



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Endüstriyel atık sul. pol. serisi

Yüksek Lisans Tezi

Naim Kavukcuoğulları

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

361
64

52

ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN
POLİSAMUGARD SERİSİ
POLİELEKTROLİTLERLE FLOKÜLASYONU

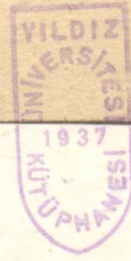
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Kim. Müh. Naim KAVURCUOĞULLARI

İstanbul - 1988

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

Kot : R 361
Alındığı Yer : Fen Bil. Enst. 64
Tarih : 11.12.1990
Fatura :
Fiatı : 8500 TL
Ayniyat No : 1/28
Kayıt No : 47387
UDC : 54 378.242
Ek :



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN POLİSAMUGARD SERİSİ
POLİELEKTROLİTLERLE FLOKÜLASYONU

64

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Kim. Müh. Naim KAVUKCUOĞULLARI

İSTANBUL 1988

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ

D.B. No 45046

ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN POLİSAMUGARD SERİSİ
POLUELEKTROLİTLERLE FLOKÜLASYONU

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Edip BÜYÜKKOCA

Tez Teslim Tarihi : 5.5.1988

Jüri Üyeleri :

Prof. Dr. Salih DİNÇER

Doç. Dr. Edip BÜYÜKKOCA

Yrd. Doç. Dr. Sabriye PIŞKIN

İ Ç İ N D E K İ L E R

	<u>Sayfa No</u>
TEŞEKKÜR	
ÖZET	
ABSTRACT	
TABLO LİSTESİ	I
ŞEKİL LİSTESİ	II
SEMBOL LİSTESİ	III
1. GİRİŞ	1
2. KİMYASAL ARITMA METODLARI	4
2.1. Yumaklaştırma Mekanizması	7
2.1.1. Kolloidlerin Özellikleri ..	7
2.1.2. Zeta Potansiyeli (Elektrokinetik Po- tansiyel)	9
2.2. Flokülasyonun Bilimsel Temelleri - Hız Te- orileri	13
2.2.1. Perikinetik Flokülasyon ...	13
2.2.2. Ortokinetik Flokülasyon ...	20
2.2.3. Perikinetik ve Ortokinetik Hızların Karşılaştırılması	27
2.2.3.1. Yavaş Yumaklaşma .	29
2.2.4. Yumak Örtüsü ve Çökelme Kinetiği .	31
2.2.4.1. Çökelme ile Yumaklaşma .	33
2.3. İnorganik Tuzlarla Flokülasyon ...	35
2.3.1. Çözeltideki İyonlar	35
a) Basit Hidrate İyonlar .	35
b) Hidroliz Olan Türler ...	36
c) Metal-Anyon Kompleksleri .	36
d) Metal İyonlarının Organik Kompleks- leri	36

	<u>Sayfa No</u>
2.3.2. Kolloid Stabilitesine İyonların	
Etkisi	37
2.3.2.1. Çift Tabaka Sıkışması .	37
2.3.2.2. Adsorbsiyon Flokülasyonu .	42
2.3.2.3. Metal İyonlarının Hidrolizi	46
2.4.1. Flokülasyon Hakkında Deneysel Metod-	
lar ve Temel Çalışmalar ..	49
2.4.1.1. Deneysel Metodlar-Konsantre	
Dispersiyonlar ..	51
2.4.1.1.1. Optimum Flokülas-	
yon şartlarını	
belirtmek için	
yapılan Deneyler	52
2.4.1.1.1.1.	
Çökelme Esas-	
lı Testler	53
2.4.2. Flokülasyon Hakkında Deneysel Metod-	
lar	58
2.4.2.1. Jar Testi	60
3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR	65
3.1. Demir Giderme Metodları	65
3.2. Deneyler - Çalışmalar Hakkındaki Önemli	
Noktalar	67
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	83
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	87

T E Ş E K K Ü R

Master programımız boyunca her türlü yardımı esirgemeyen disiplinli idareciliği, ciddi kişiliğiyle kendisini bize saydıran değerli Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Salih DİNÇER Bey'e, çalışmalarımı yönlendirirken her türlü imkanı sağlamada değerli bilimsel şahsiyetinden öte bir arkadaş samimiyetini benden esirgemeyen değerli tez yönetici hocam Doç. Dr. Edip BÜYÜKKOCA Bey'e, İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Laboratuvarlarını kullanma imkanını sağlayan başta Laboratuvar yöneticisi Doç. Dr. Olcay TUNAY ve laboratuvarında görevli değerli Öğretim Görevlisi arkadaşlara ayrı ayrı teşekkür ederken, Murat Kimya San. AŞ.'de bana çalışma zemini hazırlayıp stajyer Mühendislik yaptıran müessese müdürü Murat ÖZAYMAN Bey'e, ayrıca işletmedeki tüm mühendis arkadaşlara çok samimi yardımlarından dolayı minnettarlığımı ifade ederim. Tezimin daktilo edilmesinde emeğini esirgemeyen kıymetli kardeşim Ali KÜÇÜK'e de teşekkür etmeden geçemiyorum.

Tabii ki tüm öğrenim hayatımda olduğu gibi master süresince de büyük desteklerini gördüğüm değerli aile büyüklerime teşekkürü bir borç bilirim.

Ö Z E T

Endüstrinin en önemli ihtiyacının su olduğu gayet açıktır. Çeşitli şekillerde kullanılan sular neticede kirlenmiş durumda atılmak mecburiyetindedir. Suyun yeterli miktarlarda bulunduğu yerlerde halk sağlığını doğrudan ilgilendirdiği için çevreye temiz salıverilmesi, yetersiz bulunduğu yerlerde ise yeniden kullanımının gereği ortaya çıkmaktadır. Arıtma Tesislerinin kuruluş şartları bunlardan birisi veya her ikisi de olabilmektedir.

