verimi  $\%90$  a yükseltmek için 17 saatten daha az olmayan bir bekletme süresine ihtiyaç vardır. (6)

## 2.6 Sürekli Akımlı Havuzlarda Çökelme.

Fasılalı olarak doldurulup boşaltılan havuzlardaki sakin çökelme bugün sadece kazan besleme sularının ve endüstiri artıklarının muamelesinde kullanılmaktadır. Su ve pis su tasfiyesinde ise hemen münhasıran sürekli akımlı havuzlar kullanılır. Bunlar, ya yatak akımlı yahut düşey akımlı olurlar.

### 2.6.1 (Camp'e Göre) İdeal Bir Çökeltim Havuzuna Ait Teori

Dikdörtgen şekilli sürekli akımlı ideal bir havuz, engellenmemiş bir çökelme olayında aşağıdaki özellikleri gösterir:

1 - Akımın yönü yatay, ve çökelme bölgesinin hertarafında hız aynıdır. (Bu sebeple her su zerresinin, havuz hacmini debiye bölmek sureti ile bulunan ve bekleme zamanı adı verilen bir süre kadar çökelme bölgesinde kaldığı kabul edilir.)

2 - Her büyüklükteki tanelerin konsantrasyonu çökelme bölgesinin giriş ucundaki düşey bir kesit üzerinde bütün noktalarda aynıdır.

3 - Çökelme bölgesinin tabanına ulaşmış bir tane süspansiyondan ayrılmıştır.

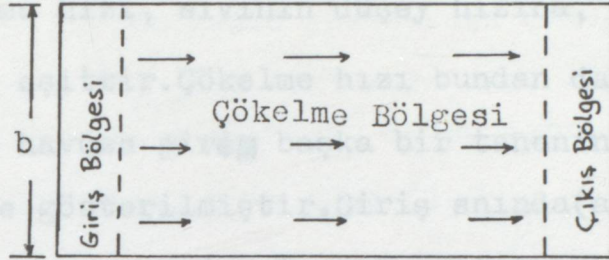
Sürekli akımlı herhangi bir çökeltim havuzunu dört bölgeden meydana geldiği düşünüle bilir. (Şekil 2.9). Gördükleri

fonksiyonlara göre bu bölgeler şunlardır: (1) Süspansiyonun, havuz enkesiti üzerine üniform olarak yayıldığı bir giriş bölgesi ; (2) Çökelme bölgesi; (3) Durutulmuş sıvının havuzun enkesiti boyunca üniform olarak toplandığı bir çıkış bölgesi; (4) Tabanda çamur bölgesi.

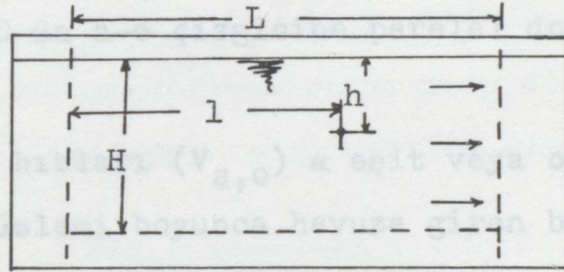
İdeal bir havuzda, herhangi düşey bir silindir içinde süspansiyon madde konsantrasyonu, tıpkı çökelme analizinin yapıldığı kap içindeki gibi dağılır. Bu sebeple, çökelme bölgesinin herhangi bir noktasında konsantrasyonun değerini önceden kestirmek için çökelme analizi kullanılabilir.(7)

Meselâ, Tablo 2.1.a da verilen süspansiyonun, ideal bir çökeltim havuzunda 60 dakika süre ile çöktürüldükten sonra 194 cm lik bir derinlikte sahip olacağı katı madde konsantrasyonu, başlangıç konsantrasyonunun %73 ü olur. Tablo 2.1.b deki süspansiyon için aynı değer %21 olacaktır.

Hareketli bir sıvı içinde çökelen bir tane kendi çökme hızı ile, kendisini çevreleyen sıvının hızını vektörel toplamı istikametinde hareket eder. İdeal bir havuzda, münferit tanelerin bu esnada çizdiği yörüngeler, kum tutucuların projelendirilmesi ve çökelme olayının anlaşılması için faydalı olan bir teoriyi kurmak ve geliştirmek maksadıyla kullanılabilir. Dikdörtgen plânlı ideal bir havuzda çökelme bölgesine giren ve havuzun giriş kesitinde üniform olarak dağılmış bulunan bütün münferit tanelerin yörüngeleri doğru çizgilerden ibarettir. (Şekil 2.10). (a-c) düşey düzlemi boyunca havuza giren bu tanelerden, giriş anında su yüzeyinde

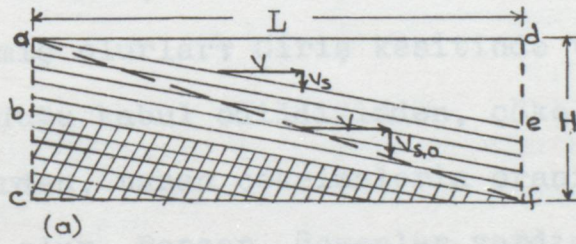


(a) Plân

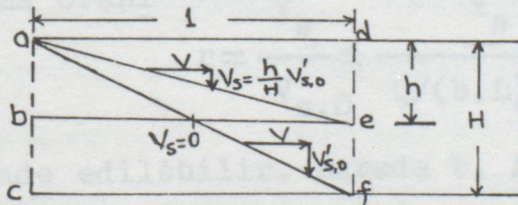


(b) Boyuna kesit

Şekil 2.9 Dikdörtgen şekilli ideal çökeltilim havuzu



(a)



(b)

Şekil 2.10

bulunupda çökeltme bölgesi sonuna geldiğinde havuzun f tabanına ulaşanlar (a-f) yörüngesini takip ederler. Bu tanelerin  $V_{s,0}$  çökeltme hızı, sıvının düşey hızına, yani yüzeysel hidrolik yüke eşittir. Çökeltme hızı bundan daha küçük olan ve (a) noktasında havuza girer başka bir tanenin yörüngesi de(a-e) çizgisi ile gösterilmiştir. Giriş anında(a-c)düşey düzlemi içerisinde bulunan ve(a-e) yörüngesini takip eden tanelerle aynı çökeltme hızına sahip olan diğer tanelerin yörüngeleri ise Şekil 2.10 da a-e çizgisine paralel doğrularla gösterilmiştir.

Çökeltme hızları ( $V_{s,0}$ ) a eşit veya ondan daha büyük olan ve(a-c)düzlemi boyunca havuza giren bütün taneler, tabana çökeltip sudan ayrılırlar. Fakat,  $V_{s,0}$  dan daha küçük bir  $V_s$  çökeltme hızına sahip olan tanelerden sadece(b-c) düzlemi üzerinde bulunanlar, havuzdan çıkmadan önce tabana ulaşmış ve sudan ayrılmış olurlar. Giriş kesitinde tanelerin üniform dağılmış olduğu kabul edildiğinden, çökeltme hızı  $V_{s,r}$  ye eşit olan tanelerden, taban çökeltmelerin oranı, mevcudun ( $\bar{bc}/\bar{ac}$ ) kesri kadar olur. Benzer, üçgenler yardımıyla, bu tanelerin sudan ayrılma oranı

$$r = \frac{V_s}{V_{s,0}} = \frac{V_s}{Q/(b.L)} = \frac{b.LV_s}{Q} \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada b, Allen Hazen tarafından bulunmuş olması muhtemeldir. (b.L), sadece, yan duvarları düşey olan havuzlarda yüzey alanını gösterebilir. Yan duvarların şevli (eğimli) olması halinde, (b.L) değeri olarak,

çökeltim havuzunun  $V_{s,o}$  yüzeysel hidrolik yüküne tekabül eden  $C_r$  değeri (burada  $C_{r,o}$  ile gösterilecektir), çökme hızı ( $V_{s,o}$ ) a eşit veya ondan daha küçük olan tanelerin, toplam süspansiyon maddenin yüzde kaçı olduğunu ifade eder. Çökme hızları ( $V_{s,o}$ ) a eşit veya daha büyük olan tanelerin %100 ü sudan ayrılacağından, sudan ayrılan tanelerin toplam süspansiyona oranı, buna göre  $(1-C_{r,o})$  olacaktır. Çökme hızları,  $V_{s,o}$  dan daha küçük olan tanelerin yüzde kaçının sudan ayrıldığını bulmak için (2-2) denkleminden istifade edilebilir. Meselâ çökme hızı bir  $V_s$  değerine sahip olan tanelerin, toplam süspansiyona oranı  $d C_r$  olduğundan, bu tanelerin tabana çökerek sudan ayrılan kısmı, toplam süspansiyonun

$$rdC_r = \frac{V_s}{V_{s,o}} dC_r \quad (2.3)$$

Bu sebepten, sudan ayrılan tanelerin nisbeti, daha önce çıkarılmış olan

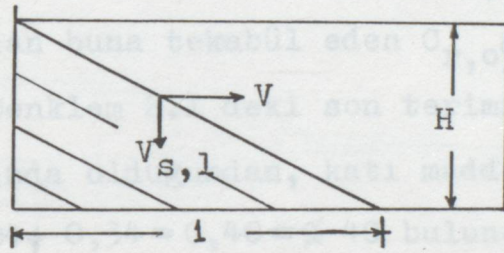
$$r = 1 - C_{r,o} + \frac{1}{V_{s,o}} \int_0^{C_{r,o}} V_s dC_r$$

denklemini ile bulunur. Bu denklemin son terimi, Şekil 2.6daki taralı alanı ( $V_{s,o}$ ) ile bölerek elde edilebilir.

Çökme bölgesinde herhangi bir noktadaki, (mesala Şekil 2.10.b de e noktasındaki) süspansiyon madde konsantrasyonu, yörüngeleri bu noktadan geçen tanelerin başlangıç konsantrasyonuna eşittir. Gerçekten (a-c) başlangıç kesitinden kalkan tanelerin hareketi takip edilirse, bunlardan su yüzölçümü da çökme hızı  $\frac{h}{H} V_{s,o}$  eşit taneler bütün taneler yatay olarak (d-f) kesitine geldiği anda e noktasına ulaşmış

olurlar, burada ( $V'_{s,o}$ ), L uzunluğu için yüzeysel hidrolik yükü gösterir. çökme hızı sıfır olan tanelerden (b) noktasından harekete geçenler de gene (e) noktasına gelmiş olacaktır. (a-b) giriş kesitindeki diğer tanelerin ise ancak çökme hızı sıfır ile  $\frac{h}{H}V'_{s,o}$  arasında bulunanları e noktasına ulaşmış bulunur. Buna göre (e) noktasında, çökme hızı

$\frac{h}{H}V'_{s,o}$  değerine eşit veya ondan daha küçük olan taneler yer alır ki, bunların  $C_r$  konsantrasyonu doğrudan doğruya çökme analizi neticesini gösteren eğriden okunabilir.



Şekil 2.11 (Huisman)

Tabandaki çamur bölgesinde toplanan çamur miktarı, giriş ucuna olan mesafe ile birlikte azalır. Çökme hızları birbirine eşit ve  $V_{s,1} = VH/L$  olan bütün taneler, çamur bölgesinin L uzunluğu boyunca uniform olarak dağılırlar. Bu mesafenin ötesinde bu ve bundan daha büyük çökme hızına sahip hiç bir tane bulunmaz. Çökme hızı  $V_{s,1}$  olan tanelerin konsantrasyonu  $d_{cr}$  olduğundan, giriş ucundan x uzaklıkta bir noktada toplanan çamur miktarı  $\frac{1}{V \cdot H} \int_0^{C_{r,x}} V_{s,1} \cdot d \cdot C_r$  bulunur.



Bu değer Şekil 2.12 deki taralı alanın  $1/(V.H)$  katına eŐitir. Şekil 2.13 bu Şekilde hesaplanmış teorik bir amur eğrisini göstermektedir. Yukardaki teori, münferit tanelerin radyal akımlı ideal havuzlardaki okelmesine de tatbik olunabilir. Bu halde havuzun  $V$  yatay hızı radyal mesafe ile ters orantılı olarak değişir ve netice itibari ile taneler eğrisel yörüngelere sahiptirler.

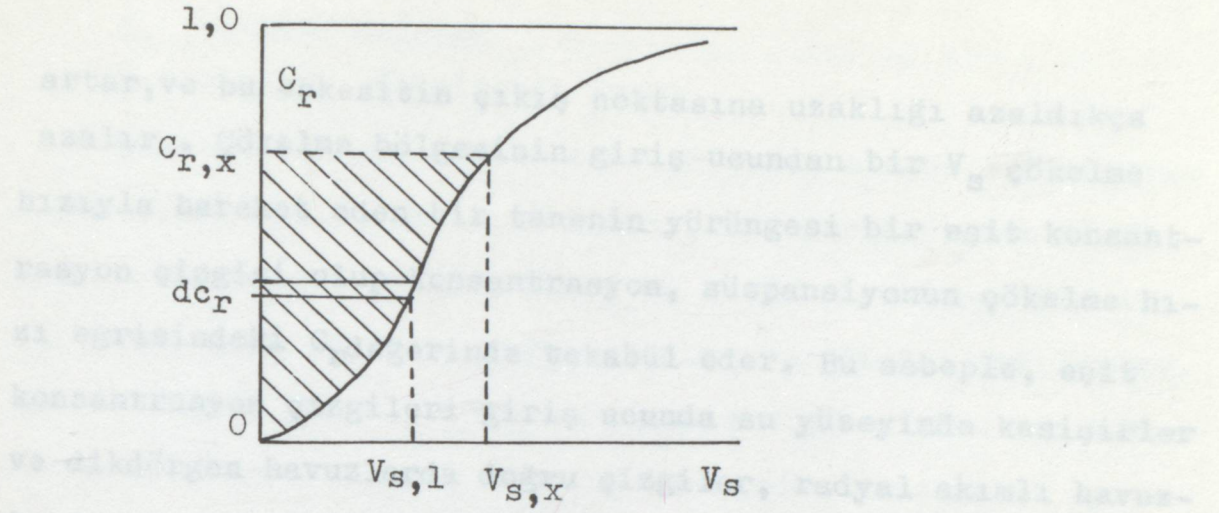
Misal 2.3: Tablo 2.1.a ve Şekil 2.5 de verilen sspsiyon , ideal bir havuzda 60 dakika süre ile ktrlmektedir. Derinlięin 390 cm olması halinde katı maddelerin sudan ayrılma nisbetini denklem 2.1 vasıtasıyla hesaplayınız.

**Havuzun** yüzeysel hidrolik yükü  $V_{s.o} = 390/(90 \times 60) = 0,108$  cm/sn olduğundan buna tekabül eden  $C_{r,o}$  değeri Şekil 2.5 dan 0,94 bulunur. Denklem 2.1 deki son terimin değeri Şekil 2.5 da 0,34 civarında olduğundan, katı maddelerin sudan ayrılma nisbeti,  $1 - 0,94 + 0,34 = 0,40 = \% 40$  bulunur.

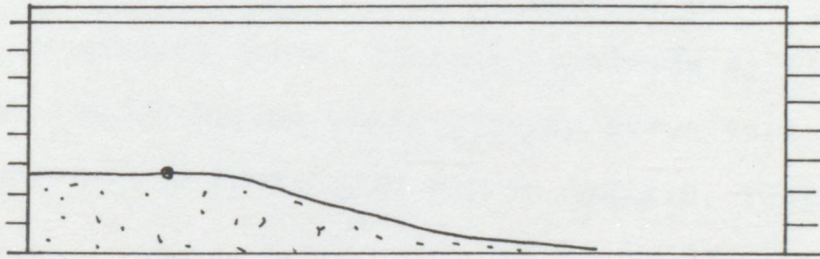
Yukardaki teori vasıtasıyla, münferit tanelerin ideal bir havuzda okelmesi olayı ile ilgili olarak aşağıdaki sonular ıkarılabilir:

1. Verilen bir debi iin, katı maddelerin sudan ayrılma nisbeti yüzey alanının bir fonksiyonu olup havuz derinliğinden müstakildir ; veya katı maddelerin sudan ayrılma nisbeti verilen bir debi iin yüzeysel hidrolik yükün bir fonksiyonu olup bekleme sresinden bağımsızdır.

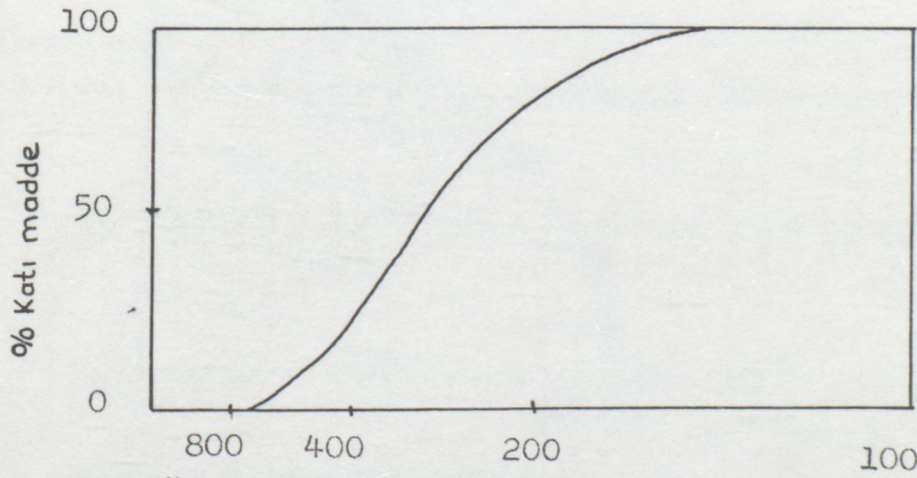
2. okelme bölgesinin herhangi bir enkesitine sspsiyon madde konsantrasyonu, su yüzeyinin altında derinlikle



Şekil 2.12 (Huisman)



Çamur eğrisi



Yüzeyel hidrolik yükün yüzdesi cinsinden çökme hızı

Şekil 2.13 Dikdörtgen plânlı bir çöktürme havuzunda çamur eğrisi (Huisman)

## 3. YUNAKLI ÇÖKELME

artar, ve bu enkesitin çıkış noktasına uzaklığı azaldıkça azalır . Çökelme bölgesinin giriş ucundan bir  $V_S$  çökelme hızıyla hareket eden bir tanenin yörüngesi bir eşit konsantrasyon çizgisi olup konsantrasyon, süspansiyonun çökelme hızı eğrisindeki  $C_r$  değerinde tekabül eder. Bu sebeple, eşit konsantrasyon çizgileri giriş ucunda su yüzeyinde kesişirler ve dikdöğgen havuzlarda doğru çizgiler, radyal akımlı havuzlarda eğriler halinde olurlar.

Devirli

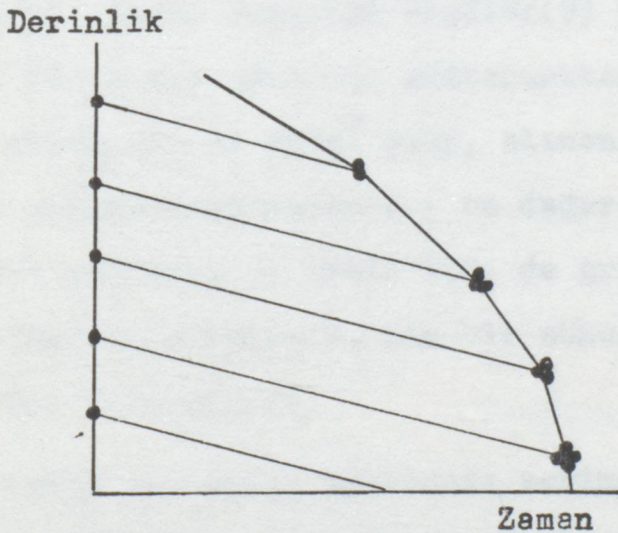


Şekil 3.1

### 3. YUMAKLI ÇÖKELME

#### 3.1. Yumaklı Çökelmenin Esası

Çökelme hızları farklı taneciklerden oluşan bir süspansiyon çökelmeye bırakılacak olursa, hız farklarından ileri gelen çarpışmalar sonucu, küçük ve hafif olan taneciklerin bir kısmı daha büyük ve yoğun olanlar tarafından tutulurlar. Netice olarak yumaklı çökeltmede meydana gelen kümeler, münferit çökelmeye nazaran akışkan ortamından daha çabuk ayrılırlar. Süspansiyonda tane mevcut oldukça yumaklaşma işlemi devam eder ve teşekkül eden yumaklar da kendi aralarında birleşir. Derinlik arttıkça yumaklar daha da büyüdüğünden çökeltme hızı da giderek artar. Yumaklı çökeltmede ayrılma oranı sadece  $W_0 = H_0/T_0$  hızına bağlı olmayıp havuz veya kolan derinliğinin de bir fonksiyonu olarak değişir. (Şekil 3.1)

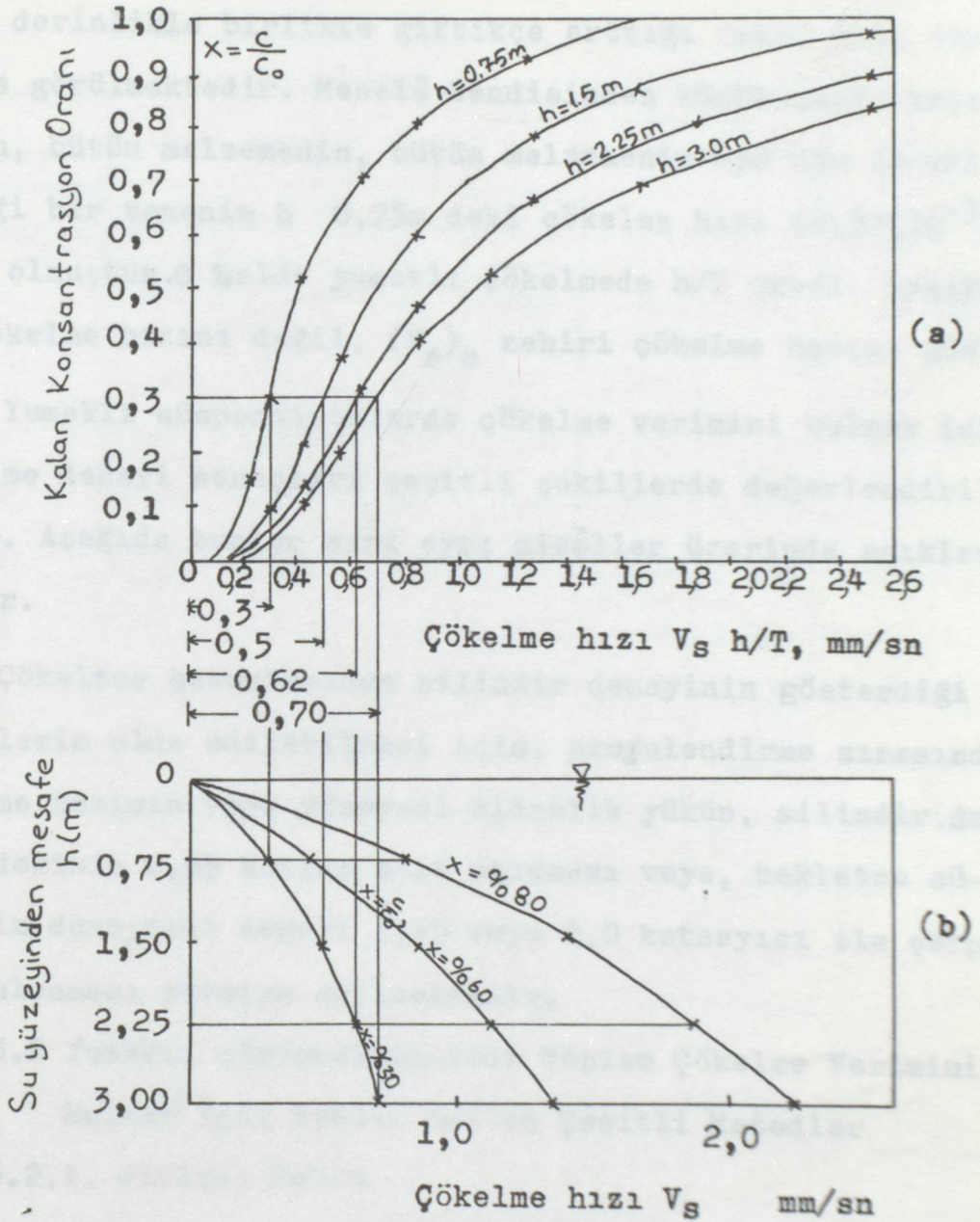


Şekil 3.1 Sürekli Yumaklaşma (8)

Flokülasyon teorisinin pratik bakımdan en kıymetli sonucu, temas süresinin, birim hacimdeki tane sayısı ve bunların çökelme hızları arasındaki farkla orantılı olmasıdır. Diğer hususların pratik tatbikat bakımından pek az faydası vardır. Bu sebeble, yumaklı süspansiyonları çöktürmek için kullanılan havuzlar, laboratuvar deneylerine istinaden hesap ve projelendirilmesi yapılır. Burada da gene sakin çökeltmedeki gibi bir silindir kullanılır. Fakat bu kere derinliği, inşaa edilecek havuza verilmesi düşünülenden de biraz fazla olacak şekilde büyük tutulur. 150 mm çapında, 3m yüksekliğinde plâstik bir boru ile tatmin edici neticeler alınabilir.. Her 60 cm de bir münune alma yeri bırakılmalıdır. Çeşitli derinliklerden çeşitli zamanlarda alınan nünunelerin süspansiyon madde miktarı veya çökelme olayı sırasında azalan herhangi bir diğer özelliği ölçülür.(9) Tablo 3.1. misâl olarak böyle bir deney sonucunu göstermektedir. Burada başlangıç konsantrasyonu  $86 \text{ gr/m}^3$  olup, alınan nünunelerdeki süspansiyon maddekonsatrasyonları bu değere bölünerek sonuçlar bu tabloya yazılmış ve Şekil 3.2. de grafik olarak gösterilmiştir. Yumaklı çökelmede, her bir nünune alma yeri için ayrı bir eğri elde edilir.

Sakin ve taneli çökelmede verime etkiyen faktör  $(V_s)_0$  yüzey yükü olarak bulunmuştu. Bu özellik çökelme hızının, tanenin bütün hareketi sırasında sabit ve derinlikle değişmemesi esasına göre çıkarılmıştır.

Taneli çökelmede bir tanenin çökelme hızı sabit olduğu



Şekil 3.2 (a) Yumaklı bir süspansiyonda çeşitli derinliklerden alınan numunelere ait çökeltme eğrileri  
(b) Çökeltme hızının derinlikle artması

halde, yumaklı çökeltmede bunun hareket sırasında zamanla, yani derinlikle birlikte gittikçe arttığı Şekil 3.2. den açıkça görülmektedir. Meselâ kendisinden küçük çaplı malzemenin, bütün malzemenin, bütün malzemenin %30 unu teşkil ettiği bir tanenin  $h = 0,75m$  deki çökeltme hızı  $(0,3)(10^{-3})$  m/sn olmuştur. O halde yumaklı çökeltmede  $h/T$  oranı, hakiki  $V_s$  çökeltme hızını değil,  $(V_s)_a$  zahiri çökeltme hızını gösterir.

Yumaklı süspansiyonlarda çökeltme verimini bulmak için, çökeltme deneyi sonuçları çeşitli şekillerde değerlendirilebilir. Aşağıda bunlar ayrı ayrı misâller üzerinde açıklanacaktır.

Çökeltme havuzlarında silindir deneyinin gösterdiği verimlerin elde edilebilmesi için, projelendirme sırasında çökeltme hızının veya yüzeysel hidrolik yükün, silindir deneyindeki 0,65 katına eşit alınması veya, bekletme süresinin deneydeki değeri 1,75 veya 2,0 katsayısı ile çarpılarak bulunması tavsiye edilmektedir.

### 3.2 Yumaklı Süspansiyonlarda Toplam Çökeltme Verimini Bulmak İçin Tatbik Edilen Çeşitli Metodlar

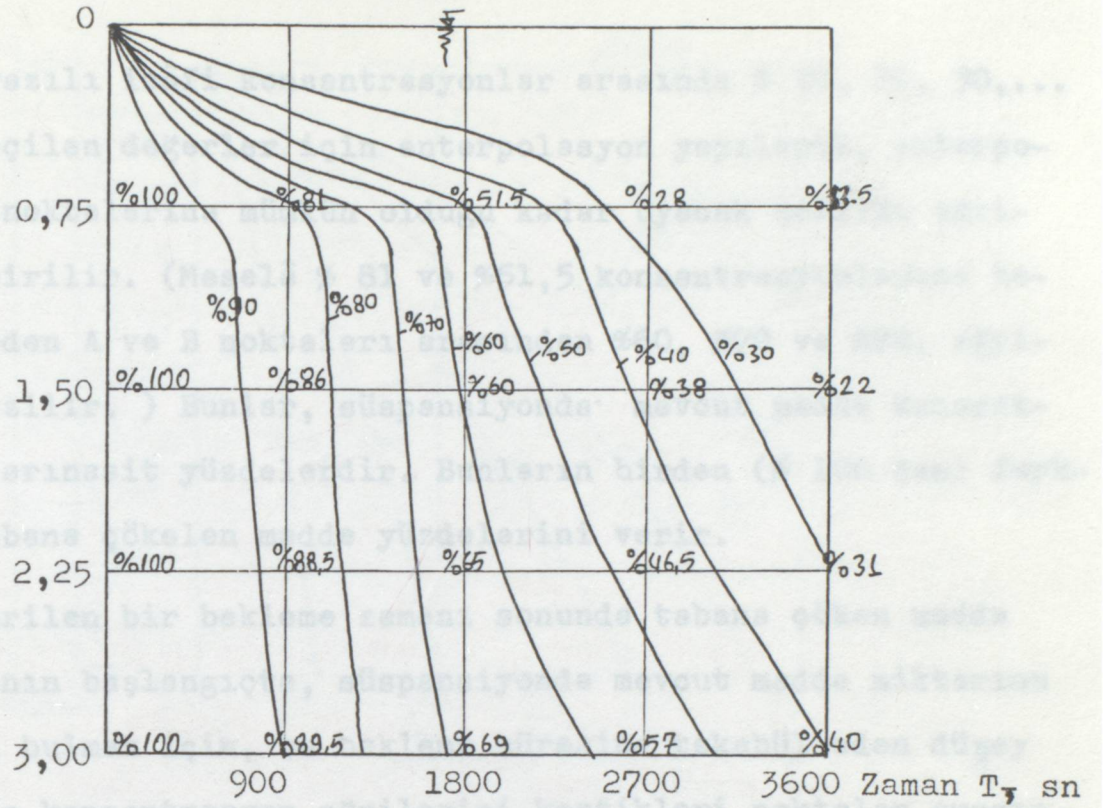
#### 3.2.1. Birinci Metod

Bu metodda önce, çökeltme deneyi neticelerinden, eşit konsantrasyonlu eğriler elde edilir. Tablo 3.1. de verilen çökeltme deneyi neticelerinden, eşit konsantrasyonlu eğriler çizilebilir. Bunun için yatay eksen zamanı göstermek üzere, çeşitli derinlikler için, aynı bir bekleme zamanına tekabül eden  $x = c/c_0$  değeri yazılır. (Şekil 3.3). Daha sonra bu nokta-

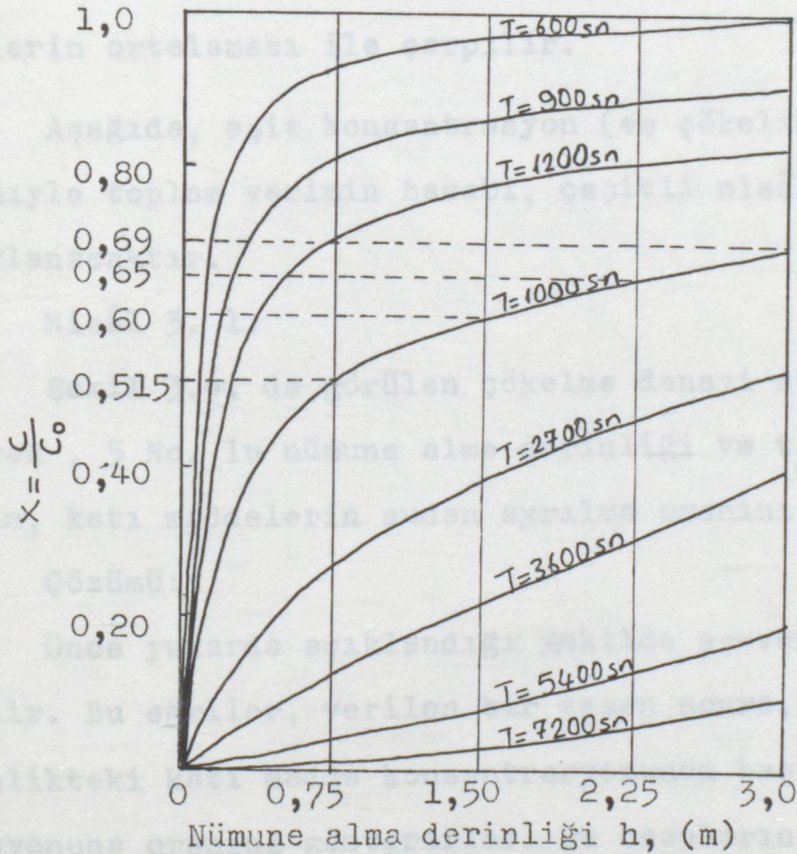
| Deneý Başlangıcın dan İtibaren Geçen zaman T, saniye | Su yüzeyinden itibaren ölçülen derinlik |       |                    |       |                    |       |                    |       |
|--|---|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|
|  | h=0,75 m                                |       | h=1,5 m            |       | h=2,25 m           |       | h=3,0 m            |       |
|  | x=c/c <sub>0</sub>                      | V=h/T | x=c/c <sub>0</sub> | V=h/T | x=c/c <sub>0</sub> | V=h/T | x=c/c <sub>0</sub> | V=h/T |
|  | —                                       | mm/sn | —                  | mm/sn | —                  | mm/sn | —                  | mm/sn |
| 0  | 1,000                                   | —     | 1,000              | —     | 1,000              | —     | 1,000              | —     |
| 600  | 0,930                                   | 1,250 | 0,960              | 2,500 | 0,980              | 3,750 | 0,990              | 5,000 |
| 900  | 0,810                                   | 0,833 | 0,860              | 1,667 | 0,885              | 2,500 | 0,895              | 3,333 |
| 1200   | 0,705                                   | 0,625 | 0,775              | 1,250 | 0,810              | 1,875 | 0,830              | 2,500 |
| 1800   | 0,515                                   | 0,417 | 0,600              | 0,833 | 0,650              | 1.250 | 0,690              | 1,667 |
| 2700   | 0,280                                   | 0,278 | 0,380              | 0,555 | 0,465              | 0,833 | 0,530              | 1,111 |
| 3600   | 0,135                                   | 0,208 | 0,220              | 0,417 | 0,310              | 0,625 | 0,400              | 0,833 |
| 5400   | 0,030                                   | 0,139 | 0,080              | 0,278 | 0,135              | 0,417 | 0,200              | 0,556 |
| 7200   | 0,015                                   | 0,104 | 0,030              | 0,208 | 0,060              | 0,313 | 0,095              | 0,417 |

Tablo 3.1 Yumaklı bir süspansiyonun çökeltme deneyi neticeleri





Şekil 3.3 Eşit konsantrasyonlu eğrilerin geçirilmesi



Şekil 3.6 Cesitli bekletme zamanları için boyutsuz

larda yazılı izâfi konsantrasyonlar arasında % 10, 20, 30,... gibi seçilen değerler için enterpolasyon yapılarak, enterpolasyon noktalarına mümkün olduğu kadar uyacak şekilde eğriler geçirilir. (Meselâ % 81 ve %51,5 konsantrasyonlarına tekabül eden A ve B noktaları arasından %60, %70 ve %80, eğrileri çizilir. ) Bunlar, süspansiyonda mevcut madde konsantrasyonlarına ait yüzdelerdir. Bunların birden (% 100 den) farkları tabana çökelen madde yüzdelerini verir.

Verilen bir bekleme zamanı sonunda tabana çöken madde miktarının başlangıçta, süspansiyonda mevcut madde miktarına oranını bulmak için, bu bekleme süresine tekabül eden düzey çizginin konsantrasyon eğrilerini kestikleri noktalar arasındaki  $\Delta h_1$ ,  $\Delta h_2$  mesafeleri şekil üzerinden ölçülür (Şekil 3.4.) Sonra bunların havuz derinliğine oranları bulunur ve bu yüzdelerin ortalaması ile çarpılır.

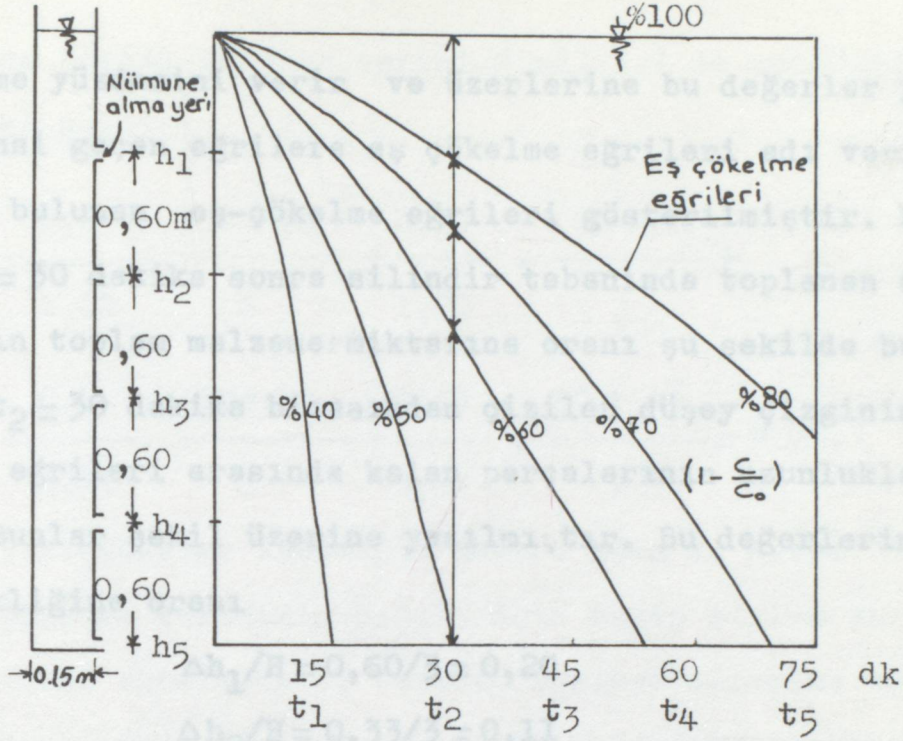
Aşağıda, eşit konsantrasyon (eş çökeltme) eğrileri yardımıyla toplam verimin hesabı, çeşitli misâller üzerinde açıklanacaktır.