Yaptığımız çalışmada, önemli su bozucu parametrelerinden demir iyonlarının giderilmesi amaçlanmıştır. Endüstriyel atık suların kimyasal arıtma metodları geniş bir şekilde incelendikten sonra, bir arıtma tesisi projelendirilmesinin ilk basamağı olan laboratuvar testleri yapılmıştır. Bu testlerde Koagülasyon yardımcı maddelerinden özel tip bir polielektrolitin, esas koagülantlar yanında, (demir ve Alüminyum) flokülasyonda oynadığı rolü tesbit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmalarda Jar (Kavanoz) testi ile gerçek bir atık su üzerinde proses şartlarına uyularak denemeler yapılmıştır. Sonuçlar giderilen demir miktarları ve giderilen türbidite olarak alınmıştır.

TABLO LİSTESİ

A B S T R A C T

Sayfa No

Tablo 2. The most indispensable raw material of the industry is undoubtedly water. Unfortunately water is returned to the nature in inconvenient forms for living organisms if not properly treated. Used industrial water has to be treated before it is disposed or even before recycled

Yarıçapı 29

Tablo 3. In this work, some quality improving conditions for used industrial waters containing iron ions have been studied. Conventional treatment methods of contaminated water have been studied. Initial lab test have been conducted. The ability of a given family of polyelectrolytes to enhance coagulation when used simultaneously with classical chemical coagulants like ferric and aluminium sulfate has been studied. Experiments have carried out on samples of real industrial waste waters employing mainly the jar test method. ve pH ayarlamaları yaparak çalış-

ular 71

Tablo 3. Results, expressed in terms of reduced iron concentration and turbidity, show positive effects of the polyelectrolyte, (Fex type of Polysamugard), and the necessity of further research on the physico-chemical mechanisms of the enhancement.

..... 73

Tablo 3.7. Altıncı çalışmalarda Polielektrolit konsantrasyonunu artırılırken sıcaklık sabit tutuldu

..... 75

Tablo 3.8. Çeşitlik konsantrasyonlardaki Fe^{+3} ve Polielektrolit şarjları ile bazı gözlemler

..... 75

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Çökelme Hızları	5
Tablo 2.2. Çeşitli kirleticilerin giderilmesinde yumaklaştırmanın verimliliği	6
Tablo 2.3. Perikinetik ve Ortokinetik Flokülasyon hızları eşit olduğunda parçacıkların yarıçapı	29
Tablo 3.1. Fe ⁺³ konsantrasyonunu sabit tutarak değişen Polielektrolit konsantrasyonlarında gözlenenler	69
Tablo 3.2. Değişik Fe ⁺³ konsantrasyonun sabit tutularak değişik Polielektrolit konsantrasyonlarında gözlenenler	69
Tablo 3.3. Fe ⁺³ konsantrasyonunu, adımlarını genişleterek artırmaya devam edildiğinde gözlenenler	71
Tablo 3.4. Sıcakta ve pH ayarlamaları yaparak çalışmalar	71
Tablo 3.5. Aynı demir konsantrasyonunu soğukta ve pH değiştirilmeksizin yapılmasıyla gözlenenler	73
Tablo 3.6. Dördüncü çalışmaların bazı değişimlerle denenmesi	73
Tablo 3.7. Altıncı çalışmalardaki Polielektrolit konsantrasyonu artırılırken sıcaklık sabit tutuldu	75
Tablo 3.8. Değişik konsantrasyonlardaki Fe ⁺³ ve Polielektrolit şarjları ile bazı gözlemler	75

Tablo 3.9. İşletmeyi terkettiği andaki gerçek durumda (pH=7, T=35°C), optimum demir dozajının tesbiti	.....	77
Tablo 3.10. Fe ⁺³ konsantrasyonu aralıklarını daral- tarak optimum Fe ⁺³ dozajının tesbiti	.....	77
Tablo 3.11. Seçilen optimum Fe ⁺³ konsantrasyonu yanında değişik miktarda ilave edilen Polielek-	.....	79
Şekil 2.2. Nitrolihlere karşı sonuçlar	....	79
Tablo 3.12. Sıcaklık farkı ile gözlenenler	..	80
Tablo 3.13. Yüksek sıcaklıklarda değişik denemeler	..	80
Tablo 3.14. Aynı atık su için Al ⁺³ optimum dozajı seçimi	.....	80
Tablo 3.15. 40 mg olarak seçilen optimum Al ⁺³ dozajı üzerinden değişik sıcaklıklarda alınan	.....	81
Şekil 2.6. Sonuçlar	.....	81
Tablo 3.16. Daha yüksek pH'larda, sıcakta yapılan	.....	81
Şekil 2.7. Çalışmalar	.....	81
Şekil 2.8. Spesifik olarak adsorbe olan-kil yüzölçümü iyileştirme için stabilitesine	.....	81
Şekil 2.9. Paragrafta	.....	81
Şekil 2.10. Çizim	.....	81
Şekil 2.11. Tipik bir test kurulumu	.....	81
Şekil 2.12. Şekil 2.11'deki kurulumda farklı miktarda ilave edilen Fe ⁺³ miktarı	.....	81
Şekil 3.1. Turbidite ile etkinlik değişimi	.....	72
Şekil 3.2. (A: Tablo 3.1, B: Tablo 3.2, C: Tablo 3.1) Seleniyum kontrolit konsantrasyon- larında, [Fe ⁺³] konsantrasyonu ile	.....	72
Şekil 3.3. (A: Tablo 3.4, B: Tablo 3.5.) Seleniyum da; değişik seleniyum kontrolit konsantra- syonlarında iki farklı sıcaklıkta	.....	74