Misâl 3. 1.

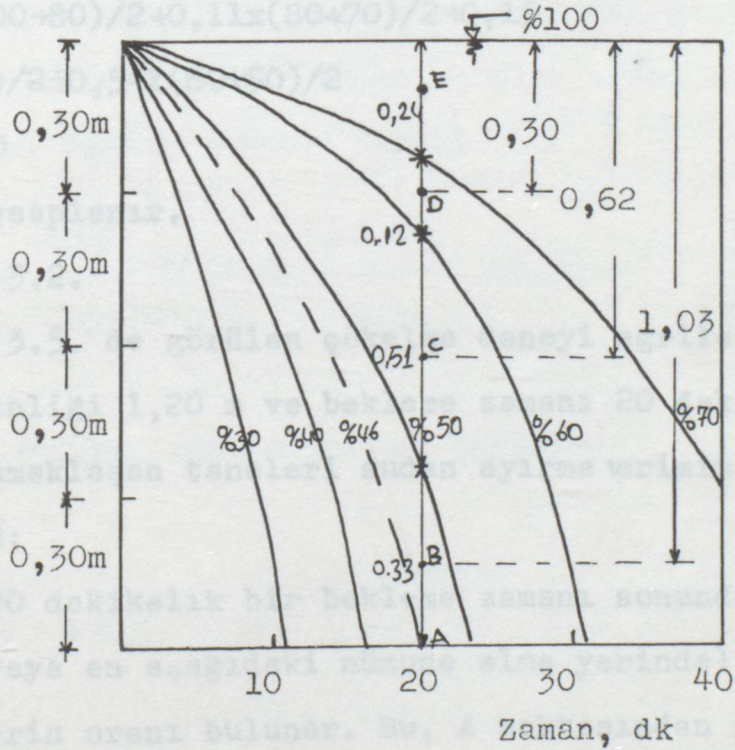
Şekil 3.4. de görülen çökeltme deneyi sonuçlarını kullanarak, 5 No. lu nümune alma derinliği ve  $t_2$  bekleme zamanı için, katı maddelerin sudan ayrılma oranını bulunuz.

Çözümü:

Önce yukarıda açıklandığı şekilde eş-verim eğrileri çizilir. Bu eğriler, verilen bir zaman sonra, verilen bir derinlikteki katı madde konsantrasyonunun başlangıç konsantrasyonuna oranını gösterirler. Bu oranların birden farkı



Şekil 3.4 Yumaklı bir süspansiyonda eş-çökme eğrileri ve çökme veriminin hesabı



Şekil 3.5 Eş çökme eğrileri

çökeltme yüzdesini verir ve üzerlerine bu değerler yazılırsa bahsi geçen eğrilere eş çökeltme eğrileri adı verilir. Şekilde bulunan eş-çökeltme eğrileri gösterilmiştir. Buna göre  $t_2 = 30$  dakika sonra silindir tabanında toplanan madde miktarının toplam malzeme miktarına oranı şu şekilde bulunur:

$t_2 = 30$  dakika hizasından çizilen düşey çizginin, eş-çökeltme eğrileri arasında kalan parçalarının uzunlukları ölçülür. Bunlar şekil üzerine yazılmıştır. Bu değerlerin H su yüksekliğine oranı

$$\Delta h_1/H = 0,60/3 = 0,20$$

$$\Delta h_2/H = 0,33/3 = 0,11$$

$$\Delta h_3/H = 0,45/3 = 0,15$$

$$\Delta h_4/H = 1,62/3 = 0,54$$

olur ve çökeltme verimi

$$\eta = 0,20 \times (100+80)/2 + 0,11 \times (80+70)/2 + 0,15$$

$$\times (70+60)/2 + 0,54 \times (60+50)/2$$

$$= \%65,70$$

şeklinde hesaplanır.

### Misal 3.2.

Şekil 3.5. de görülen çökeltme deneyi eğrilerini kullanarak, derinliği 1,20 m ve bekleme zamanı 20 dakika olan bir havuzun, yumaklaşan taneleri sudan ayırma verimini bulunuz.

Çözümü:

Önce 20 dakikalık bir bekleme zamanı sonunda, lavuz tabanında, (veya en aşağıdaki nümune alma yerinde) sudan ayrılmış maddelerin oranı bulunur. Bu, A noktasından geçen ve kesikli çizgilerle gösterilmiş olan eş-çökeltme eğrisine ait

havuzun toplam çökeltme verimi Misâl 3.1 de açıklandığı şekilde elde edilir:

$$\eta = \frac{0,24}{1,20} \cdot \frac{100+70}{2} + \frac{0,12}{1,20} \cdot \frac{70+60}{2} + \frac{0,51}{1,21} \cdot \frac{60+50}{2} + \frac{0,33}{1,20} \cdot \frac{50+45}{2} = \% 60.1$$

### 3.2.2 Çökeltme Veriminin Hesabı İçin 2. Metod

Çökeltme veriminin hesabı için takip edilen bu metotta eş çökeltme eğrilerinin, verilen bekleme süresine tekabül eden düşey çizgi üzerinde ayırdığı doğru parçalarının orta noktaları bulunur ve bunların su yüzeyine mesafeleri hesaba esas alınır. Şekil 3.5 de bu noktalar B, C ve D harfleriyle gösterilmiştir. Bunların su yüzeyine uzaklıkları sırasıyla 1,03 m, 0,62 m ve 0,30 m dir. A noktasından geçen eş-çökeltme eğrisine göre, tabanda sudan ayrılma oranı % 46 olduğundan, havuzun toplam çökeltme verimi

$$\eta = 46 + \frac{1,03}{1,20} \times (50-46) + \frac{0,62}{1,20} (60-50) +$$

$$+ \frac{0,3}{1,20} (70-60) + \text{Diğer benzer terimler}$$

$$= 46 + 3,4 + 5,0 + 2,75 + \dots \cong \% 57$$

olur.

### 3.2.3 Çökelme Veriminin Hesabı İçin 3. Metod

Yumaklı süspansiyonlarda toplam çökelme verimini bulmak için bu metotta, belirli zamanlarda, çeşitli derinliklerden alınan nünunelerin  $x=c/c_0$  konsantrasyonları, bu derinliklere karşı noktalanarak şekil 3.6 daki eğri ailesi çizilir. Tablo 3.1 de,  $T=1800$  sn için verilen izâfi konsantrasyonları, bir misâl olması için şeklin üzerine yazılmıştır.

Bu bekleme zamanları sonunda kabın tabanına çökelen madde miktarının, başlangıçta süspansiyonun ihtiva ettiği madde miktarına oranını hesaplamak için, bu eğrilerin altındaki alanlar bulunur.

Bir misal olarak, şekil 3.7 de,  $T=1800$  sn sonundaki konsantrasyonun derinlikle değişimini gösteren eğrinin altındaki alanı hesaplayarak çökelme verimini bulalım:

Burada  $ABB'$  alanı hariç diğerleri trapez şeklinde kabul edilebilir.  $ABB'$  alanı ise,  $AB$  eğrisi bir parabol kabul edilerek hesaplanacaktır. Nümune alma yerleri arasında eşit mesafeler bulunduğundan bunlar arasındaki uzunluk  $h$  (burada  $\Delta h = 0,75$  m) ile gösterilerek hesap kolaylığı sağlanabilir. Yapılan işlemler aşağıda özetlenmiştir:

(1)  $h=0,75$  m yüksekliğindeki bir sâkin çökelme kolonunda çökelme verimi : Bu halde süspansiyondaki madde miktarını bulmak için  $ABB'$  alanını hesaplamak lâzımdır.

$AB$  eğrisi parabol kabul edilirse bunun altındaki alan için

$(2/3) (0,515) (\Delta h) = c(\Delta h)$   
yazılır ve

$$c = (2/3) (0,515) = 0,35$$

bulunur. Buna göre tabana çökelen maddenin oranı

$$\eta = 1 - c = 1 - 0,35 = 0,65$$

olur.

(2)  $h = 1,5$  m yüksekliğinde bir sakin çökme kolonunun verimi: Bu halde süspansiyondaki madde miktarınatekabül eden ABCC' alanı için

$$(2/3) (0,515) (\Delta h) + \frac{0,515 \quad 0,600}{2} (\Delta h) = 2(\Delta h)c$$

yazılır ve

$$c = \frac{0,35 + [(0,515 + 0,600/2)]}{2} = 0,45$$

$$\eta = 1 - 0,45 = 0,55$$

bulunur.

(3)  $h = 2,25$  m yüksekliğindeki sakin çökme kolonundaki çökme verimi :ABCC'alanı (2) (0,45) ( $\Delta h$ ) olduğundan

$$(2) (0,45) (\Delta h) + \frac{0,60 \quad 0,65}{2} (\Delta h) = 3(\Delta h)c$$

$$c = \frac{0,90 + [(0,60 \quad 0,65)/2]}{3} = 0,508$$

$$\eta = 1 - 0,508 = 0,492$$

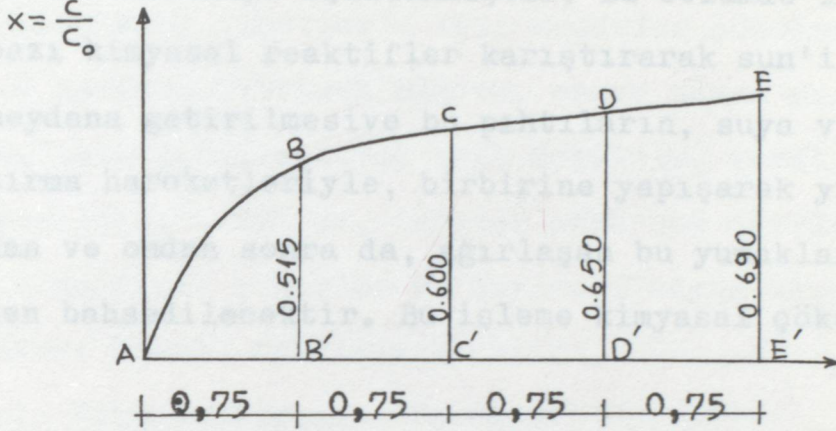
(4)  $h = 3,0$  m için çökme verimi :

$$\left[ 0,90 + 0,625 + \frac{0,65 + 0,69}{2} \right] / 4 = 0,549$$

$$\eta = 1 - 0,549 = 0,45$$

## 4. Kimyasal Çökeltme

Daha önce mesit çökeltmeden söz edilmiş suda, herhangi bir pıhtılaştırma işlemine tabi tutulmadan, olduğu gibi çökeltmeye bırakılması açıklanmıştır. Bu bölümde ise, uygun i- çine bazı kimyasal reaktifler karıştırılarak su'nun i- çine alınmasıyla meydana getirilme ve çökeltme, suya verilen uygun karıştırma hareketiyle, birbirine yapışarak yumaklaştırıl- maktadır ve daha sonra da, çökeltme bu yumakların çökelti- lmesinden bahsedilecektir. Bu bölümde çökeltme çökeltme- tirdir.



Su yüzeyine uzaklık  $h$  (m)

Şekil 3.7 T 1800 sn sonundaki çökeltme

veriminin tayini için alan hesabı

(Tablo 3.1'ebkz)

- a - Kimyasal maddelerin karıştırılması,
- b - İnce pıhtılar meydana getirilmesi,
- c - İnce pıhtıların birinci ile birleştirilerek yumak- laştırılması, daha kalın pıhtılar haline getirilmeleri.

Birbirine geçiş halinde hareket olan bu üç kademe işle- minin başlıca farkları, karıştırma hareketinin birincide çok hızlı, ikincide daha yavaş, üçüncüde en yavaş şekilde uygu- lanmasıdır. Birinci kademe hızlı karıştırma, reaktiflerin su- ya iyice ve eşit şekilde karışmasını sağlar. İkinci kademe- de karıştırma daha yavaştır ve burada ince pıhtılar doğmaya



#### 4. Kimyasal Çökeltme

Daha önce basit çökeltmeden söz edilmiş suyun, herhangi bir pıhtılaştırma işlemine tabi tutulmadan, olduğu gibi çökelmeye terkedildiği açıklanmıştır. Bu bölümde ise, suyun içine bazı kimyasal reaktifler karıştırarak sun'i şekilde pıhtılaşmaya getirilmesive bu pıhtıların, suya verilecek ağır karıştırma hareketleriyle, birbirine yapışarak yumaklaştırılmasından ve ondan sonra da, ağırlaşan bu yumakların çökeltmesinden bahsedilecektir. Bu işleme kimyasal çökeltme denmektedir.

Pıhtılaştırma deyimi, suyun içine kimyasal maddelerin ilâvesi, bu maddelerin su içinde eşit şekilde dağıtılması, ilk hamlede meydana gelen ince pıhtıların suya verilecek uygun bazı hareketlerle birbirlerine değerek yapışıp daha kolay çökelten kalın pıhtılar haline getirilmesi yani, yumaklaştırılması (flocculation) işlemlerinin hepsini birden kavrmaktadır. böylece pıhtılaştırma işlemi üç safhada meydana gelmektedir.

- a - Kimyasal maddelerin karıştırılması,
- b - İnce pıhtılar meydana getirilmesi,
- c - İnce pıhtıların birbiri ile birleştirilerek yumaklaştırıp daha kalın pıhtılar haline getirilmeleri.

Birbirine geçiş halinden ibaret olan bu üç kademe işlemin başlıca farkları, karıştırma hareketinin birincide çok hızlı, ikincide daha yavaş, üçüncüde en yavaş şekilde uygulanmasıdır. Başlangıçtaki hızlı karıştırma, reaktiflerin suya iyice ve eşit şekilde karışmasını sağlar. İkinci kademedeki karıştırma daha yavaştır ve burada ince pıhtılar doğmaya

başlar, son kademede karıştırma hareketi daha da yavaşlatılarak incepihtılar yumaklaştırılmak suretiyle kalınlaştırıp çökelecek hale getirilmiş olur.

Bu işlemlerden sonra su, çökeltme havuzuna alınır ve orada, kalınlaşan pıhtılarınla katı maddeler çökerek sudan ayrılır ve havuzun dibinden alınıp, zaman zaman dışarı atılır. Çökeltme için pıhtılaştırma şart değildir. Ancak, pıhtılaştırma yapıldığı takdirde, taneler daha çok ağırlaştırılmış olacağından hızla çökerler ve böylece, suyun havuzdaki bekleme süresi önemli derecede kısalır.

#### 4.1. Pıhtılaştırmanın Esası

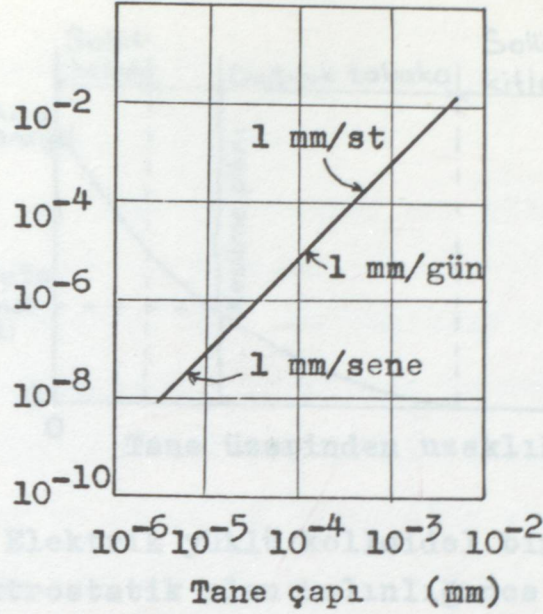
Su tasfiyesinde kolloidal maddelerle askı halindeki, çok küçük taneçiklerin çökmesini kolaylatırmak için suya ilâve edilen kimyasal maddelere koagülant (coagulant pıhtılaştırıcı) denilmektedir. Koagülasyon (coagulant pıhtılaştırma) ise koagülantların suya ilâve edilişi ve etkili hale sokulmalarından ibaret olup bir seri kimyasal ve mekanik işlemlerin içine almaktır. Bu işlemler genellikle iki kademeden meydana gelmektedir: Birincisi, " hızlı karıştırma" ( mixing) ki bu işlemle kimyasal maddeler oldukça hızlı bir şekilde ham suya karıştırılır; ikincisi, "yumaklaştırma" (flocculation) dır ki bu işlemlede su, yavaş ve uygun şekilde, uzunca bir süre için karıştırılarak küçük tane ve pıhtıların büyümesi birbiriyle birleşmesi, yumaklaşması ve böylece kolayca çökele bilecek, olgun ve sağlam fülökların (yumakcıklar) meydana gelmesi sağlanmış olur.

Askıdaki tanelerin sudan ayrışarak dibe gitmelerine ve orada birilmelerine çökme (sedimentation), durulma ve ber-  
raklaşma gibi deyimler kullanılmıştır. Mamaafih, berraklaş-  
ma (clarification)deyimi ile ekseriya koagülasyon ve çökme  
işlemlerinin ikisi birden ifade edilmeye çalışılmıştır.

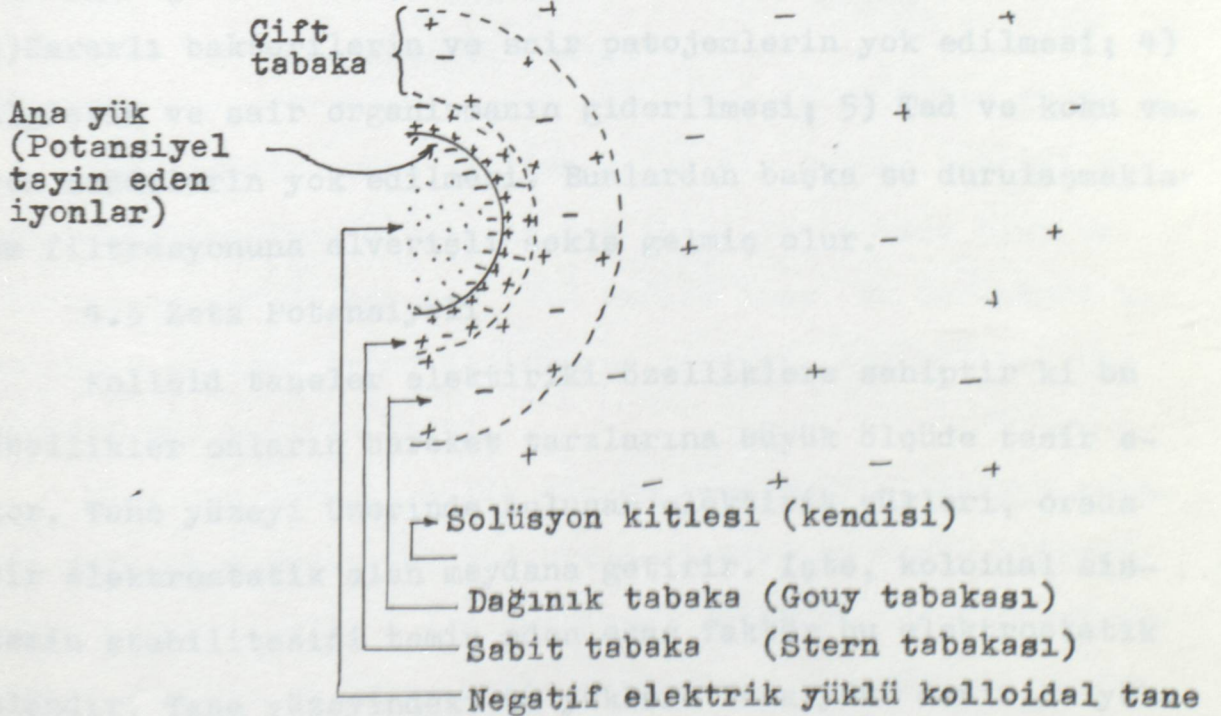
#### 4.2 Pıhtılaştırmanın Gayesi

Koagülasyon içme ve kullanma sularının arıtılmasında ga-  
yet yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzey suları  $10^{-7}$  ilâ 0,1  
mm büyüklüğünde yani, birbirlerinden bir milyon defa farklı  
büyüklükte taneleri ihtiva etmektedir. Küçük çaptaki bazı  
taneler renk , tad ve kokuya sebep olmaktadır.