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Kolloidlerin yüklerini gösteren deney düzeneği	7
Şekil 2.2. Negatif yüklü kolloidin etrafındaki tabakalar	8
Şekil 2.3. Taneciklere etki eden kuvvetler .	12
Şekil 2.4. Ortokinetik yumaklaşmanın şematik gösterilişi	21
Şekil 2.5. Üniform olmayan kayma alanında G'nin çıkarılması	26
Şekil 2.6. Yüksüz elektrolitlerin kolloid stabilitesine etkisi	40
Şekil 2.7. Zıt yüklü iyon yükünün fonksiyonu olarak kritik flokülasyon konsantrasyonu	41
Şekil 2.8. Spesifik olarak adsorbe olan zıt yüklü iyonların kolloid stabilitesine etkileri	44
Şekil 2.9. Paragenesis Diyagram	54
Şekil 2.10. Çökelme Eğrisi	56
Şekil 2.11. Tipik Jar test karıştırıcısı .	61
Şekil 2.12. Şekil 2.11.'deki kanatlı yumaklaştırıcıda değişik şaft hızlarına karşı elde edilen hız gradienti	63
Şekil 3.1. Türbiditenin sıcaklıkla değişimi	70
Şekil 3.2. (A: Tablo 3.3., B: Tablo 3.2, C: Tablo 3.1) Sabit Polielektrolit konsantrasyonlarında; $[Fe^{+3}]$ artırılmasıyla gözlenenler	72
Şekil 3.3. (A: Tablo 3.4., B: Tablo 3.5.) Sabit $[Fe^{+3}]$ da; değişik Polielektrolit konsantrasyonlarında iki farklı sıcaklıktaki durum	74

- Şekil 3.4. (A: Tablo 3.6., B: Tablo 3.7.) Sabit $[\text{Fe}^{+3}]$ da ; Polielektrolit konsantrasyonlarının artırılmasıyla iki farklı sıcaklıkta gözlenenler 76
- Şekil 3.5. (A: Tablo 3.9., B: Tablo 3.10) Polielektrolitsiz optimum $[\text{Fe}^{+3}]$ dozajının tesbiti 78
- Şekil 3.6. (A: Tablo 3.11., B: Tablo 3.12, C: Tablo 3.13.) Optimum $[\text{Fe}^{+3}]$ dozajında değişik miktarda ilave edilen Polielektrolitin farklı sıcaklıklarda gösterdiği değerler 80

- t : Potansiyel enerji fonksiyonundaki zaman terimi
 T : Mutlak sıcaklık
 u : Yerel akışkan hızı
 v_i : Bir i parçacığının Stokes hızı
 v_j : Bir j parçacığının Stokes hızı
 v_s : s uzaklığındaki potansiyel enerji
- SEMBOL LİSTESİ
- C_i : i iyonunun molar konsantrasyonu
 d : Parçacıkların merkezleri arası uzaklık
 D_i : i Parçacığı için yayınma katsayısı
 g : Yerçekimi ivmesi
 G : Hız gradienti
 i : i adlı parçacığın işareti
 j : j adlı parçacığın işareti
 k : i ve j parçacıklarının agregasyonu ile oluşan parçacığın işareti
 K_B : Boltzmann sabiti ($1.38 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$)
 L : Dairesel kayma ile akan sıvının küçük bir bölümünün yay uzunluğu
 N_i : Birim hacim başına i parçacıklarının sayısı
 N_j : Birim hacim başına j parçacıklarının sayısı
 N_k : Birim hacim başına k parçacıklarının sayısı
 N_0 : Birim hacimdeki başlangıç parçacık sayısı
 N_t : t zamanında birim hacimdeki parçacıkların toplam sayısı
 p : Büyüklüğü kayma ile sınırlanan parçacıkların toplam sayısı
 P : Sıvı hareketinde harcanan güç
 Q : Hız gradienti sebebiyle sıvı akışı
 r : Bir kollektörün merkezden olan uzaklığı
 r_i : Bir i parçacığının yarıçapı
 r_j : Bir j parçacığının yarıçapı
 R : Rotasyonel kaymadaki sıvının küçük bir bölümünün yarıçapı
 R_{ij} : i ve j parçacıklarının etkileşme yarıçapı
 s : Potansiyel enerji fonksiyonundaki uzaklık terimi

- t : Potansiyel enerji fonksiyonundaki zaman terimi
T : Mutlak sıcaklık
u : Yerel akışkan hızı
 V_i : Bir i parçacığının Stokes hızı
 V_j : Bir j parçacığının Stokes hızı
 V_s : s uzaklığındaki potansiyel enerji
 χ : j parçacığının merkezinde X doğrultusundaki uzaklığı
y : Y doğrultusundaki uzaklık
z : Hız gradientine karşı yönde uzaklık
 α : Çarpışma verimi
 μ : Sıvının dinamik viskozitesi
 ρ : Sıvının yoğunluğu
 ρ_i : i parçacığının yoğunluğu
 ρ_s : Yumaklaşan parçacığın yoğunluğu
 τ : Sıvıdaki kayma gerilimi
 \emptyset : Birim sıvı hacmindeki yumak hacmi

Kütle yoğunluğunun artması ve enjeksiyonunun genişleme-
siyle pis suların temizlenmesi ve uzaklaştırılmasına olan
ihtiyaç artmaktadır. Çeşitli su ihtiyacının artması ve daha
temiz sulara olan ihtiyaç su tasfiyesini zaruri kılma-
ştır.

Yüksek kaliteli su ile doğrudan ilgili olan suların belirli
kriterlere sahip olması istenir. Bu kriterler, suyun kulla-
nılacağı amaçna göre iyi kalitede olmalıdır. /

1. GİRİŞ

Bir insanın vücudunun yaklaşık üçte ikisi sudan meydana gelmektedir. Su, kendi içerisinde eriyebilen besin maddelerini vücuda taşımak ve işe yaramayan maddeleri de vücuttan atmak için kullanılır. Hayvan, bitki ve endüstri artıklarını taşımak için de sudan istifade edilir. Kullanılmış sular; dışkılarından, bulaşık ve çamaşır yıkanmasından ileriye gelen pisliklerden ve insanların oluşturdukları muhtelif imalât ve endüstri işlemleri sonucu ortaya çıkan pis sular-dan meydana gelir.

Pis sular temiz bir içme suyuna nazaran genel olarak son derece pis ve tehlikeli kabul edilir. Bu anlayış genel olarak doğru ise de, bu konunun yabancıları olan kimseler pis suyu sanki başka bir madde gibi görürler. Onun başka bir maddeden daha çok bildiğiniz normal suya benzediğinin pek farkına varmazlar. Bu su görünüş olarak renkli ve pis gibi ise de bir miktar asılı ve eriyebilen maddeler bulunabilir. Fakat %99.9'dan daha fazla bir kısmı gene de sudan ibaret-tir.

Nüfus yoğunluğunun artması ve endüstrinin genişleme-siyle pis suların temizlenmesi ve uzaklaştırılmasına olan ihtiyaçta artmıştır. Gereken su ihtiyacının artması ve daha temiz akarsulara olan ihtiyaç su tasfiyesini zaruri kılmış-tır.

Halk sağlığıyla doğrudan ilgisi olan suların belirli kriterlere sahip olması istenir. Bu kriterler, suyun kulla-nılış amacına göre iyi kalitede olmalıdır.

Çelik borulardan taşınan korrozif bir su o borular için iyi değildir. Renksiz, kokusuz ve fakat gayet sert olan sular tekstil sanayii için uygun değildir. Yine fiziksel karakteristikleri uygun ve fakat spesifik kondüktivitesi çok yüksek olan sular, sulama suyu olarak elverişli değildir. İçme ve kullanma, sulama ve sanayii sularında, fiziksel, kimyasal ve biyolojik bazı şartların sınırladığı çerçeve bize suların kullanılış yerine göre standartını, kalitesini vermektedir.

Endüstrinin kullanım suları ise kullanım yeri ve şekline göre değişik kriterleri taşımak zorundadır. Örneğin suyun sertliği, pH derecesi, taşıdığı organik ve inorganik maddeler ile korrozif aktivite göz önünde bulundurulması gereken parametreleridir.

Konumuzlada direkt alâkası olması dolayısıyla genelden bir özel duruma geçerse, kontrol altına alınması gereken etkenlerden biriside proses sularında ki demir iyonları miktarıdır. Demir iyonlarının yaptığı zararlar sıralanacak olursa;

a) Su borularının cidarında birikip çapı daraltarak, yük kayıplarını arttıırırlar. Demir içeren organik birikintiler boru cidarından koparak suya karışır ve suyu kitle şeklinde siyaha boyayabilirler.

(b) Klorlama sonucu depo cidarlarında birikip zaman zaman buralardan koparak, pompa valf ve orifis gibi ekipmanları tıkarlar.

c) Ferri bileşikleri iyon değiştirici madde yataklarını ve kum filtresi yataklarını kaplayarak onların kapasitesini düşürürler.

d) Özellikle kâğıt, tekstil, plâstik, deri buz, alkollü içkiler gibi sanayii kollarındaki ürünlerin rengini, görünüşünü bozarlar.

Demirin yolaçtığı olumsuz etkiler nedeniyle uzun yıllardan bu yana demir giderme yöntemleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Optimum koşullarda arıtımı sağlamak için yeni yöntemler geliştirme yolunda bu tür çalışmalar sürdürülmektedir.

"Tekstil Sanayii Atıklarındaki Demirin Giderilmesiyle Yeniden Kazanılma Projesi" deneysel çalışmaların konusunu teşkil etmektedir.

Koagülasyonda koagülantların suya ilavesi ve karıştırılması için kimyasal ve mekanik işlemler uygulanır. İşlemler pıhtılaştırma ve yumaklaştırma olarak iki gruba ayrılabilir. Mekanik işlemler pıhtılaştırma ve yumaklaştırma olarak iki gruba ayrılabilir.

Yüzeysel suları bilhassa 10^{-7} - $0,1$ μ m büyüklükteki tanelecikleri iktive ederler. Bu tanelecikler çözünmüş maddeler, kolloidler ve askıdaki katı maddeler (süspansiyonlar) olarak sınıflandırılabilir.

Çözünmüş maddeler çapları $0,001$ μ m'den küçük olan maddelerdir. Na, Cl, O_2 , N_2 çözülmüş maddelere örnek olarak verilebilir.

Kolloidlerin çapları $0,001$ - 1 μ m arasıdır. SiO_2 , $Fe(OH)_3$, virüsler ($0,03$ - $0,3$ μ m) kolloidlerdendir.

Askıdaki katı maddelerin (süspansiyon) çapları 1 μ m'den büyüktür. Bakteriler (1 - 10 μ m) kil, kum, $Fe(OH)_3$ bittisi ve hayvan artıkları askıdaki katı maddelere misal olarak verilebilir.