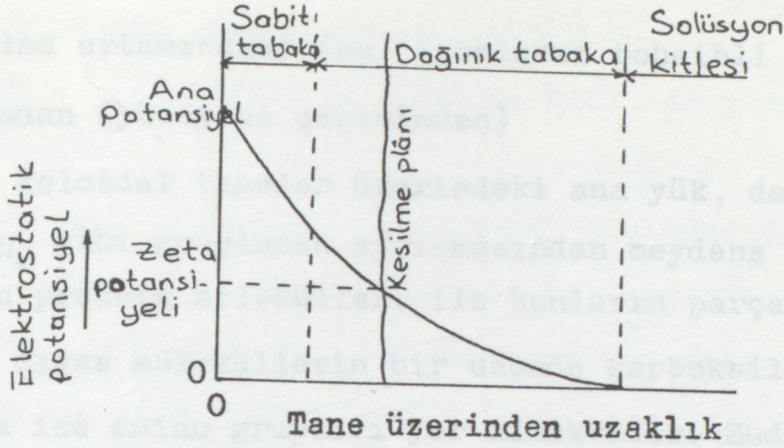
Tabii sulardaki tanelerin çoğunluğunu, özgül ağırlığı  
2,65 olan, silika ve benzeri madenler teşkil etmektedir. Kum  
tanesi halindeki silika (0,1 ilâ 2,0 mm) sudan kolayca ayrı-  
şarak dibe çöker. Fakat, daha küçük çaptaki dağınık tanecik-  
lerin ağırlıklarıyla çökelmeleri gayet yavaş olur. Bu durum  
şekil 4.1 in tetkikinden de kolayca görülecektir. Bu şekil-  
deki eğri  $15^{\circ}\text{C}$  lık durgun sudaki küresel silika tanecikleri-  
nin, çaplarına kıyasla çökme hızlarını göstermektedir. Bura-  
dan anlaşılacağı gibi  $10^{-3}$  mm çapındaki bir tane bir mm yi  
bir saatte çöktüğü halde  $10^{-5}$  çapındaki bir tanenin aynı mik-  
tar mesafeyi çökebilmesi için bir seneye ihtiyaç vardır bu  
gibi taneciklerin sudan çökelmek suretiyle ayrıştırılmaları,  
pratik olarak ancak, bunların birbirleriyle birleştirilerek,  
saatte birkaç yüz mm hızla çökecek hale getirilmeleriyle  
mümkün olur. Bu ise koagülasyonla sağlanır.



Şekil 4.1 Küre biçimindeki silika taneciklerinin (özgül ağırlık 2,65), Stokes kanununa göre hesap edilen, 15 C lik durgun sudaki çökeltme hızları.



Şekil 4.2 Negatif ana yüklü bir kolloidal tane etrafındaki Çift tabakanın şematik görünüşü.



Şekil 4.3 Elektrik yüklü kolloidal bir taneyi saran elektrostatik alan kalınlığına potansiyel değişimi

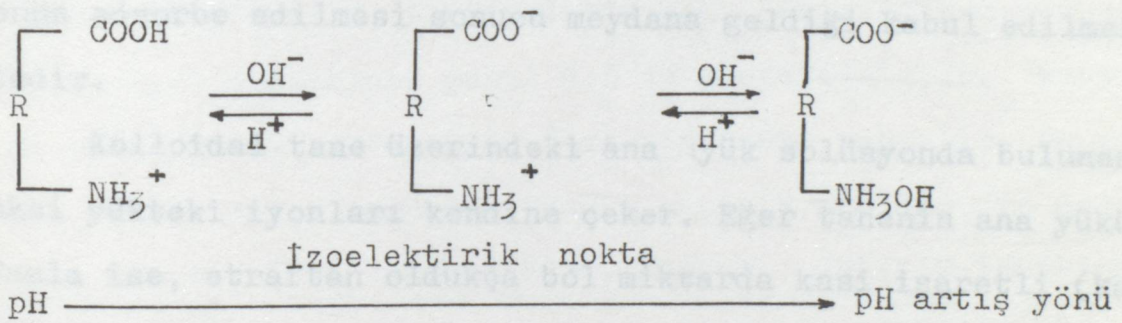
Sular çeşitli maksatlar için koagülasyona tabi tutulur. Bunlardan en önemli olanları 1) İnorganik ve organik bulanıklığın giderilmesi; 2) Hakiki ve zahiri rengin giderilmesi; 3) Zararlı bakterilerin ve sair patojenlerin yok edilmesi; 4) Alglerin ve sair organizmanın giderilmesi; 5) Tad ve koku veren maddelerin yok edilmesi. Bunlardan başka su durulaşmakla kum filtrasyonuna elverişli şekle gelmiş olur.

#### 4.3 Zeta Potansiyeli

Kolloid taneler elektiriki özelliklere sahiptir ki bu özellikler onların hareket tarzlarına büyük ölçüde tesir eder. Tane yüzeyi üzerinde bulunan elektirik yükleri, orada bir elektrostatik alan meydana getirir. İşte, koloidal sistemin stabilitesini temin eden esas faktör bu elektrostatik alandır. Tane yüzeyindeki bu yüklere "ana yük" denir. Bu yükler, aşağıdaki iki sebepten birinden veya her ikisinden birinden meydana gelmektedir: (1) tane yapısını teşkil eden moleküllerin uçundaki reaktif gruplarının ayrışmasından ve (2)

dağılıma ortamındaki (su) iyonların tehcihli olarak adsorpsiyonundan (yüzeysel çekiminden)

Koloidal taneler üzerindeki ana yük, daha çok,  $-\text{COOH}$  ve  $\text{NH}_2$  gibi grupların ayrışmasından meydana gelmektedir. Örneğin protein molekülleri ile bunların parçalanmasından ortaya çıkan moleküllerin bir ucunda karboksil asit, diğer ucunda ise amino grupları yer almaktadır. Suda amino grubu hidrolize olur ve suyun pH derecesine göre, gruplardan biri veya her ikisi ayrışır. Bu ayrışım aşağıdaki şekilde ifade edilebilir. R harfi ile molekül yapısı gösterilmiştir.



İzoelektrik nokta denilen belli bir duruma tekabül eden pH derecesinde grupların her ikisi de iyonize olur ve böylece molekülün net ana yükü sıfıra iner. Bu durumdaki bir moleküle zwitter iyonu denir (aynı zamanda, hem pozitif hem negatif yük taşıyan iyon).

Elektrik yükünün sıfır olduğu izoelektrik noktaya tekabül eden pH derecesinde bir artış olursa, bu artış hidrate olmuş (su molekülleri ile sarılmış) amino grubunun iyonizasyonunu azaltır ve dolayısıyla da protein molekülünün yükü negatif olur. Bunun aksine, izoelektrik noktadakine kıyasla pH azalır ise karboksil grubunun iyonizasyonu da azalır ve

netice olarak molekülün net yükü de pozitif olur. Bu reaksiyonlar, çift okla gösterildiği gibi iki yönlü (tersine dönüşlü) dür.

Kolloidal taneler üzerindeki ana yük, bu tanelerin, dağılım ortamından seçerek (tercihli) adsorbe ettiği (yüzeyine çektiği) iyonların yüklerinden meydana gelir. Seçerek adsorbe etmenin mekanizması henüz tamamen anlaşılammıştır. Taneler üzerindeki yük pH ile birlikte değişmekte ve aksi işareti alabilmektedir. Bu sebepten, tanelerdeki (ana) yükün,  $H^+$  veya  $OH^-$  gruplarından hangisi dağılım ortamında daha fazla ise, onun adsorbe edilmesi sonucu meydana geldiği kabul edilmektedir.

Kolloidal tane üzerindeki ana yük solüsyonda bulunan aksi yükteki iyonları kendine çeker. Eğer tanenin ana yükü fazla ise, etraftan oldukça bol miktarda kasi işaretli (karşıt iyonlar = counter ions) iyon çeker ve böylece tane yoğun bir karşıt iyonlar tabakası ile kablammış olur. Bu şekilde de tanenin elektrik yükü kısmen dengelenir yani nört hale yaklaşır. Bu, ilk ve yoğun, karşıt iyonlar tabakasına "sabit tabaka" veya stern tabakası denilmektedir. Stern tabakasında gene aynı cinsten fakat, daha az sayıdaki iyonları teşkil ettiği yoğun bir tabaka ile çevrilir. Bu ikinci karşıt iyonlar tabakasında "dağınık tabaka" veya Gouy tabakası denir. Gouy tabakasındaki iyon konsentrasyonu stern tabakasına bitişik olan kısımda fazla solüsyon kitlesiyle birleştiği yerde ise azdır. Mamafih stern ve Gouy tabakalar içinde de, gayet za sayıda, ana yükü teşkil eden iyonlardan bulunmaktadır.

Stern ve Gouy tabakalarını her ikisine birden çift tabaka denilir. Şekil 4.2de ana yükü negatif olan kolloidal bir tane yi saran çift şemadaki olarak gösterilmiştir.

Katyon ve anyonlar arasındaki konsantrasyon farkından dolayı, tane etrafında elektrostatik bir alan meydana gelir. Eğer solüsyon kitlesindeki potansiyele sıfır diğecek olursak çift tabaka kalınlığına tane ye doğru gitdikce potansiyel artar. Çift tabakanın herhangi bir noktasındaki potansiyel, solüsyon kitlesindeki birim yükün tane yüzeyine getirilmesi için sarf edilecek iş ile ölçülür. elektrik kolloidal bir tanenin üzerindeki, elektrostatik saha derinliğince mevcut potansiyel miktarları Şekil 4.3 de gösterilmiştir. "kesilme plânı " daki potansiyel özel bir öneme sahiptir. Bu plânın içinde kalan solüsyon tane ye yapışık gibidir, ve daima tane ile birlikte hareket eder. Halbuki, dağınık tabakanın kesilme plânı dışında kalan kısmı tane ile birlikte gezmez. Kolloidal tanelerde, kesilme plânı sabit tabaka dış yüzüne çok yakındır. Kesilme plânı üzerindeki potansiyele zeta potansiyeli denir. Kolloidal tanenin gösterdiği elektrokinetik özellikler çoğunlukla zeta potansiyeline bağlıdır; itibarla da bu potansiyel çok önemlidir.

#### 4.4 Kolloidlerin Denge Hali

Kolloidallik şartları devam ettiği sürece kolloidal stabil olduğu yani, denge durumunu bozmadığı söylenebilir. Gaye, kolloidal sistemi teşkil eden su ve taneleri birbirinden ayırmak olduğuna göre, kolloidal stabilite sağlık mühendisliği için çok önemlidir.

Kolloidlerin denge hali, kolloidal taneler üzerine tesir



eden çekme ve itme kuvvetlerinin net bileşimine bağlıdır. Taneler arasındaki çekme kuvvetleri iki cinstir :1) London-Van der Waal kuvvetleri, 2) Brownian hareketlerinden doğan kinetik enerji. London - Van der Waal kuvvetlerinin mahiyeti tamamiyle anlaşılammıştır. Bu kuvvetler, birer dipol (çift kutup) hüviyetinde olan tanelerin, dizilirken, kendi aralarındaki karşılıklı tesirlerden doğmaktadır.

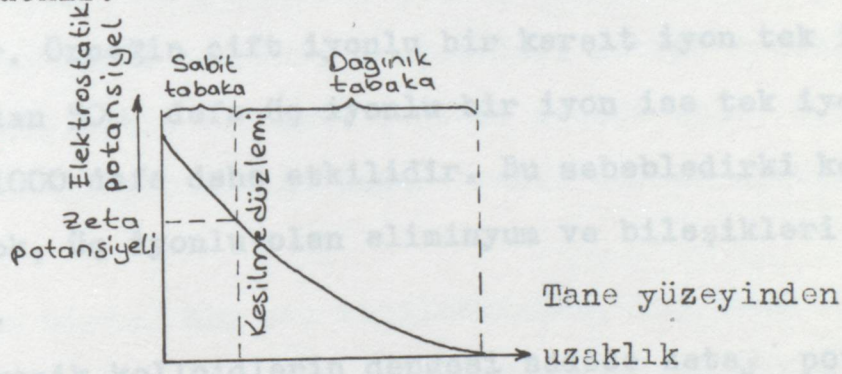
Kolloidal bir taneye tesir eden, taneler arası itme ve çekme kuvvetleri şekil 4.4 de gösterilmiştir. Brownian hareketi hernekadar çekme kuvveti olarak alınabilirse de aslında, tanelerin gelişigüzel ve her doğrultudaki hareketlerini temsil ettiğinden, hem çekme hem de itme kuvveti gibi düşünülmüş ve şekil 4.4 deki bileşkeye sokulmamıştır. Bu şekilde görüleceği gibi ancak taneler birbirlerine yakın oldukları takdirde aralarındaki çekme kuvvetleri (Van der Waal kuvvetleri) çok büyük olabilmekte, mesafe arttıkçada da hızla düşmektedir. O halde kolloidal tanelerin su kütlesinden ayrışmasını sağlamak için itme kuvvetlerini küçülterek, itme ve çekme kuvvetlerinin bileşkesini, Brownian hareketinin temsil ettiği kinetik enerji seviyesinin altına düşürmek lâzımdır. Böylece taneler birbiri ile kavuşup birleşerek, kolayca çökelebilen daha büyük taneler (pıhtı ve yumak) haline gelirler.

Neticeye gidebilmek için itme kuvvetlerinin yani, zeta potansiyelinin düşürülmesi gerekmektedir. Bu ise iki şekilde yapılabilir: 1)pH ayarlanması ile, 2) aksi yüklü iyonlar ( karşıt iyonlar ) veya kolloidler verilmekle Kolloidal sistemin pH si isoelektrik noktaya doğru ayarlandığı zaman

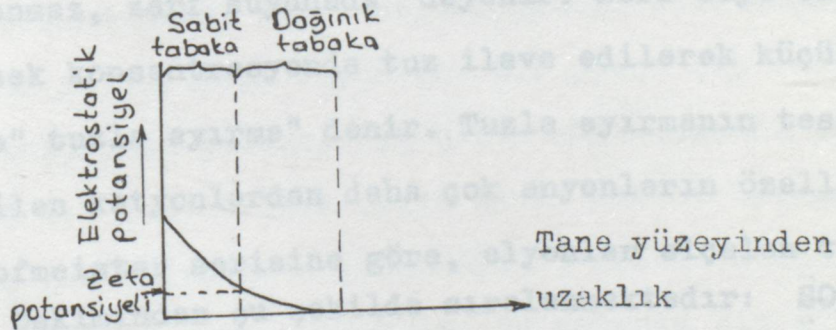


kolloid tane üzerindeki zeta potansiyeli düşmektedir. Zira izoelektrik noktada daha önce görüldüğü gibi, tane üzerindeki ana yük sıfır olmakta ve böylece de taneyi saracak karşıt iyonların meydana getirdiği çift tabaka teşekkül edememektedir. Çift tabaka olmayınca haliyle zeta potansiyeli de doğamamaktadır.

Zeta potansiyeli, kolloid sisteme aksi yükü haiz iyonlar veya aksi yükü haiz başkaca kolloidler vermek suretiyle de indirilir. Kolloidler yardımıyla yapılan pıhtılaştırmaya (zeta potansiyelinin düşürülmesi neticesi) karşılıklı koagülasyon denir.



(a) Karşıt iyonlar ilave edilmeden önceki durum.



(b) Karşıt iyonlar ilave edildikten sonraki durum

Şekil 4.5 Suya karşıt iyonlar vererek zeta potansiyelinin düşürülmesi (11)

Bu hadisenin de solüsyondaki, mevcut veya sonradan verilen karşıt iyonların kümeleşmesi neticesi, erimeyen tanecikler meydana gelmesi olayına benzer bir şekilde meydana geldiği sanılmaktadır. Ham suya (solüsyona) sonradan karşıt iyonlar ilave edilmesi (şap v.b. şeyler ilavesi) sabit (stern) tabaka dağılık (gouy) tabaka üzerindeki iyon miktarını birdenbire artırır ve bunun sonucu olarak zeta potansiyeli düşer. Şekil 4.5 inorganik kolloidli bir sistem üzerindeki zeta potansiyeli düşüşü gösterilmiştir. İnorganik kolloidli tanelerde kesilme düzlemi, sabit tabaka dış yüzeyi ile hemen hemen çakışır. Suyu ilave edilen karşıt iyonların iyon sayısı çok önemlidir. Örneğin çift iyonlu bir karşıt iyon tek iyonlu bir iyondan 5000 defa üç iyonlu bir iyon ise tek iyonlu bir iyondan 1000 defa daha etkilidir. Bu sebebledir ki koaglosyondan en çok, üç iyonlu olan aliminyum ve bileşikleri kullanılmaktadır.

Organik kolloidlerin dengesi sadece zeta potansiyeline dayanmaz, zarf suyunada dayanır. Zarf suyu tabakası, suya yüksek konsantrasyonda tuz ilave edilerek küçültülebilir; buna "tuzla ayırma" denir. Tuzla ayırmanın tesir derecesi verilen katyonlardan daha çok anyonların özelliğine dayanır. Hofmeister serisine göre, anyonlar alçalan tesir dereceleri bakımından şu şekilde sıralanmaktadır:  $SO_4$ ,  $Cl$ ,  $NO_3^-$ ,  $I^-$ . Anlaşıldığına göre, kolloidal tanelerin pıhtılaşp çökmesi için suya verilen iyonlar, zarf suyunun tanelerin üzerinden almak için, bu tanelerle mücadeleye girerler.

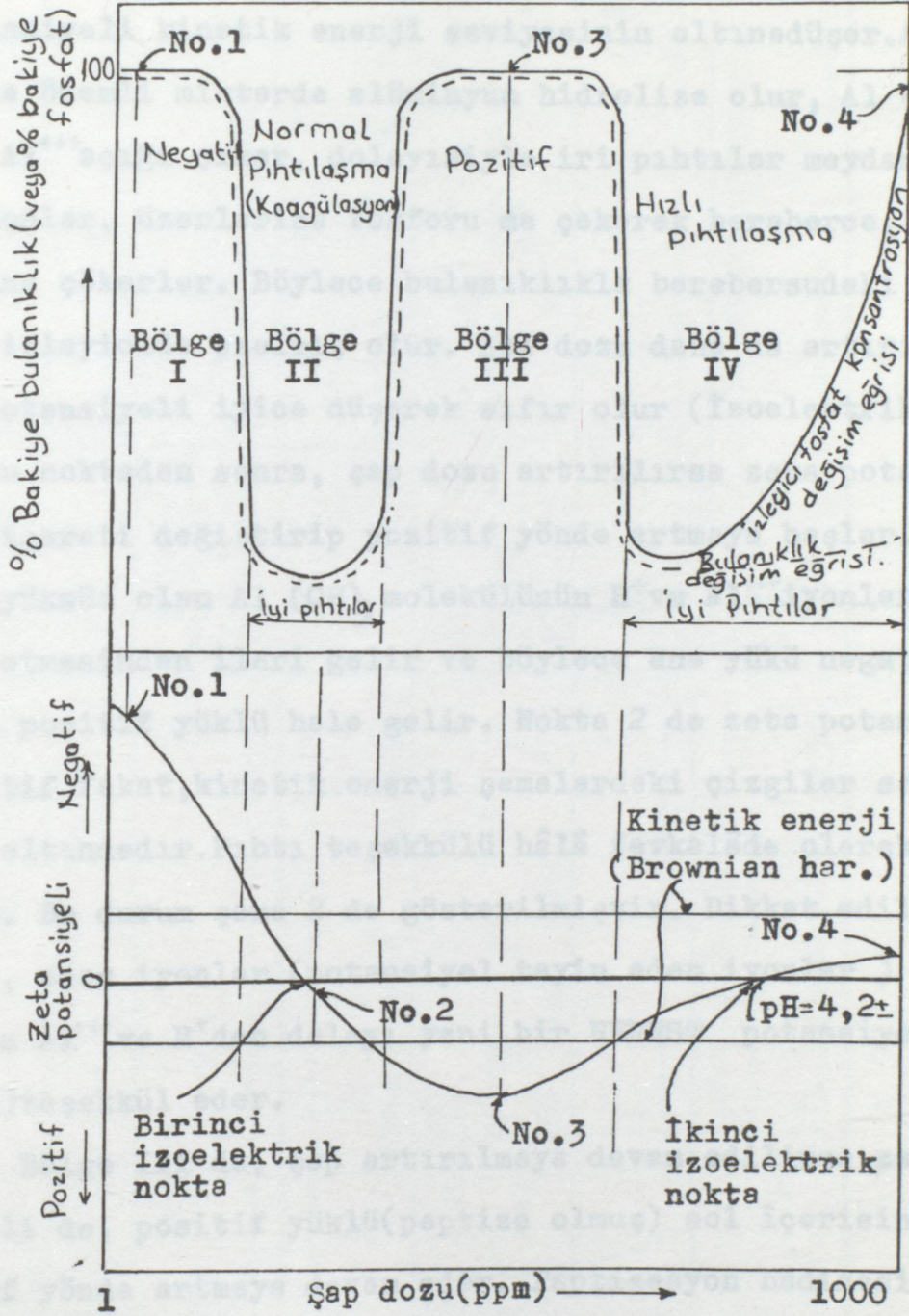
#### 4.5-Koagülasyonun Genel Mekanizması

Araştırmacılar deneyler sonucunda, suda bulunan fosfat ve bulanıklığın, verilen şap dozuna göre eğrilerini çizmiş ve bu eğrilerin tamamen birbirine intibak ettiğini görmüşlerdir. (Şekil 4.6) da görüldüğü gibi deve hörgücünü andıran bu şap bulanıklık eğrisini çizmişlerdir.

Bu çalışma sonunda koagülasyonun mekanizması, şekil4.6 ve 4.7 üzerinde de gösterilerek açıklanmıştır.

Şekil4.7 de kil tanesi ve onu saran karşıt iyonlar ile tane yüzeyinden itibaren elektriki potansiyelin değişimi gösterilmiştir. Bu şekildeki şema resimleri Şekil 4.6 daki, No.1 bir den No4 e kadarki, 4 adet özel notaya tekabül etmektedir?. Yani, şekil 4.7 deki şemalar sadece şekil 4.6 daki oklu No. ların gösterdiği noktalardaki durumu açıklamaktadır. Şöyleki :

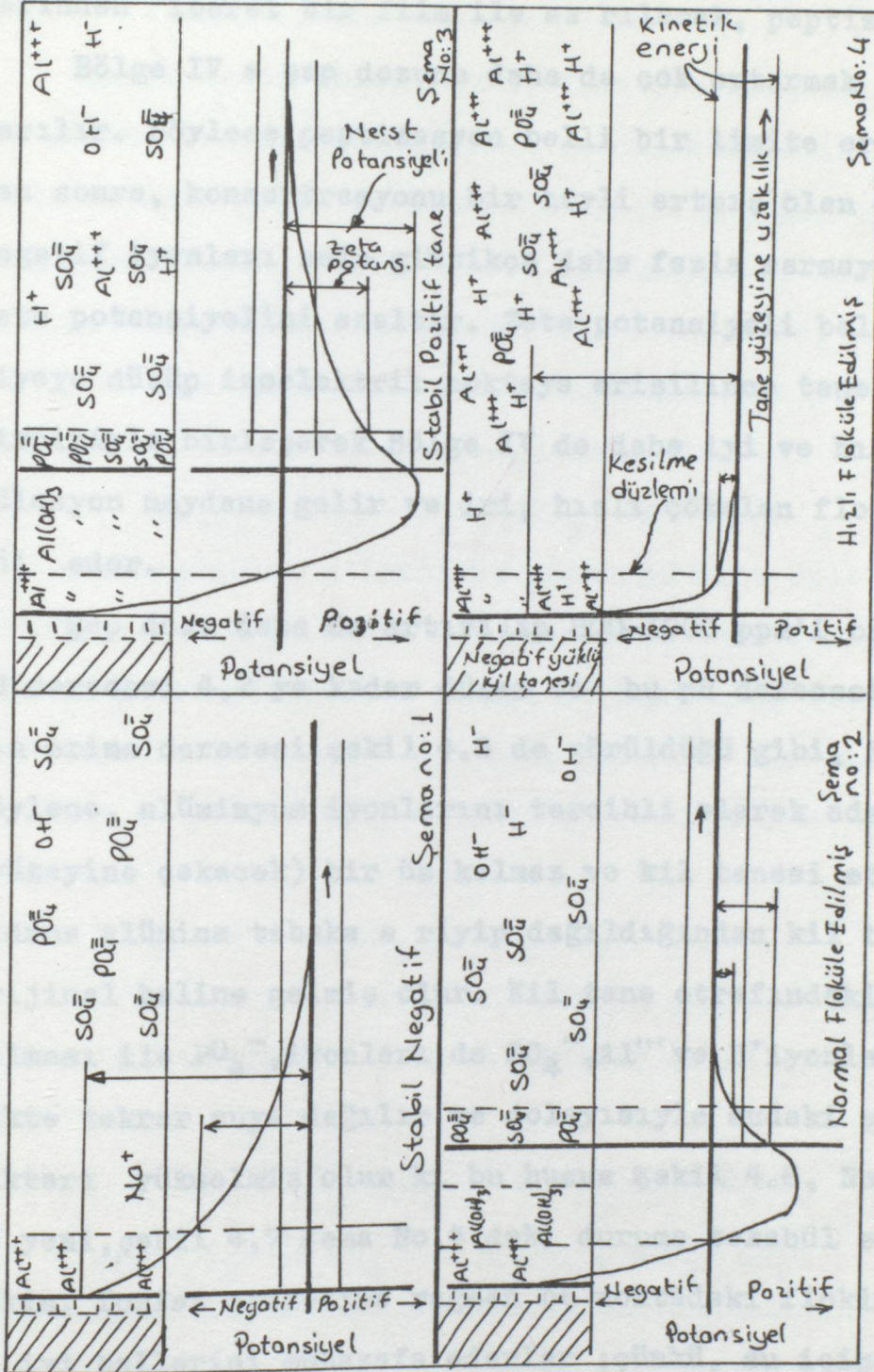
Bölge birde, hiç şap verilmemişken, kil tane üzerindeki esas negatif yükten dolayı zeta potansiyeli büyüktür. Bir parça şap verilmemişken, kil tane üzerindeki esas negatif yükten dolayı zeta potansiyeli büyüktür. Bir parça şap verilmekle (No.1noktası) zeta potansiyeli biraz düşer.ve kil tanesi etrafı şekil 4.7 şema 1 deki şekli alır. Karşıt iyonlar ( $AL^{+++}$ ) ve  $AL(OH)_3$  çok azdır.Zeta potansiyeli, kritik kinetik enerji miktarındançok daha yüksektir, bu sebeple hiç pıhtılaşma olmaz.



Şekil 4.6 Şap- bulanıklık ve şap- fosfat eğrileri. Zeta potansiyelinin düşük olduğu sahalarda iyi bir çökelme meydana gelmekte, dolayısıyla sudaki bakiye bulanıklık ve bakiye fosfat (Nokta no.4 hariç) o sahalarda iyice azalmaktadır. (12)

Bölge II de kâfi miktarda şap ilave edildiğinden zeta potansiyeli kinetik enerji seviyesinin altınadüşer. Aynı zamanda önemli miktarda alüminyum hidrolize olur,  $Al(OH)_3$  ve bol  $Al^{+++}$  açığa çıkar, dolayısıyla iri pıhtılar meydana gelir ve bunlar, üzerlerine fosforu da çekerek beraberce, kabın dibine çökerler. Böylece bulanıklıkla beraber sudaki radyoaktif izleyicide azalmış olur. Şap dozu daha da artırılırsa zeta potansiyeli iyice düşerek sıfır olur (İzoelektrik nokta), ve bu noktadan sonra, şap dozu artırılırsa zeta potansiyeli yük işareti değiştirip pozitif yönde artmaya başlar. Bu durum yüksüz olan  $Al(OH)_3$  molekülünün  $H^+$  ve  $Al^{+++}$  iyonlarını tercih etmesinden ileri gelir ve böylece ana yükü negatif olan tane pozitif yüklü hale gelir. Nokta 2 de zeta potansiyeli pozitif fakat, kinetik enerji şemalardaki çizgiler seviyesinin altındadır. Pıhtı teşekkülü hâlâ fevkalâde olarak devam eder. Bu durum şema 2 de gösterilmiştir. Dikkat edileceği gibi, esas iyonlar (potansiyel tayin eden iyonlar) haline geçen  $Al^{+++}$  ve  $H^+$  den dolayı yeni bir NERNST potansiyeli (ana yükü) teşekkül eder.

Bölge III de, şap artırılmaya devam edilirse zeta potansiyeli de, pozitif yüklü (peptize olmuş) sol içerisinde, pozitif yönde artmaya devam eder. Peptizasyon hadisesi herhangi kolloidal bir tanenin başka bir maddeye ait moleküler bir film ile çevrilmesinden ibarettir; ve bu film kolloidal tanenin koagülasyonuna önleyici rol oynamaktadır. Filmi teşkil eden maddeye de peptize edici madde denmektedir. İşte şekil 4.7 şema 3 deki maysel (tane) de pozitif yüklü  $Al$  ve  $H$  iyon-



Şekil 4.7 Koagülasyonun mekanizması (12)



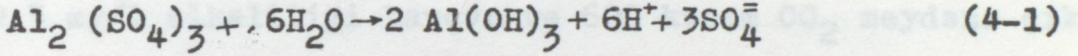
larından ibaret bir film ile sa rılarak, peptize olmuştur.

Bölge IV e şap dozunu daha da çok artırmak suretiyle varılır. Böylece peptizasyon belli bir limite erişik ki bundan sonra, konsantrasyonu bir hayli artmış olan şapın  $SO_4$  negatif iyonları solu gittikçe daha fazla sarmaya başliyerek zeta potansiyelini azaltır. Zeta potansiyeli belirli bir seviyeye düşüp izoelektrik noktaya erişilince taneler tekrar birbiriyle birleşerek Bölge IV de daha iyi ve hızlı bir koagülasyon meydana gelir ve iri, hızlı çökelen floklar teşekül eder.

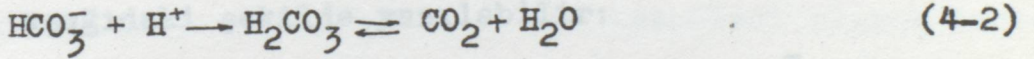
Şap dozu daha da artırılıp 800-1000 ppm'i bulunca, suyun pH derecesi 4,2 ye kadar düşer ve bu pH derecesinde flokların erime derecesi şekil 4.8 de görüldüğü gibi, iyice artar. Böylece, alüminyum iyonlarını tercihli olarak adsorbe edecek (yüzeyine çekecek) bir üs kalmaz ve kil tanesi etrafındaki hidrus alümina tabaka e riyip dağıldığından kil tane eski, orijinal haline gelmiş olur. Kil tane etrafındaki kılıfın dağılması ile  $PO_4^-$  iyonları da  $SO_4^-$ ,  $Al^{+++}$  ve  $H^+$  iyonları ile birlikte tekrar suya dağılır ve dolayısıyla sudaki artık fosfat miktarı yükselmiş olur ki bu husus şekil 4.6, No.4 noktasına yani, şekil 4.7 Şema No.4 deki duruma tekabül etmektedir. Lakin, fosfat artmasına rağmen bu noktadaki floklar fevkalade iyi hallerini muhafaza ederler ;çünkü, su içinde bol miktarda yaygın halde  $Al^{+++}$  ve  $H^+$  iyonları bulunmaktadır. Bu iyonların pozitif yükleri kil tanelerinin negatif yüklerini nötralize etmekte ve zeta potansiyeli hâlâ alçak bir seviyede kalmaktadır.

#### 4.6 Koagülasyonun Kimyasal Yönü

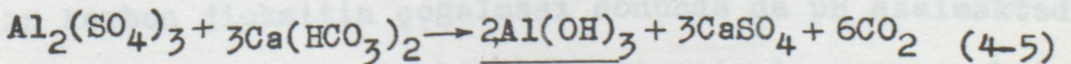
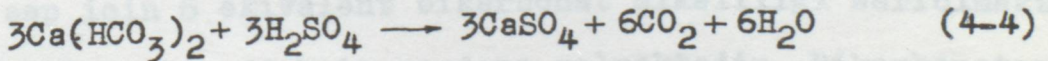
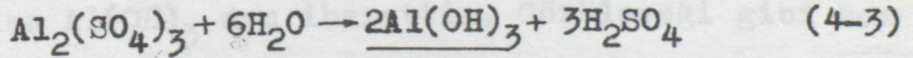
Buraya kadar anlatılanlar daha çok koagülasyonun fiziksel yönünü aksettirmemektedir; ve pH, alkalilik v.b. faktörlerle meydana gelen kantitatif değişikleri gösteremiyordu. Bu değişiklikler, belirli bazı eşitliklerle, kolayca gösterilebilir. Suyu alüminyum sülfat ilave edilirse, suyun hidroksil iyonu ile birleşerek çok az iyonize olan  $Al(OH)_3$  ile hidrojen ve sülfat iyonları meydana gelir.



Meydana gelen H iyonları suyun pH sını öyle bir seviyeye kadar düşürürki ondan sonraki artık daha fazla  $Al(OH)_3$  meydana gelemez(erimeden dolayı). Buna mani olmak için fazla H iyonlarının sudan alınması gerekir. suda mevcut bikarbonatlar bu yönden tanpon ödevi görerek pH nın düşmesini önlerler.

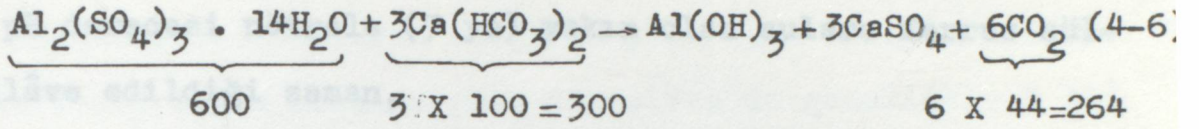


Reaksiyonların kantitatif yönünü gösterebilmek için denklemleri aşağıdaki gibi moleküller şekilleri ile yazmak uygun olur:



Yukarıda, çizgi üzerindeki iki denklemin birbiri ile toplanması sonucunda çizgi altındaki denlem bulunmuştur. Bu denklemin, tanınmış bir eşitlik olduğu ağır bağlantıları yönünden

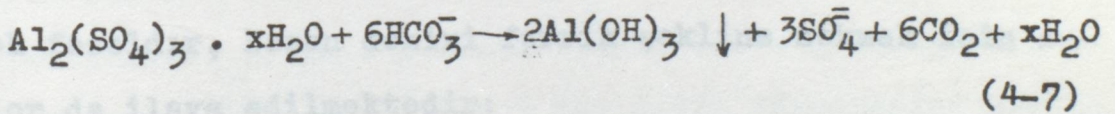
aşağıdaki şekilde yazılabilir.



Şapın moleküller ağırlığı 600 dür.  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  alkaliliği göstermemektedir; alkalilik daima  $\text{CaCO}_3$  cinsinden ifade edilmektedir, ve  $\text{CaCO}_3$  ın moleküller ağırlığı da 100 dür. İşte bu bağlantılardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

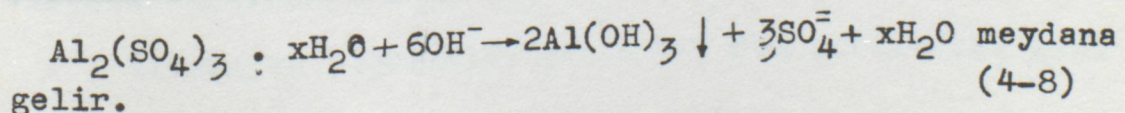
600 kısım şap 300kısım alkaliliği yok eder veya, 1 mg/l şap 0,5 mg/l alkaliliği harçar ve 600 kısım  $\text{CO}_2$  meydana çıkarır veya 1 mg/l şap 0,44 mg/l  $\text{CO}_2$  hasil eder. Yukarıdaki bu son denklemin incelenmesinden kalsiyum karbonatın kalsiyum-sülfata çevrildiği görülür; böylece karbonat sertliğinin bir kısmı sülfat sertliğine dönüşmüş olur ki bu da kimyasal koagülasyonun sebep olduğu küçük bir sakıncadır.

Şap ile sudaki doğal alkalilik arasındaki stokiometrik formül aşağıdaki şekilde yazılabilir:



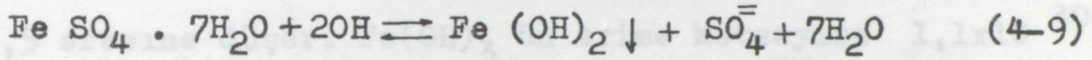
Konumuzu teşkil eden pıhtılar işte bu reaksiyonda da meydana gelen  $\text{Al}(\text{OH})_3$  den ibarettir. Görüleceği gibi her mol şap için 6 ekivalent bikarbonat alkaliliği sarfolmakta ve 6 mol karbon dioksit meydana gelmektedir. Bikarbonatın azalıp karbon dioksitin çoğalması sonunda da pH azalmaktadır.

Eğer suyun değer alkalikliği yetersiz ise şap reaksiyonunun meydana gelmesi için suya alkalilik ilavesi gerekmektedir. İlave edilen alkalilik hidrosil alkaliliği ise,



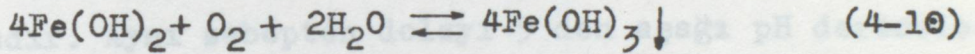
Koagülant olarak ferrus sülfat ta kullanılabilir.

pH derecesi nötrala (7 ye) yakın olan sulara ferrus sülfat ilâve edildiği zaman,

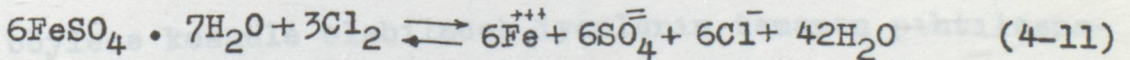


ferrus hidroksit pıhtıların oluşumu, suyun pH derecesini artırmakla, daha da güçlendirilir. Çünkü, ferrus sülfatın koagülant olarak ödevini görebilmek için oksijene ihtiyacı vardır, bu da yüksek pH sınırlarında mümkündür. pH=9,5 dan büyük olmalıdır. böyle yüksek pH miktarları ancak suya kireç,  $\text{Ca(OH)}_2$  ilave etmekle sağlanabilir.