Bir taneğin çökme hızı; tane nin yoğunluğuna, tane çapına ve sıvının viskozitesine bağlıdır. Tane çapı küçük olduğunda çökme hızı azalmaktadır.

Tablo 2.1'de verilen yoğunlukta ve çaptaki taneciklerin çökme hızları verilmiştir.

2. KİMYASAL ARITMA METODLARI

Tablo 2.1 Çökme Hızları (20°C)

Su ve kullanılmış su tasfiyesinde suyun taşıdığı çözünmüş ve askıda bulunan ve istenmeyen çok küçük maddelerin giderilmesi için suya kimyasal maddeler ilâve edilir. Bu maddelere kimyasal pıhtılaştırıcı veya koagülant denilir. Koagülasyonda koagülantların suya ilavesi ve etkili hale getirilmesi için kimyasal ve mekanik işlemler uygulanır. Bu işlemler pıhtılaştırma ve yumaklaştırma olarak iki kısımdan meydana gelmektedir.

Yüzey suları bilhassa 10^{-7} -0,1 mm büyüklükteki tanecikleri ihtiva ederler. Bu tanecikler çözünmüş maddeler, kolloidler ve askıdaki katı maddeler (süspansiyonlar) olarak sınıflandırılabilir.

Çözünmüş maddeler çapları 0.001 μ m'den küçük olan maddelerdir. Na, Cl, O₂, N₂ çözünmüş maddelere örnek olarak verilebilir.

Kolloidlerin çapları 0.001-1 μ m arasındadır. Kil, SiO₂, Fe(OH)₃, virüsler (0.03-0.3 μ m) kolloidlerdendir.

Askıdaki katı maddelerin (süspansiyon) çapları 1 μ m den büyüktür. Bakteriler (1-10 μ m) kil, kum, Fe(OH)₃ bitki ve hayvan artıkları askıdaki katı maddelere misâl olarak verilebilir.

Bir deneğin çökme hızı; tanenin yoğunluğu, tane çapı ve sıvının viskozitesine bağlıdır. Tane çapı küçüldükçe çökme hızı azalmaktadır.

Tablo 2.1'de çeşitli yoğunlukta ve çaptaki taneciklerin çökeltme hızları verilmiştir.

Tablo 2.1 Çökeltme Hızları (20°C)

Tane Çapları	Çökeltme Hızları (m/saat)	
	$\rho_s = 1002 \text{ kg/m}^3$	$\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$
1 mm = 10^{-3}	3.9	3200
1 $\mu\text{m} = 10^{-6}$	3.9×10^{-6}	3.2×10^{-3}
1 nm = 10^{-9}	3.9×10^{-12}	3.2×10^{-9}

Tablodan da görüldüğü gibi çökeltme havuzları ancak askıdaki katı maddelerin çökelttilmesinde etkilidir. Kolloidlerin çökeltme havuzlarında çökelttilmesi mümkün değildir.

Bu tür tanecikleri sudan ayırmak, bunların birbiriyle birleştirilerek çökeltme hızlarını arttırmak suretiyle olur.

O halde yumaklaştırmadan maksat, askıdaki daneciklerin yumak haline getirilmesidir. Bu yumaklar, yumaklaştırmadan sonraki çökeltme veya filtrasyon veya hem çökeltme hem de filtrasyon işlemleriyle ayrılabilirler.

(Kolloidleri çöktürmek için yumaklaştırma işlemi yapılır. Tasfiye işlemlerinde suya renk veya bulanıklık veren maddeleri gidermek için filtrasyon işleminden önce yumaklaştırmaya başvurulmaktadır.

Yumaklaştırma işlemi ile arıtma; deri, dokuma, tekstil ve kâğıt sanayii gibi çeşitli sanayii dallarından ortaya çıkan kullanılmış suların tasfiyesinde oldukça yaygındır. Yine bir takım sanayii atık sularındaki bakır, çinko, arsenik, kadmiyum, krom, kurşun, selenyum, civa gibi farklı kirleticilerin tasfiye işlemlerinde de yumaklaştırma etkili bir tasfiye metodu olarak göze çarpmaktadır.

Tablo 2.2 de yumaklaştırmanın çeşitli kirleticilerin giderilmesinde etkinliğini göstermektedir. Bu tablodan da görülebileceği üzere bulanıklık, süspansiyon katılar, renk, virüs, bakteri ve alglerin giderilmesinde de yumaklaştırma etkilidir. (1)

Tablo 2.2 Çeşitli kirleticilerin giderilmesinde Yumaklaştırmanın etkisi

Parametreler	Giderme Verimi	Düşünceler
	0 Verim yok	
	+ % 0-20	
	++ % 20-60	
	+++ % 60	
Inorganikler:		
Bulanıklılık	+++	
Askıdaki katılar	+++	
Fosfat (P_2O_5)	+++	
Nitrat (NO_3)	0	
Amonyum (NH_4)	0	
Klorür (Cl)	+,0,+	
Sülfat (SO_4)	+,0,+	
Florür (F)	++	
Demir (Fe)	+++	
Aluminyum (Al)	+++	
Mangenez (Mn)	+++	
Bakır (Cu)	+++	
Çinko (Zn)	+	
Kobalt (Co)	+++	
Nikel (Ni)	++	
Vanadium (V)	0	
Arsenik (As)	0	
Kadmium (Kd)	+++	
Krom (Cr)	+++	
Kurşun (Pb)	++,+++	
Selenyum (Se)	++	
Cıva (Hg)	+++	
Baryum (Ba)	+++	
Siyanür (Cn)	++	
Organikler:		
Renk	+	
Koku	0	
KOI (O_2)	+++	
Toplam Organik Karbon (TOK)	0,+	
BOI (O_2)	+++	
Kjeldahl Azotu (N)	+++	
Fenoller (C_6H_5OH)	+++	
Polisiklik Arom. H.K.	+++	
Pestisitler	0	
Mikroorganizmalar:		
Virüsler	+++	
Bakteriler	+++	
Algler	+++	