Suda, eriyik halde, oksijen mevcut ise ferrus hidroksit okside ılarak ferrik hidroksit şekline dönüşür:



Normal pH değerlerinde, ferrik hidrositin erimezliği ferrus hidroksitten daha fazladır. Bu sebeple suda eriyik oksijen mevcut ise, ferrus hidroksitin koagülant olarak değeri çok fazaldır, Bazan demiri ferrik şekline sokmak için suya klor da ilave edilmektedir:



Ferrik iyonu hidrolize olarak ferrik hidroksit meydana getirir:



Bu son eşitlik, su arıtımında kullanılan diğer iki koagülant olan ferrik sülfat ile ferrik klorürün hidrolize oluş şeklini de açıklamaktadır.

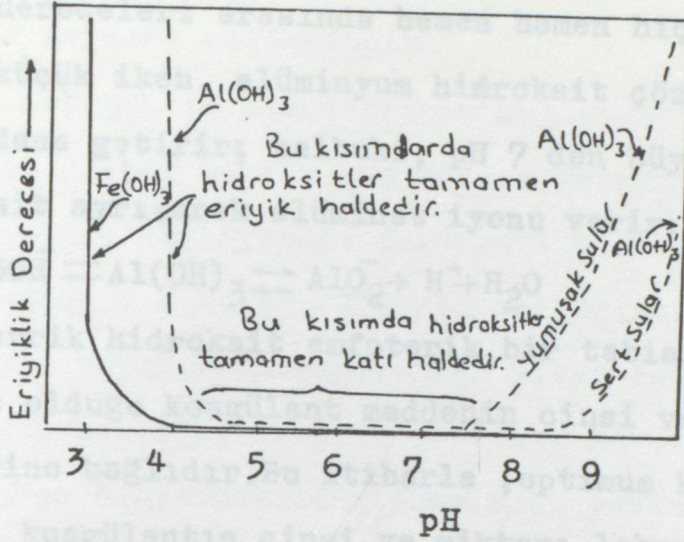
#### 4-7 Kimyasal Koagülasyon İçin Optimum pH

Negatif kolloidlerin koagülasyonu için lüzumlu optimum pH derecesi suyun cinsine göre değişirse de genellikle 5 ilâ 6,5 arasına düşer.  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ün erime katsayısı  $1,1 \times 10^{-30}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ün erime katsayısı ise  $1,9 \times 10^{-33}$  dür; bu da her ikisinin de, pH 5e kadar oldukça erimez cinsten olduklarını ve iyi pıhtılaştıklarını göstermektedir. Böylece suda pıhtılaşmamış, eriyik halde, pek az  $\text{Fe}^{+++}$  veya  $\text{Al}^{+++}$  iyonları ancak kalabilir. Ferrik ve alüminyum hidroksitlerin pH ya göre erime eğrileri Şekil 4-8 de ve Şekil 4-9 da gösterilmiştir.

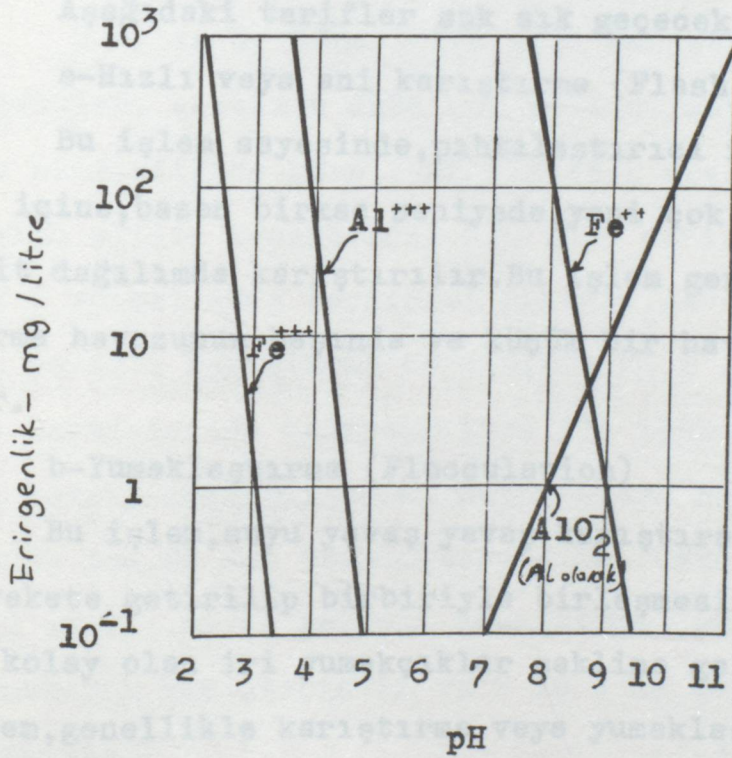
Bu eğrilerden görüleceği gibi 4 den aşağı pH seviyelerinde suda Fe pıhtılaştırmaya yetecek kadar  $[\text{OH}^-]$  iyonu bulunmaktadır. Aynı sebepten dolayı 5 den aşağı pH derecelerinde  $\text{Al}^{+++}$  iyonunda tamamen pıhtılaşmamaktadır. Bu gerçekler, kimyasal koagülasyonun tamamlanabilmesi için, niçin su da bir miktar fazla alkalilik bulunması zorunlu olduğunu açıklamaktadır. Artık alkalilik tampon ödevi görerek, sistemin pH derecesinin, takriben 5 den aşağı düşmemesini sağlar ve böylece koagüle olabilecek iyonların tamamen pıhtılaşmasına imkân verir.

Şekil 4-8 den Şekil 4-9 dan görüleceği gibi  $\text{Al}(\text{OH})_3$  erime eğrisi pH 7 ilâ 9 arasında yükselmeye başlar. Bunun sebebi alüminyum hidroksitin karakter itibariyle amfoterik, yani hem asit hem de alkalik solüsyonlar içinde eriyebilen cinsten, olması ve yüksek pH derecelerinde alüminat iyonu meydana getirmeye meyletmesidir.

Alüminyum hidroksit, Şekil 4-9 den görüleceği gibi



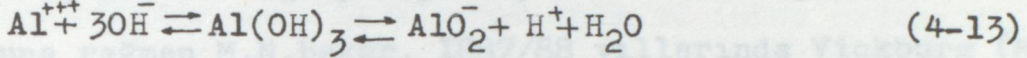
Şekil 4.8 Alüminyum ve ferrik hidroksitlerin pH ya tabi olarak erime eğrileri.



Şekil 4.9 pH'nın fonksiyonu olarak alüminyum hidroksit ve demir hidroksitin erimesi.

5 ilâ 7 pH dereceleri arasında hemen hemen hiç erimez.

pH 5 den küçük iken, alüminyum hidroksit çözülerek alüminyum iyonu meydana getirir; halbuki, pH 7 den büyük olduğu zaman, bu hidroksit ayrışarak alüminat iyonu verir:



Halbuki ferrik hidroksit amfoterik bir tabiat göstermez suyun muhtaç olduğu koagülant maddenin cinsi ve miktarı suyun karakterine bağlıdır. Bu itibarla ,optimum koagülasyonu sağlayacak koagülantın cinsi ve miktarı laburatuvar deneyleri ile tayin edilmelidir. (13)

#### 4.8 Pıhtılaştırma ve Çökeltme

Aşağıdaki tarifler sık sık geçecektir:

##### a-Hızlı veya ani karıştırma (Flash Mixing)

Bu işlem sayesinde, pıhtılaştırıcı reaktifler su kitle- si içine, bazen birkaç saniyede, yani çok kısa bir zamanda ve eşit dağılımda karıştırılırlar. Bu işlem genellikle pıhtılaştırma havuzunun başında ve küçük bir havuzcuk içinde yapılır.

##### b-Yumaklaştırma (Flocculation)

Bu işlem, suyu yavaş yavaş karıştırarak ince pıhtıların harekete getirilip birbiriyle birleşmesini ve çökmesi daha kolay olan iri yumakçıklar şekline gelmesini sağlar. Bu işlem, genellikle karıştırma veya yumaklaştırma havuzları denilen havuzlarda meydana getirilir.

##### c-Çökeltme

Bu işlem, ağırlaşan katı yumakların, yer çekimi ile sudan ayrılmasıdır. Çökeltme veya çökeltme havuzları denilen

havuzlarda meydana gelmektedir.

#### 4.9 Karıştırma Havuzlarının Başlangıcı

Şurası aşikar ki ilk projeciler,yeterli bir pıhtılaştırma işleminin sağlayacağı faydaları tamamiyle kavramamıştı.Buna rağmen M.N.Baker, 1887/88 yıllarında Vickburg (Miss) Su İşletmesi tarafından yaptırılan yatay akışlı hızlı filtre tesisinin pıhtılaştırma ve çökeltme havuzlarını da ihtiva ettiğinden bahsetmektedir.İçme suyu tesisleri ile ilgili literatür pıhtılaştırma ve çökeltme işlemlerinin 1915 ten sonra hızlı filtrelerle birlikte,ekseri mühendisler tarafından kullanıldığını göstermektedir.

Bean'in de bahsettiği gibi karıştırma (yumaklaştırma) havuzları gittikçe daha çok kullanılmaya başlamıştır.Bean' in bildirdiğine göre,1922 ile 1932 arasında yapılan veya islah edilen tesislerden %10 unun karıştırma havuzu yoktur %8 i spiral akış tertibini haizdir,geri kalan %82 sinin 2/3 si perdeli karıştırma tertibine 1/3 i ise mekanik karıştırma tertiplerine sahiptir.1933 ile 1951 arasında yapılan veya modeli değiştirilerek daha modern hale getirilen tesislerde ise,%2 den azının karıştırma havuzu yoktur,%2 si spiral akışlı,%6 sı perdeli karıştırma havuzlarına sahip,% 80 i mekanik karıştırıcılı ve % 10 u da başka türlü metodlara sahiptir.

#### 4.10 Mekanik Karıştırma Havuzları

Bunlar,suyu istenilen derecede karıştıran,mekanik tertibatlı ihtiva eden havuzlardır.Bu çeşit karıştırıcılar suların berraklaştırılması amacı ile kullanılmadan daha önce



suların yumuşatılmasında uygulanmıştır. Suya kimyasal madde verildikten sonra suyun karıştırılmasına devam olunmasının önemi anlaşılınca, karıştırma havuzları iki kısım olarak yapılmıştır. Birinci kısım, kimyasal maddenin hızlı dönen pervane marifetiyle, bir anda su içine dağıtıldığı, küçük ani karışım hücresi; ikinci kısım ise pedallar vasıtasıyla suyun yavaş yavaş karıştırılarak, önce pıhtıların sonrada yumakların oluşturulduğu yavaş karıştırma kısmıdır. (14)

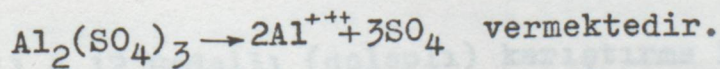
#### 4.11. Mekanik Karıştırma Havuzlarının Projelendirilmesi

##### 4.11.1 Ani Karıştırıcılar

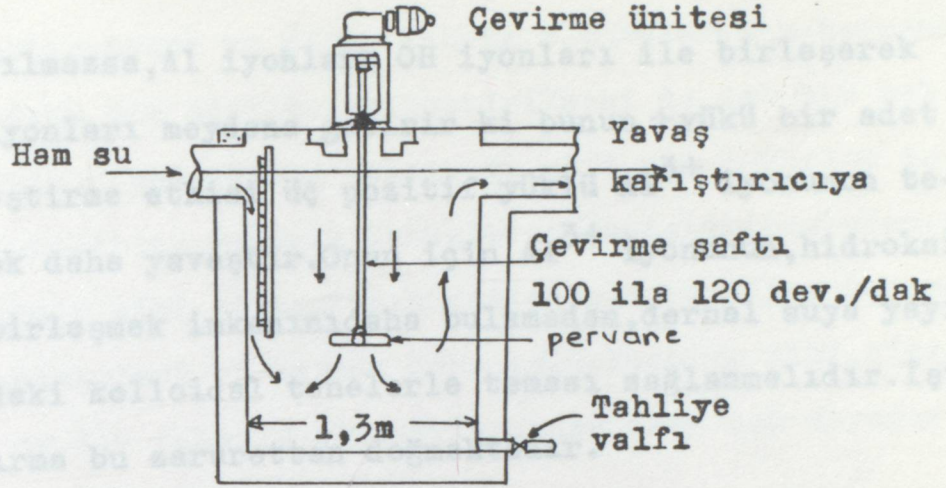
Mekanik karıştırma havuzlarında ham su, içerisine kimyasal madde karıştırılmak üzere, evvela ani karıştırıcı denilen küçük bir karıştırma odacığına alınır. (Şekil 4.10)

Bu odacık içerisinde, dakikada 100-120 devir yapan bir veya birkaç pervane bulunmakta ve bu sayede kimyasal maddenin suya, 10-13 saniye gibi çok kısa bir zamanda karışması sağlanmaktadır. Ani karıştırma odacığının çapı 1 ile 3 m kadar, hacmi de takriben bir dakikalık suyu alacak kadar olabilir.

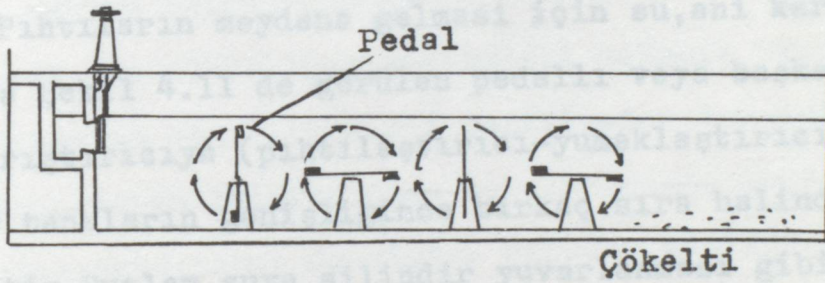
Pıhtılaşma konusunda da açıklandığı gibi,  $Al_2(SO_4)_3$  suda ayrışarak ;



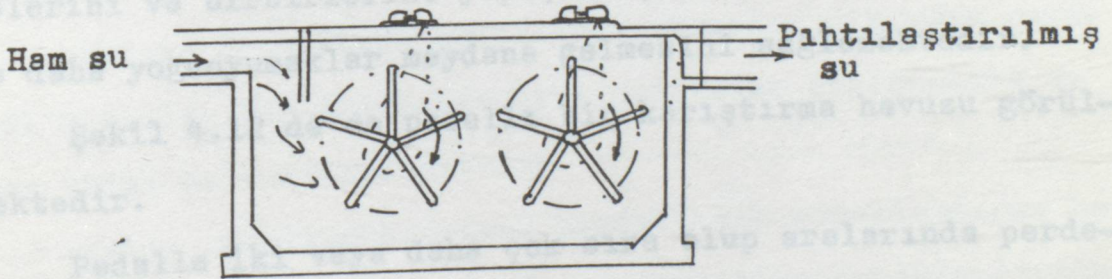
Üç tane pozitif yükü olan  $Al^{+++}$  hemen suya dağıtılırsa bu iyonlar suyun her tarafındaki genellikle negatif yüklü olan, kolloidal tanelerle derhal temas imkanını bulup, onların negatif yükünü nötrleştirebilir. Eğer bu iş, kısa



Şekil 4.10 Dikey bir şaft üzerinde yatay bir düzlemde dönen tip ve diyafram tipi ani karıştırıcı



Şekil 4.11 Pedallı karıştırıcı



Şekil 4.12 Pedallı (dolaplı) karıştırma havuzu. Pedallar dakikada 5 devir yaperlar. Havuz, en azından 15 dakikada dolacak kadar büyük olmalıdır.

zamanda yapılmazsa, Al iyonları OH iyonları ile birleşerek  $(Al(OH)_3)$  iyonları meydana getirir ki bunun +yükü bir adet olup nötrleştirme etkisi üç pozitif yüklü  $Al^{3+}$  iyonunun tesirinden çok daha yavaştır. Onun için  $Al^{3+}$  iyonunun, hidroksit iyonu ile birleşmek imkanını daha bulamadan, derhal suya yayılarak eskidaki kolloidal tanelerle teması sağlanmalıdır. İşte ani karıştırma bu zarurettendir.

#### 4.11.2 Pedallı Yavaş Karıştırıcılar

Ani karıştırıcılar içinde pıhtı meydana gelmesi arzu edilmez. Pıhtıların meydana gelmesi için su, ani karıştırıcıdan sonra Şekil 4.11 de görülen pedallı veya başka tipte bir yavaş karıştırıcıya (pıhtılaştırıcı-yumaklaştırıcıya) alınır pedallar tankların genişliğince birkaç sıra halinde yerleştirilmiştir. Bunlar suya silindir yuvarlanması gibi bir hareket vermekte ve böylece yumakları teşkil edecek pıhtıları havuzun her tarafına yayarak o kısımdaki tanelerle temas etmelerini ve birbirlerine yapışarak, kolay çökebilene, daha iri ve daha yoğun yumaklar meydana gelmesini sağlamaktadır.

Şekil 4.12 de de pedallı bir karıştırma havuzu görülmektedir.

Pedalla iki veya daha çok sıra olup aralarında perdeler bulunabilir. Bu perdeler suya ayrıca yukarı ve aşağıya doğru bir akış vermektedir. Hareket, pedalların şaftına havuzun duvarı üzerine monte edilmiş sabit veya değişken hızlı bir elektrik motorundan zincir vasıtasıyla gelmektedir. Bazen da bu motor havuzlar arasındaki bir odacığa yerleştiril-

rilmiş olabilir. Motor ve diğer tahrik elemanlarının havuzun yan tarafındaki bir odacığa yerleştirilmesi de iyi bir hal tarzıdır. Böylece, pedalların takıldığı şaft ara duvarlar içerisindeki burçlardan geçerek havuzların genişliğince uzanır motor ve zincir gibi elemanların yağlanması ve diğer bakımları ile muayeneleri bu sayede daha kolaylaştığı gibi, zincir ve dişlisi su ile temaslı olmadıklarından daha çok dayanır ve daha rahat çalışırlar.

Ani karıştırıcı ve çökeltme havuzu ile pedallı bir karıştırma havuzu şekil 4.13 de görülmektedir.

Klasik tip dikdörtgen şeklindeki mekanik karıştırma havuzlarında su genellikle, eni teşkil eden dar duvarın ya alt kısmına yakın iki yanından verilip, çıkış tarafında ortada toplanmakta; yahut da alttan ortadan verilip, çıkışta iki yandan toplanmak suretiyle, yatay ve spiral bir akışa tabi tutulur. Bu akış sırasında su iki veya daha fazla sıra, yavaş yavaş dönen pedallara rastlar.

Akışın doğrultusu pedalların eksenine dik veya paralel olabilir. Her iki halde aynı neticeler sağlanmakta ve her ikisi de kullanılmaktadır.

Yatay akışlı, dikdörtgen biçimli bir yumaklaştırma havuzundaki pedallar aşağıdaki esaslara göre projelendirilmelidir. Pedalların takıldığı şaftların eksenleri arasındaki açıklık, pedal uçları aynı doğrultuya geldiği zaman bu uçlar arasındaki boşluk 0,60 ila 0,90 m den daha fazla olmayacak şekilde ayarlanmalıdır.