Kullanılan yumaklaştırıcıya bağlı

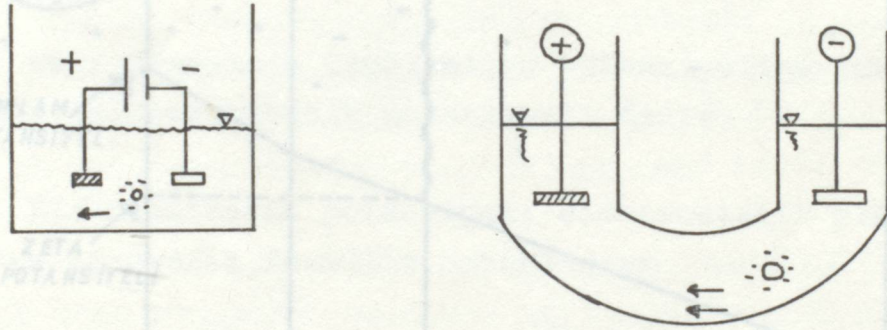
Çok iyi çözünür

2.1. Yumaklaştırma Mekanizması (2)

2.1.1. Kolloidlerin Özellikleri

Yumaklaştırmanın verimli ve tesirli bir şekilde tat-
bik edilmesi bakımından kolloidlerin özellikleri bilinmek-
tedir. Su ortamında kil gibi suda çözünmeyen taneciklere
suyu sevmeyen manâsında "hidrofobik"; nişasta, proteinler,
organik polimerler gibi suda çözünen taneciklere de suyu
seven manâsında "hidrofilik" kolloidler denilir.

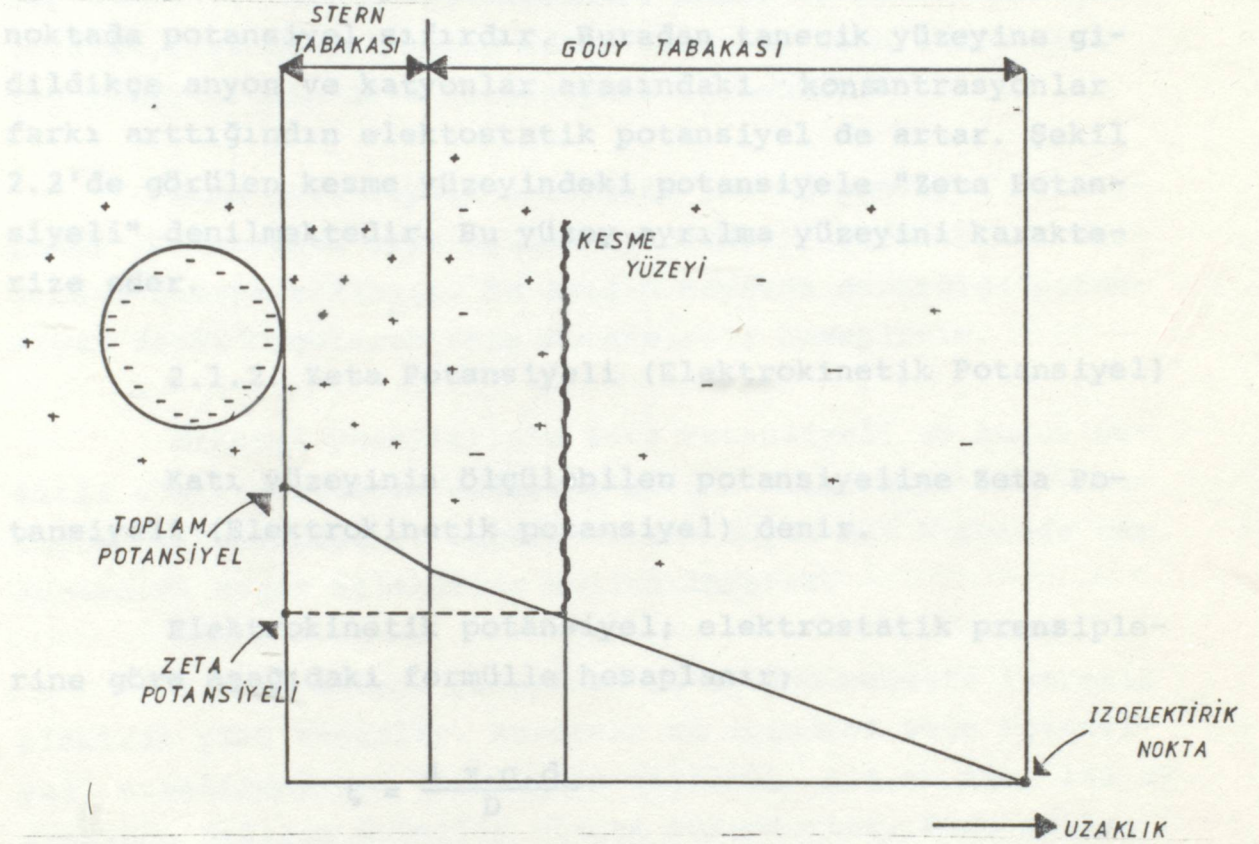
Kolloidler buldukları sıvı ortam içinde daima bir
elektrik yüküne sahiptir. Kolloid ihtiva eden bir çözelti
içerisine pozitif ve negatif yüklü elektrotlar yerleşti-
rilirse kolloidlerin kendi yüküne zıt yüklü elektroda doğru
yığıldıkları görülebilir. Kolloidlerin yükünü tesbit etmeye
yarayan bir düzenek Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Kolloidlerin yüklerini gösteren deney düzenneği

Metal oksitler; (Al^{+3} , Fe^{+2} veya Fe^{+3} gibi) pozitif elek-
trik yüküne, metal olmayan oksitler; kil, proteinler ise
genellikle negatif elektrik yüküne sahiptirler. İçme suyu
tasfiyesinde karşılaşılan kolloidler genelde negatif yüklü-
dürler.

Kolloid tanecikler, buldukları sıvı içinde daima bir elektrik yüküne sahip olduklarından, taneciğin taşıdığı elektrik yüküne zıt iyonlar, tanecik çevresinde birikecek sabit bir tabaka, bunun çevresinde zıt yüklü iyonlar ikinci bir tabaka meydana getirirler. İkinci tabaka, tanecik kenarından su içine doğru yayıldığından bu tabakaya "diffüz tabakası" denilmektedir(Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Negatif yüklü kolloidin etrafındaki tabakalar.

Şekildende görülebileceği gibi taneceğin yükü fazla ise etrafına çok miktarda zıt işaretli iyon çeker. Böylece tanecik zıt işaretli iyonlarla kaplanmış olur. Bu ilk ve

yoğun zıt iyonlar tabakasına sabit tabaka veya stern tabakası denilmektedir. Stern tabakasının dışında yine aynı işaretli iyonların teşkil ettiği bir tabaka daha vardır. Bu tabakaya Gouy-Chapman tabakası veya "Dağınık" tabaka adı verilir. Çift tabakada esas olarak kolloidin yüküne zıt iyonlar bulunmakla birlikte, aynı yüklü iyonlarda bulunur. Ancak iyonların sayıları tanecik yüzeyinden uzaklaştıkça azalır.

Belli bir mesafede + ve - yüklü iyonların sayıları eşit olup bu noktaya izoelektrik nokta denilmektedir. Bu noktada potansiyel sıfırdır. Buradan tanecik yüzeyine gildikçe anyon ve katyonlar arasındaki konsantrasyonlar farkı arttığından elektostatik potansiyel de artar. Şekil 2.2'de görülen kesme yüzeyindeki potansiyele "Zeta Potansiyeli" denilmektedir. Bu yüzey ayrılma yüzeyini karakterize eder.

2.1.2. Zeta Potansiyeli (Elektrokinetik Potansiyel)

Katı yüzeyinin ölçülebilen potansiyeline Zeta Potansiyeli (Elektrokinetik potansiyel) denir.

Elektrokinetik potansiyel; elektostatik prensiplerine göre aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$\xi = \frac{4 \pi \cdot \sigma \cdot d}{D}$$

d: Elektriksel çift tabaka kalınlığı

σ : Stern plânındaki elektrik yük

D: Dielektrik Sabiti

Elektrik yüklü bir yüzey ile bunu çevreleyen çözeltilinin birbirine nazaran hareketini inceleyen çeşitli elektrokinetik olaylar vardır. Bunlardan faydalanılarak Zeta

Potansiyel ölçülebilir. Zate Potansiyelini ölçmede kullanılan çeşitli metodlar arasında en önemlileri; Elektroforetik metod ve Akma Potansiyeli (Streaming Potential) metodudur.

Elektroforetik metodlarda mineral süspansiyonu veya kolloid madde bir elektroliz cihazında elektrolit olarak kullanılır. Cihaza elektrik akımı verildiği zaman, çözelti ve süspansiyon arasındaki sınır hareket eder. Hareketin hızı ve yönünden faydalanarak, Zeta Potansiyel ve yüzey elektrik yükü hesaplanabilir. Makro ve mikro elektroforetik, (Zetametre), metod adını alan iki teknik ile mineral yüzeylerinin Zeta Potansiyeli bulunur.

Akma potansiyeli metodunda ise süspansiyon bir kapiler tüp boyunca veya öğütülmüş cevherin gözenekleri arasından akmaya zorlanır. Bu akışın meydana getirdiği potansiyel farkı ölçülerek Zeta Potansiyeli hesaplanır.

Mineral yüzeylerinin Zeta Potansiyeli ve bunun çeşitli elektrolitlerle değişimi birçok araştırmacılar tarafından incelenmiştir. İncelemelerin büyük bir kısmında cam, kuvars ve diğer silikatlar kullanılmıştır.

Cam ve kuvars yüzeyleri su içinde negatif işaretli elektrik yükü taşırlar. Kuvarsın su içindeki Zeta Potansiyeli araştırmacılar tarafından ölçülmüş -44 mV ile -146 mV arasında değişen değerler olarak bulunmuştur. Elde edilen farklı değerlerde mineralin değişimi kadar, kullanılan metod ve suyun değişimi önemli rol oynamaktadır. Elektrolit ilavesinde, elektrolitin konsantrasyonu arttıkça genellikle Zeta Potansiyelinin azaldığı gözlenir. Zeta potansiyelinin işaretinin değişmesi, potansiyeli tayin edici iyonu veya yüzey aktif iyonları içeren bir elektrolit ilave edildiği zaman meydana gelir.

Zeta Potansiyelinin mutlak değeri ve işareti, mineralin kollektörle muamelesinde büyük önem taşır. Kollektörler de mineral yüzeyine adsorbe olduklarında, mineral yüzeyi elektrik şarjını kuvvetle değiştirirler. Bu nedenle bunlara yüzey-aktif reaktifler de denilmektedir.