Havuz duvarları ve tabanı ile pedal ucu arasındaki açıklık 15 cm olabilir; fakat, bu bazen 30 cm ye de çıkabilir. Pedallar, su yüzüne dikey gelen kanat su akış yönünde hareket edecek şekilde döndürülmelidir. Bu yön, Şekil 4.13 üzerinde de gösterilmiştir. Pedal kanadı en üst durumda iken ucu su altında kalmalı, su üstüne çıkmamalıdır. Pedal uçlarının sudan çıkması hem lüzumsuz hem de arzu edilmeyen bir dalgalanma ve türbilansa sebep olur.

Bir pedalın toplam yüzeyi, pedalın tipine ve diğer şartlara bağlı olmakla beraber havuzun enine kesit alanının % 10 u ile % 25 i kadar olabilir. Bu alan, bir pedalın taradığı alanın % 10 u ile %25 i olarak da alınabilir.

Şekil 4.14 bir pedalın, kaba olarak görünüşünü vermektedir. Pedalların hızı, yumakları parçalamamak kaydıyla, mümkün olduğu nisbette yüksek olmalıdır. Pedalların çapı 1,8 ile 2.4 m ;saatki devir adedi 60 ile 100 veya daha fazla olabilir. pedalların saniyedeki çevresel hızı 0,1 ile 0.75 m arasında değişebilir. Hız 0,1 m/sn'nin altında kalırsa pıhtılar da bu havuzda iken çökelmeye başlar. Onun için, hız 0,1'in üstünde tutulmalı ve pıhtıların birbiri ile temas edip bağlanmaları sağlanmalıdır. Hız 0,75 den büyük iken çökebilecek hale gelmiş yumakçıklar daha fazla büyüemeyip parçalanmaktadır.

Bu itibarla en uygun hızı (en büyük çevredeki) 0,3-0,4 m/sn kadar olmalıdır. Fazla tortulu ve bulanık sularda yüksek pedal hızları, az bulanık sularda ise daha düşük pe-

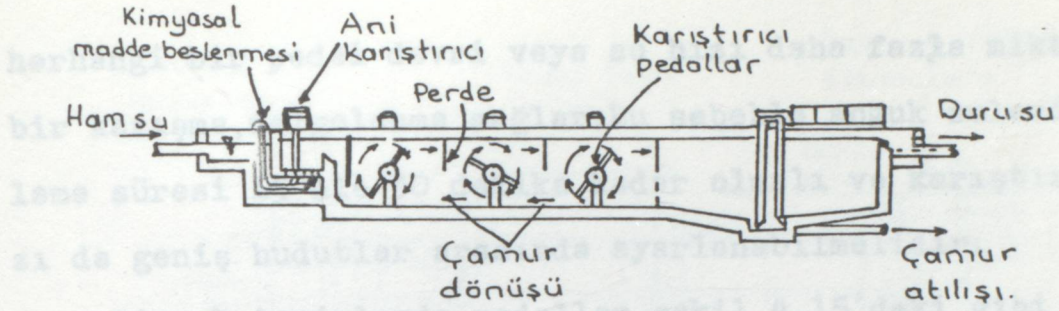
dal hızları, az bulanık sularda ise daha alçak pedal hızları uygulanmalıdır. Daha iyisi hızı girişten çıkışa doğru tedricen azaltmaktır. Bunun için giriş ağzına yakın olan pedalların dış çapı çıkış ağzına yakın olan pedalların dış çapından biraz büyük yapılırlar. Böylece gittikçe büyüyen pıhtıların hızları gittikçe yavaşladığından, parçalanmaması sağlanmış olur.

Birkaç tesiste, sabit pedallar yerleştirildiği de görülmüştür. Bunlar yuvarlanan su akışını durdurmak için kullanılmıştır.

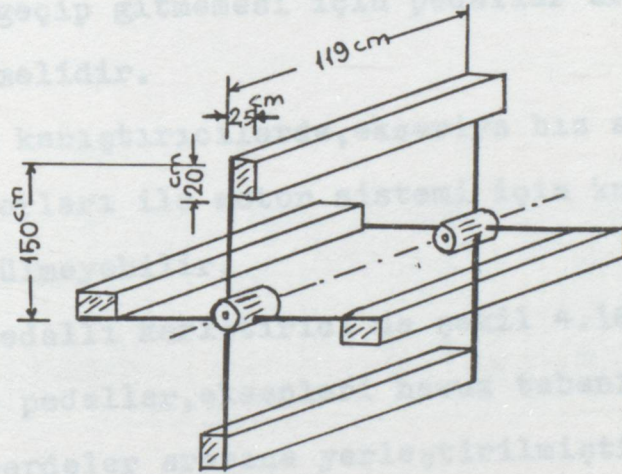
Pedalların bulunduğu pıhtılaştırma havuzlarındaki su akış hızı, çökelmeye imkan vermeyecek kadar yüksek fakat, mümkün olduğu kadar da alçak olmalıdır. Suyun havuzdaki bekleme süresi 10 ila 60 dakika kadar, yatay hızı da dakikada 0.15 m ila 0,20 m kadar olabilir. 60 dakikalık bekleme süresi zarfında  $3780 \text{ m}^3$  su işleyen bir pıhtılaştırma havuzundaki pedalların kullandığı enerji 3 ila 6 Kw/h kadardır. Genellikle bekleme süresi arttıkça kimyasal madde sarfiyatı ve paletlerin dönme hızı yani karıştırmanın hızı azalır. Bekleme süresi az ise karıştırma hızı, aksine yüksek olmalıdır. Mesela bekleme süresi 5 dakika ise pedal çevre hızı 0.6 m ye çıkarılmalıdır. Fakat bu kadar yüksek hız da pek tavsiye edilmemektedir.

Pedallar, çelikten veya ahşaptan yapılabilirler.

Soğuk havalarda kimyasal reaksiyonlar oldukça gecikeceğinden, soğuk iklimlerde çalışacak havuzlarda, kimyasal madde dozajı artırılmak veya bekleme süresi uzatılmak gerekir. Soğuk suyun viskozitesi daha yüksek olduğu için



şekil 4.13 Ani karıştırıcı, pedallı karıştırıcı (Flokülatör) ve çökeltme havuzu



şekil 4.14 Saatte 240 devirle dönmek üzere palet uçlarında 0,6 m

hız doğuran bir pedal. Bu pedal yatay akış hızı

0,3 m/s olan bir havuzda çalışmaktadır.

herhangi bir pedal devri veya su hızı daha fazla miktarda bir karışma, dalgalanma sağlar. Bu sebeble soğuk sularda bekleme süresi 15 ile 30 dakika kadar olmalı ve karıştırma hızı da geniş hudutlar arasında ayarlanabilmelidir.

Birçok tesislerde pedallar, şekil 4.15'deki gibi eksenleri su akış doğrultusuna paralel gelecek şekilde de konulabilir. Bu tip pıhtılaştırma havuzlarında bekleme süresi 30 ile 60 dakika arasında alınmakta ve su havuza aşağıdan girip yukarıdan çıkmaktadır. Pedal alanı girişten çıkışa doğru tedricen küçültülmekte böylece, çıkışa doğru yavaş bir karıştırma sağlanmaktadır. Suyun türbilansın minimum olduğu, şaft yakınından geçip gitmemesi için pedallar arasında perdeler yerleştirilmelidir.

Bu tip karıştırıcılarda, ekseriya hız ayarlanabilen, elektrik motorları ile motor sistemi için kuru bir odacığa ihtiyaç görülmeyebilir.

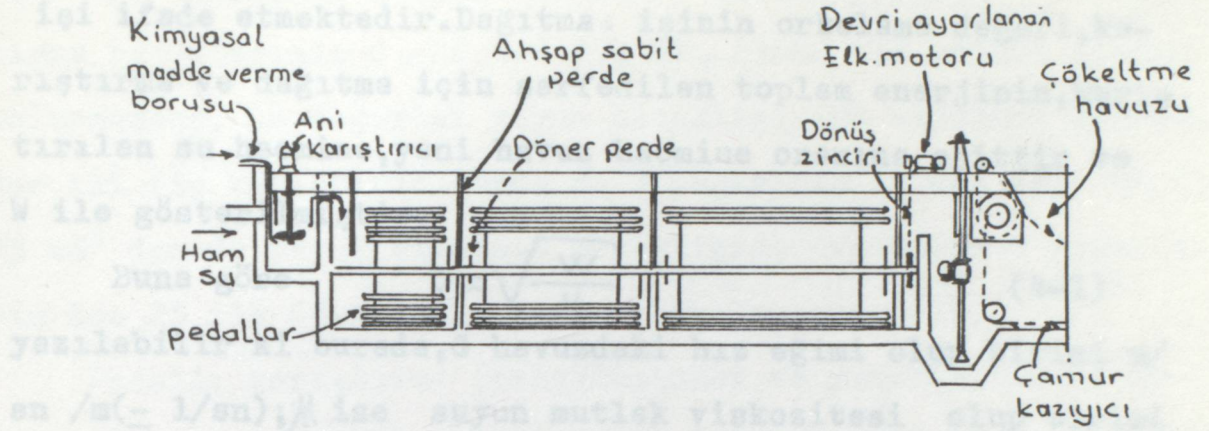
Diğer bir pedallı karıştırıcı da şekil 4.16'da verilmiştir.

Burada pedallar, eksenleri havuz tabanına dik şekilde konmuş ve perdeler arasına yerleştirilmiştir. Pedal hızları girişten çıkışa doğru gittikçe azaltılabilir ve böylece dahakolay-çökelebilen yumakçıklar sağlanabilir.

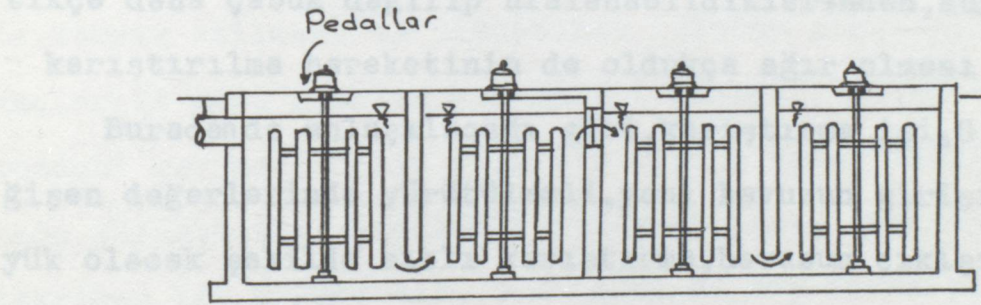
#### 4.12 Dağıtma İşi

Kimyasal maddenin suya dağıtılması ve pıhtılaşmayı olgunlaştırmak üzere suyun karıştırılması için, birim zamanda suyun birim hacmine verilen işe dağıtma işi (dissipation function) denilmiştir. Bu tabir Camp tarafından ortaya atılmış olup, kesme kuvvetlerinin, birim hacim üzerinden gördüğü





Şekil 4.15 Ani karıştırıcı ve eksenine su akışına paralel pedallı karıştırıcı.



Şekil 4.16 Düşey şaftlı pedal tertipli bir yumaklaştırma havuzu (karıştırıcı)

iş i ifade etmektedir. Dağıtma iş inin ortalama değ eri, karıştırma ve dağıtma için sarfedilen toplam enerjinin, karıştırılan su hacmine, yani havuz hacmine oranına eşittir ve W ile gösterilmiştir.

$$\text{Buna göre } G = \sqrt{\frac{W}{\mu}} \quad (4-1)$$

yazılabilir ki burada, G havuzdaki hız eğimi olup birimi m/sn /m (= 1/sn);  $\mu$  ise suyun mutlak viskozitesi olup birimi kilogram.sn/m<sup>2</sup> dir. Pıhtıların meydana gelmesi tamamı ile bu G değ eri ile orantılı olmakta ve dolayısı ile bu değ er büyük Sekarıştırma süresi kısaltıla bilmektedir. G fazla büyük çıktığı takdirde ,suyun çok hızla karıştırıldığı, yani kesme kuvvetlerinin çok büyüdüğü ve irileşmiş yumakların parçalanması tehlikesi olduğu anlaşılmalıdır. Yumaklar irileştikçe daha çabuk dağılıp ufalanabildiklerinden, suya verilen karıştırılma hareketinin de oldukça ağır olması gerekir.

Buradanda anlaşılacağı gibi, karıştırma iş i, G'nin değ iş en değ erlerinde yürütülmeli, yani havuzun girişinde G büyük olacak şekilde hızlı karıştırma, havuzun çıkışında G küçük olacak şekilde yavaş bir karıştırma yapılmalıdır. Petal- lı tip pıhtılaştırma havuzlarında bu, pedal hızlarını ayarlamakla sağlanabilir.

Pıhtılaştırma olayında, suyun bekleme süresi T'de önemli bir faktördür bu sebeple Camp saniye cinsinden T ile G'yi birleştirerek birimsiz GT faktörünü meydana getirmiştir. Mevcut pedallı tesislerin tetkikinden Camp, G'nin 35 ila 65 sn<sup>-1</sup> arasında değ iş tiğini, GT nin de 48. Bin ila 210.000

arasında olduğunu görmüştür. Buna karşılık perdeli karıştırma havuzlarında  $G = 20$  ilâ  $75$ ;  $GT = 23000$  ilâ  $121000$  olarak bulunmuştur. Bu değerler suyun sıcaklığı  $10^{\circ}\text{C}$  olduğuna göredir. Her iki tip karıştırıcılarda da  $G$  değerinin 10 dan daha küçük  $75 \text{ sn}^{-1}$  den de büyük olmaması gerektiğine ve optimum değerlerin ise 25 ilâ 65 kaldığı ortaya konulmuştur. (15)

Pedallı karıştırma (pıhtılaştırma ve yumaklaştırma) havuzları projelendirilirken takribi havuz boyutları, pedal kanat boyutları ve hızı kabul edilerek gerekli enerji sarfiyatı hesaplanmalı ve sonra  $G$  ve  $GT$  değerleri bulunmalı ve bunların uygun değerler olup olmadığına bakılmalıdır. Uygun görülen ortalama  $G$  s eçildikten sonra girişte hızlı karışım, çıkışta yavaş karışım sağlayacak şekilde giriş ve çıkıştaki pedaller ölçülendirilmelidir. Pedalların, hızı ayarlanabilir motorlarla tahrik edilmesi ve hızlarının işletme sırasında alınan sonuçlarına göre ayarlanması en iyi usuldür. Pedal kanatlarındaki çevresel hızın  $0,10$  ilâ  $0,75$  m kadar olduğunu evvelcede söylemiştik. Havuzdaki yatay su hızı, çevresel hızın takriben  $1/4$  ü kadardır, buna göre de hız farkı pedal hızının  $0,75$  idir.

Tek bir kanadın, suda döndürülebilmesi için gerekli güç,

$$W = F_d \cdot v = C_d A_p \frac{v^3}{2} \text{ kgm/sn} \quad (4.2)$$

dir. Burada  $W$  gerekli güç  $\text{kgm/sn}$ ;  $F_d$  sürüklenme kuvveti,  $v$  suyun hızına kıyasla kanatların hızı,  $C_d$  sürüklenme katsayısı (bu katsayı pedal boyunun genişliğine oranı 5 iken  $1,20$ ; oran

20 iken 1,5; oran sonsuz iken 1,9 dur); A kanadın yüzölçümü  $m^2$ ;  $\rho$  suyun özgül kütlesi olup birimi

$$\left( \frac{kg}{m^3} : 9,81m/sn^2 = \frac{kg \ sn^2}{m^4} \right) \text{ dir.}$$

Predeli havuzlarda sarfedilen güç ise kullanılan yük kaybı ile hesap edilir.

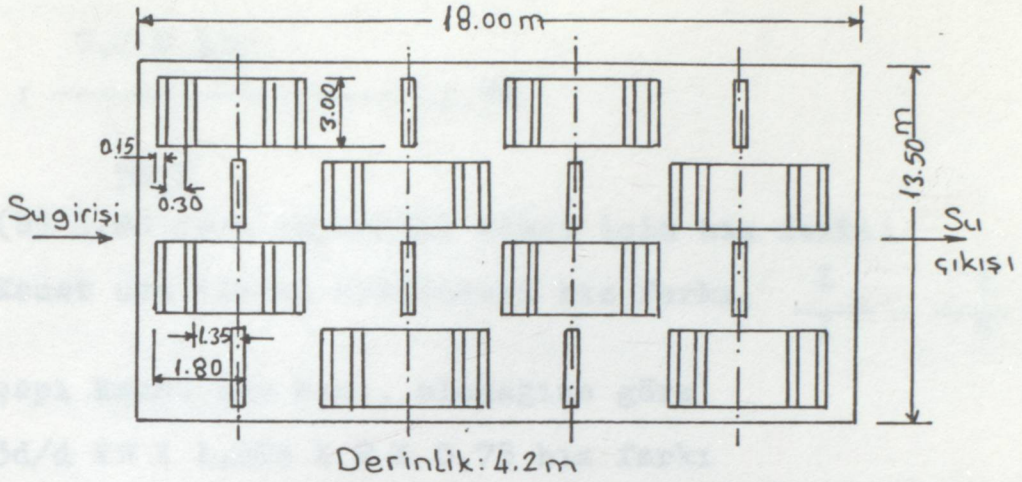
$$W = \frac{1000 \ Q \ h_f}{V} = \frac{1000 \ h_f}{T} \quad (4.3)$$

Burada W gerekli güç  $kgm/sn/m^3$ , yani beher metre küp su için saniyede suya verilen iş; Q saniyede havuzdan geçen su miktarı  $m^3/sn$ ;  $h_f$  havuzda meydana gelen yük kaybı  $m$ ; V havuz hacmi  $m^3$ ; T havuzdaki saniye (sn) cinsinden bekleme süresidir. Bu şekilde bulunan W değerleri denklem(4-1) de yerine konarak G değeri bulunur.

Aşağıdaki örnek yukarıdaki denklemlerin nasıl kullanılacağını ve bir pıhtılaştırma havuzunun ne şekilde projelendirileceğini göstermektedir.

#### Misal 4-1

Döner pedallar kullanılan bir karıştırma havuzu saatte  $1577 \ m^3$  su işleyecektir. Havuzun boyu 18m, 13,5m, derinliği de 4,2m dir. Su havuzun boyunca akmaktadır ve hakiki bekleme süresi 40,7 dakikadır. Havuzda su akışına dik doğrultuda, Şekil 4-17 deki gibi 4 sıra şaft bulunmakta ve her şaftın üstünde 4 adet pedal yer almaktadır. Pedalların dış çapı 3,60m, şaft ekseninin havuz tabanından yüksekliği de 2,1m dir.



Şekil 4.17 Mekanik karıştırma havuzunda pedalların konumu.

Her pedalda 2 kol bulunmaktadır her kol üzerinde de 2 şer kanat yer almaktadır. Kanatlar 3m boyda, 0,15m genişliktedir; aralarında da 0,3m açıklıklardır. Bir koldaki kanat uçları dönme ekseninden 1,80 ve 1,35m uzaklıktadır. Şaft ve dolayısıyla pedallar dakikada 3 devir yapmaktadır. Sürüklenme kat sayısı  $C_d = 1,5$  dir.. Suyun havuzdaki ortalama yatay akış hızı, pedal maksimum çevre hızının  $1/4$  ü kabul edilecektir. Bunlara göre, (a) tankın (havuzun) en kesit alanı yüzdesi cinsinden pedal alanını, (b) şaft ekseninden 1,80 ve 1,35m mesafede olan kanat kenarlarındaki  $M/sn$  cinsinden hız farkını, (c) mekanik sürtünmeler hariç, suyu karıştırmak için sarfedilen enerjiyi, (d)  $G$  ve  $GT$  yi hesap ediniz

Çözümü

(a) Havuzun enine kesiti :  $13,5m \times 4,2m = 56,7m^2$  dir. Bu kesitte dönen toplam pedal alanı yani, pedallar üstündeki kanatların toplam alanı:

$$4 \text{ pedal} \times 4 \text{ kanat} \times 0,15m \text{ genişlik} \times 3,0m \text{ boy} = 7,2m^2$$

$$\text{oranı : } \frac{7.2 \times 100}{56,7} = 12,7\%$$

(b) 1,80 yarı çapındaki kanat için hız farkı:

$$\text{Kanat ucu ile su arasındaki hız farkı, } \frac{1}{1} - \frac{1}{4} =$$

0,75 çapı kanat ucu hızı, olacağına göre

$$3d/d \times \pi \times 1,80m \times 2 \times 0,75 \text{ hız farkı}$$

$$\frac{\quad}{60} = 0,425m/sn$$

1,35 yarı çapındaki kanadın ucundaki hızın, havuzdaki yatay su hızına nazaran farkı:

$$3d/d \times \pi \times 1,35m \times 2 \times 0,75 \text{ hız farkı}$$

$$\frac{\quad}{60} = 0,318m/sn$$

(c) Havuzda bulunan toplam pedal alanı (kanat alanı)

yukarda hesaplanan bir kesitteki miktarın 4 katıdır;

$7,2 \times 4 = 28,8 \text{ m}^2$  dir. Bunun yarısı ( $14,4 \text{ m}^2$ ) bir koldaki ka-

natlar için diğer yarısında diğer koldaki kanatlar içindir.

Bir koldaki kanatların sarfettiği enerji W formül (4-2) ye

göre,  $C_d = 1,5$  alınarak,

$$W' = 1,5 \times 14,4 \text{ m}^2 \times \frac{1000}{9,81} \times \frac{1}{2} \times (0,425^3 \text{ m/sn} + 0,318^3 \text{ m/sn})$$

$$= 120 \text{ kgm/sn veya}$$

$$\frac{120}{75} = 1,6 \text{ beygir gücü.}$$

(d) Denklem (4-1)'den de görüleceği gibi G nin değeri

W ye tabidir.  $120 \text{ kgm/sn}$

$$W = \frac{120}{18m \times 13,5m \times 4,2m} = 0,1175, \text{ suyun } 10^\circ\text{C deki mutlak}$$

viskozitesi = 0,000128 kg sn/m<sup>2</sup>

$$G = \sqrt{\frac{0,1175}{0,000128}} = 30,2 \text{ saniye}^{-1} \text{ dir.}$$

$$GT = 30,2 \times 40,7 \text{ saat} \times 60 = 73600$$

Bu G ve GT değerlerinin her ikisi de arzu edilen değerler içinde olduğundan projeye esas olarak seçilen değerler uygun görülmüştür.

#### Misal 4-2

Alttan- üstten- dönüş perdeli bir karıştırma havuzunda bekleme süresi 30 dakika olup, yük kaybı 0,90 m dir. Havuzdan 1,75 m<sup>3</sup>/sn lik bir debi geçtiğine göre G ve GT değerlerini bulunuz.

#### Çözüm

Denklem (4-3) den W nin değeri

$$W = \frac{1000 \times 0,90}{30 \times 60} = 0,5 \text{ kgm/sn/m}^3 \text{ dür.}$$

$$G = \sqrt{\frac{W}{\mu}} = \sqrt{\frac{0,5}{0,000128}} = 62,4 \text{ sn}^{-1}$$

GT = 62,4 X 30 X 60 = 114000. Bu değerlerde uygulamalardan elde edilen sonuçlara yakındır.

#### 4-13 Pıhtılaştırmanın Laboratuvar Kontrolü

Pıhtılaştırma normal olarak karıştırma ( pıhtılaştırma-yumaklaştırma) havuzları ile çökeltme havuzlarının kendisinde izlenir. Fakat, havuz daki gözlem ve izlemre ek olarak laboratuvar da bulanıklık (turbidity), renk, pH ve alkalilik deneyleride yapılır. Laboratuvar deneyleri sadece alınan numunelere inhisar eder ve tesisten alınmakta olan sonuçları ortaya kor.

Su kalitesinin değişmesi veya tesisin yapı ve işletilmesinde değişiklikler yapıldığı hallerde uygulanacak en uygun kimyasal reaktif ile bunun dozu, en iyi şekilde, laboratuvar da yapılacak kavanoz deneyi ile ortaya konulur. Su ya ilâve edilen iki ve daha fazla sayıdaki kimyasal maddelerin tesisteki uygulanış sıralarını değiştirmek gerekip gerekmediğini de laboratuvar deneyleri ile anlaşılır. Örneğin, pıhtılaştırma daima önce şap ve gerekiyorsa sonrada kireç ilâve edilir. Fakat, ön klorlama yapılacaksa bunun şap ilâvesinden daha önce yapılması uygun olur. Bu gibi hususlar, en iyi şekil de laboratuvar deneyleri ile ortaya konulabilir.

4 - Filtre kâğıdı

5 - 100 ml lik pipet

6 - Renk, bulanıklık, pH ve alkalite ölçme aparat ve

teçhizatı

7 - Alüminyum sülfat ana (abon) solüsyon. Bunun için

tesiste kullanılacak alüminyum sülfatın yarısalınması ve

koncentrasyon mg/l olmalıdır. Koşullarıya göre



4-14 Koagülasyon ve Flokülasyon Deneyi (Kavanoz Deneyi)  
 Koagülasyon ve flokülasyon birbirine bağlı, ısı, bulanıklık, renk, pH, alkalilik, karıştırma şiddeti ve süresi, ve kullanılan kimyasal reaktifin karakteristikleri gibi çeşitli faktörlere tabidir.

Bu sebepten optimum pıhtılaştırma (koagülasyon) dozu analizlerinden tain olunamaz; ancak fiili dozaj deneyleri ile tayin edilir. Bu deneylere koagülasyon - flokülasyon deneyi veya kavanoz deneyi denilmektedir.

Numune miktarı:

Her seri deneyin aynı su ile yapılabilmesi için numunenin bol miktarda olması lazımdır. Hiç değilse 4 seri deney yapabilmek için enaz 25 litre numune gerekir.

Teçhizat :

1 - Karıştırma aparatı

Bu aparatın karıştırma derecesi ayarlana bilmeği ve testeki karıştırmaya muadil karıştırma yapabilmelidir. petalların devir adedi 30 ilâ 100 d/d arasında değişebilmelidir.

2 - Beheri 1,5- 2 litrelik 6 adet cam kavanoz

3 - Cam honi

4 - Flitre kâğıdı

5 - 100 ml lik pipet

6 - Renk, bulanıklık, Ph ve alkalilik ölçüme aparat ve teçhizatı

7 - Alüminyum sülfat ana (stok) solüsyonu. Bunun için tesiste kullanılacak alüminyum sülfattan yararlanılmalı ve konsantrasyon 1mg/l olmalıdır. Koagülasyonda ekseriya şap

kullanıldığından onun için burada sadece ondan bahsedilmiştir.

8 - Kireç anasüpsiyonu. Bunun için bir gram sondürülmüş toz kireç, 1 litre damıtık suya iyice karıştırılmalı ve her kullanılıştta da tekrar çalkalanmalıdır.

İşlem:

1) Ham suyun rengi, bulanıklığı, pH ve alkaliliği tayin edilir.

2) Kavanozların içine birer lit re ham su konduktan sonra kavanozlar aparata yerleştirilir.

3) Karıştırıcının motoruna yol verilir.

4) Gittikçe artan dozlardaki şap ve kireç, mümkün olduğu kadar aynı anda, kavanozların hepsine birden ilâve edilir. Her kavanoza ilâve edilen reaktif, cins itibari ile aynı fakat miktar itibariyle farklı olacaktır.

5) 20 dakikalık veya flokülasyon havuzundaki bekleme süresine eşit bir sürece su karıştırılır. Eğer tesiste aynı karıştırıcıda varsa o zaman aparat, ilk 1 dakika tam hızla çalıştırılır, ondan sonra seçilen yavaş hıza geçilir.

6) Her kavanozda, flokların ne zaman meydana gelmeye başladığına ve karıştırma periyodunun sonunda da flokların şekline, büyüklüğüne ve miktarına dikkat edilir.

7) Kavanozlar bir saat için çökelmeye terk olunur.

8) Çökelme miktarı ile çökelmeyen pıhtıların halleri incelenir.

9) Her bir kavanozdaki duru su, çökelen pıhtıların karıştırmadan, yavaşça ve büyük bir pipet vasıtasıyla çekilerek

rengi, bulanıklığı, pH ı ve alkaliliği tayin olunur.

10) Bir saatlik çökeltme sonunda ( işlem 1), kavanozlar-  
dan hiç birinin duru suyunda reng 10-20 birim veya bulanıklık  
5 ilâ<sup>10</sup>birim arasında veya daha aşağı değilse numunelerin al-  
tısı da terkedilerek terar aynı ham su ile kavanozlar dol-  
durulup yeni bir doz serisi ile, yani birinci deneyde kula-  
nılan kimyasal reaktif miktarlarından başka miktarlarda, de-  
ney tekrar edilir. Gerekirse deney, kavanozlardan bir ikisin-  
de optimum dozda bol çökelti meydana gelip, reng ve bulantı  
belirli alçak sıvılar içine girinceye kadar tekrar edilir.

11) İstenilen derecede pıhtılaşan bir veya iki kavano-  
zun duru suyu bir huni içine yerleştirilen filtre kağıdından  
geçirilerek süzülür.

12) Süzülüş suyun rengi, bulanıklığı ve alkaliliği tayin  
olunur. Filtre kağıdı suyun pH sını değiştirir. Buhusus  
göz önünde tutularak suyun pH sı da ölçülür.

13) Şap ve kireçle iyi sonuç alınamazsa başka reaktif-  
lerle deney tekrar edilir.

Deneyin sonuçlarının değerlendirilmesi.

Pıhtılaşması en iyi, çökertme filtrasyondan sonra rengi ve b-  
lanıklığıda en az olan kavanoza koñulan şap ve kireç miktarı  
optimum dozu gösterir.

Kireç ilavesine luzum olup olmadığını denemelerle tayin  
edilmelidir. Genellikle şap yalnız başına iyi sonuç verir.

Deney sonuçları , kullanılan reaktifin çeşitli dozlarının  
verdiği sonuçların izleyecek şekilde bir tabloda gösterilir.

Sonradan, seçilen sabit reaktif dozu altında değişik karıştırmak süreleri ile ikinci bir seri deney yapılarak flokülasyon süresinin etkileri ortaya çıkarılır ve optimum flokülasyon süresi bulunur.

Tablo 4.1 bulanık bir suda yalnız şap ile elde edilen sonuçları göstermektedir. Bu suyun tabii alkaliliği, şapla reaksiyon sonucunda, alüminyum hidroksit flokları meydana getirmeye yeterli olduğundan ayrıca alkalik bir reaktif kullanılmamıştır.

Bu tablodan görüleceği üzere en uygun neticeyi 3 ve 4 nolu kavanozlar vermiştir. Bu kavanozlardan alınan duru suların filtre kağıdından süzülmesi deneyi aşağıdaki sonucu vermiştir:

| Kavanoz No    | Görülebiilen renk | Bulanıklık | PH  | Alkalilik (ppm) |
|---------------|-------------------|------------|-----|-----------------|
| Kavanoz No: 3 | 0                 | 0          | 6,9 | 110             |
| Kavanoz No 4  | 0                 | 0          | 6,7 | 105             |

Bu netice, alınan optimum dozun 30 ppm olduğunu açıkça göstermektedir.

Tablo 4-2 Alkaliliği düşük, renkli bir suyun koagülasyon -Flokülasyon deneyi (Kavanoz deneyi) sonuçlarını göstermektedir. Bu suda ("renk pıhtıları" alçak pH derecelerinde teşekkül etmiş, pH düzeltimi için gayet az miktarda alkali ilavesi gerektirmiştir. 5 ve 6 nolu kavonazlardan görüleceği gibi alkali dozu biraz artırılmakla flok (pıhtı) teşekkülü bozulmuştur. Kavonoz bir deki sonuç, yalnız başına şapında etkili olmadığını göstermiştir. Maden ocakları

| Kavanoz<br>sıra no | Şap<br>dozu<br>(ppm) | Kireç<br>dozu<br>(ppm) | Flokülas-<br>yon<br>sonuçları | Çökelmiş suyun analiz sonuçları |                           |     |                      |
|--------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----|----------------------|
|                    |                      |                        |                               | Renk<br>(Birim)                 | Bulanık<br>lık<br>(Birim) | pH  | Alkalilik<br>( ppm ) |
| Ham su             | 0                    | 0                      | —                             | 10                              | 100                       | 7,6 | 125                  |
| 1                  | 10                   | 0                      | yok                           | 10                              | 90                        | 7,4 | 120                  |
| 2                  | 20                   | 0                      | zayıf                         | 8                               | 50                        | 7,1 | 115                  |
| 3                  | 30                   | 0                      | iyi                           | 5                               | 8                         | 6,8 | 110                  |
| 4                  | 40                   | 0                      | çok iyi                       | 5                               | 5                         | 6,6 | 105                  |
| 5                  | 50                   | 0                      | iyi                           | 5                               | 10                        | 6,4 | 100                  |
| 6                  | 60                   | 0                      | zayıf                         | 7                               | 30                        | 6,2 | 95                   |

Tablo 4.1 Bulanık ve alkalik bir suyun, koagülasyon ve flokülasyon deneyi sonuçları (16) 6

| Kavanoz<br>sıra no | Şap<br>dozu<br>(ppm) | Kireç<br>dozu<br>(ppm) | Pıhtılaştırma<br>sonuçları | Çökeltilmiş suda analiz sonuçları |                           |     |                    |
|--------------------|----------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----|--------------------|
|                    |                      |                        |                            | Renk<br>(Birim)                   | Bulanık<br>lık<br>(Birim) | pH  | Alkalilik<br>(ppm) |
| Ham su             | 0                    | 0                      | —                          | 80                                | 10                        | 5,6 | 15                 |
| 1                  | 20                   | 0                      | zayıf                      | 50                                | 10                        | 4,6 | 6                  |
| 2                  | 20                   | 3                      | orta                       | 30                                | 8                         | 5,0 | 10                 |
| 3                  | 20                   | 6                      | iyi                        | 10                                | 5                         | 5,4 | 13                 |
| 4                  | 30                   | 8                      | iyi                        | 10                                | 5                         | 5,4 | 13                 |
| 5                  | 30                   | 10                     | orta                       | 25                                | 8                         | 5,8 | 15                 |
| 6                  | 30                   | 12                     | zayıf                      | 70                                | 10                        | 6,2 | 18                 |

Tablo 4.2 Alkalisi düşük, maden ocakları civarında rastlanan, renkli bir sudaki pıhtılaştırma ve çökeltme deneyi (kavanoz deneyi) sonuçları. (16)

civarında görülen, alkalitesi ve madeni bileşigi düşük suların tipik özelliklerinde olduğu gibi koagülasyon ancak  $pH=5,4$  değerine gelince iyileşmiştir.  $pH$  nın  $5,4$  e indirilmesi ve şap tesiri ile pıhtılaşmanın gerileceği daha aşağı derecelere düşmesinin önlenmesi için kireç ilavesi pis suda zaruridir.

3 ve 4 nolu kavonozlardaki on birimlik renk, duru suda kalan renk pıhtılarında ileri gelmektedir duru su filtre ve kağıdından süzüldük den sonra renk 5 birime hatta daha aşağı düşmektedir. Buda 20 ppm şap ile 6 ppm kirecin aranılan optimum dozlar olduğunu gösterir. (16)

## SONUÇLAR

Çevreye büyük zararlar veren kullanılmış suyun içerisindeki süspansiyonların giderilmesi suretiyle kirliliklerin büyük bir kısmı alınmaktadır. Böylece alıcı ortam kirlenmekten kurtarılmaktadır.

Süspansiyonların giderilmesinde Basit Çökeltme, yoğunluğu  $1,0 \text{ gr/cm}^3$  'den büyük tanelerin bulunduğu pis sularda kullanılmaktadır.

Pis su içerisinde  $1,0 \text{ gr/cm}^3$  'den küçük taneler mevcut ise yumaklı çökeltme uygulanmaktadır.

Pis suyun ileri derecede tasfiyesi gerekiyorsa kimyasal çökeltmeye tabii tutulmaktadır.

Kimyasal çökeltme ile pis su içerisindeki inorganik ve organik bulanıklık, hakiki ve zahiri renk, zararlı bakteriler ve sair patojenler, tad ve koku veren maddeler giderilmektedir. Bu şekilde su en azından kullanma suyu haline gelebilmektedir.

Bir pis su tasfiyesi işletmeye sokulacağında bu metodlar pis su ve alıcı ortam iyice incelenmeli ve bu metodlardan en uygunu kullanılmalıdır. Mümkünse bunların yurt içerisinde kendi imkânlarımızla yapılabilir olacak şekilde projelendirilmesi gerekmektedir.



## R E F E R A N S L A R

- ( 1 ) G.M. Fair and J.C. Geyer- Water Supply and Waste Water Disposal P. 584.
- ( 2 ) CAMP, T.R. - Sewage Works J., Sep. 1936.
- ( 3 ) CAMP, T.R. - Sedimentation and Design of settling Tanks, Trans. A.S.C.E, 3. 1946.
- ( 4 ) MUSLU Yılmaz - Kullanılmış Suların Tasfiyesi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi. 1974.
- ( 5 ) DOBBINS, W.E. - Effect of Turbulence on Sedimentation Trans. A.S.C.E, Vol. 109, No 2218, 1944
- ( 6 ) HUISMAN, L. - Lecture Notes on Unit Operations, International Courses in Hydraulic and Sanitary Engineering, Delft, Netherlands, 1962.
- ( 7 ) EROĞLU Veysel - Sutasfiyesi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Ders Notları İstanbul. 1984.
- ( 8 ) HUISMAN, L. - Sedimentation and Filtration, Mechanical Filtration, Delft University of Technology, Netherlands. 1973.
- ( 9 ) HOFFMANN, J. - Übersicht Über Die Verfahren Der Weiter gehenden Abwasserreinigung Gezeichnet: W. ROTWINKEL Entwicklungss- tand und Kosten. 1977
- ( 10 ) MUSLU, Yılmaz - Su Temini ve Çevre Sağlığı Cilt III İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi. 1985



- ( 11 ) RICH, L.G - Unit Processes of Sanitary Engineering,  
John Wiley and Son, Inc. 1963
- ( 12 ) KAUFMAN, W.J and NESBITT, J.B - Taracer Studies of  
Water Coagulation.
- ( 13 ) AKSOĞAN, Sıtkı ve GÖLHAN, Mehmet - Suların Arıtılması  
Cild.1 Pınar A.Ş.  
Yayınları. İst. 1970
- ( 14 ) BAYLIS, J.R - Desing of mixing Basins, Wtr, and Sew  
Wks.1937.
- ( 15 ) CAMP, T.R. and STEIN, P.C. - Velocity Gradients and  
Internal Work in Fluid  
Motion. J. Boston.Soc.  
Civ. Engrs. 1943
- ( 16 ) BEAN, E.L - Study of physical Factors Affecting  
Floc culation W.W.Eng. 1953