Flokülasyon dışında, flotasyon ve dispersiyon olaylarında da Zeta Potansiyelin çok önemli rolü vardır.

Kolloidlerin Zeta Potansiyeli oldukça mühim bir parametredir. Kolloidlerin bir diğer özelliği kolloidlerin su içinde tesadüfi bir şekilde hareket etmeleridir. Bu hareket "Brownian Hareket" olarak isimlendirilmektedir.

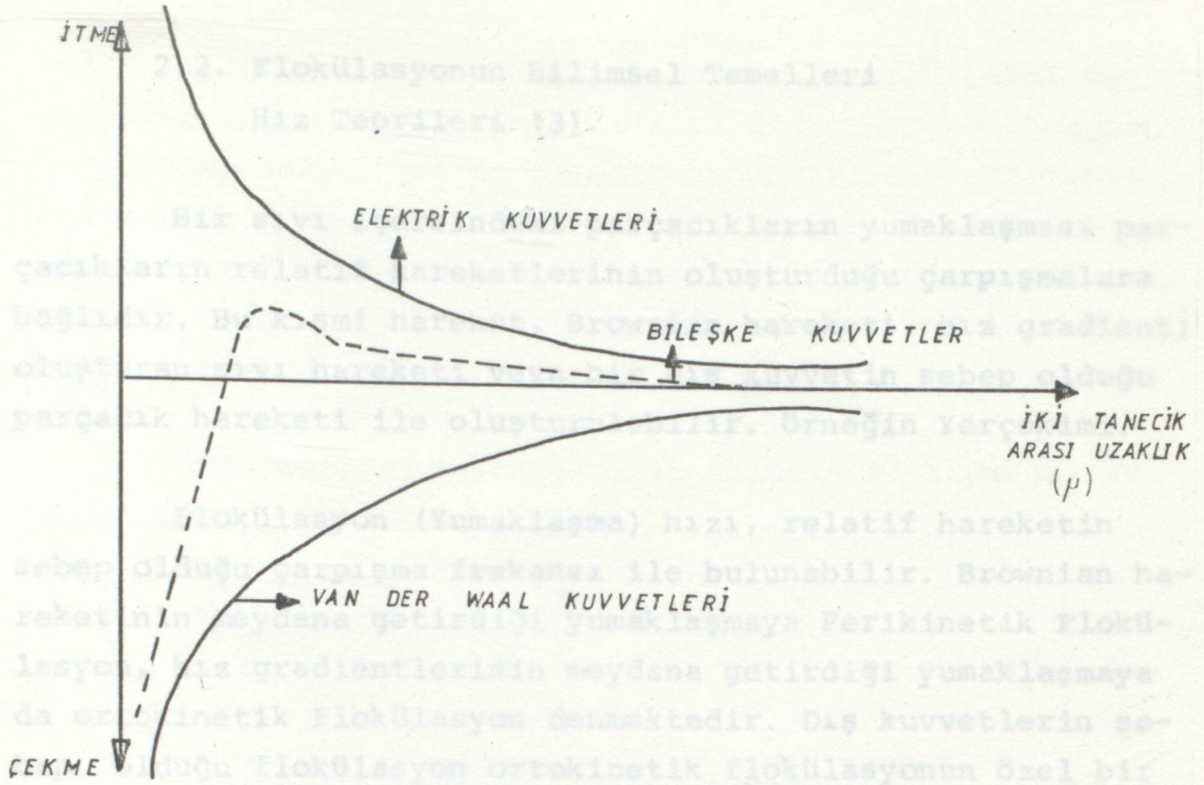
Karakterize yüzeyi içersinde sıvı tabakası sanki taneciğe yapışıkmiş gibi onunla birlikte hareket eder. Buna karşın kesme yüzeyinin dışındaki kısım tanecik ile birlikte hareket etmez. Hidrofobik kolloidlerde kesme yüzeyi, sabit tabakanın dış yüzüne çok yakındır.

İki kolloid bir arada düşünülürse, her iki kolloid aynı elektrik yükü ile yüklü olduğundan birbirlerini itmek isterler. Çekme kuvvetleri ise Van der Wals kuvvetleri ile Brownian hareketlerden doğan kinetik enerjiden dolayı ortaya çıkar. Bu kuvvetler Şekil 2.3.'de gösterilmektedir.

(Kolloidlerin stabilizasyonu aşağıda belirtilen şekillerde olmaktadır. Durum ve şartlara göre bunlardan biri veya birkaçı daha tesirli olmaktadır. Bunlar:

a) Çözeltiye ilave edilen zıt yüklü iyonlar tanecik etrafında ki çift tabakanın sıkışmasına sebep olurlar. Böylece tanecikler arasındaki itme etkisi azalır.

b) Çözeltiye ilave edilen metal iyonları veya organik polimerlerin tanecik yüzeyine absorbe edilmesiyle tanecik yüzeyindeki potansiyel azalmaktadır.



Şekil 2.3. Taneciklere etki eden kuvvetler

c) Yumaklaştırıcı maddelerin çözeltiliye ilave edilmesiyle teşekkül eden metal hidroksitler çökerlerken kolloidleri de bir ağ şeklinde sararak onların da çökmesini temin ederler.

d) Organik polimerlerin kullanılması halinde uzun zincirli bu polimerler, kolloidlerin etrafını sararak bir köprü meydana getirir. Böylece kolloidlerin destabilizasyonu sağlanır.

Destabilize bir çözeltide kolloidlerin Brownian hareketleri sebebiyle yumaklaşma olur, bu tip yumaklaşma "Perikinetik yumaklaşma" olarak adlandırılır. Bu hareket yavaş olduğundan yumaklaştırma işlemini hızlandırmak için çözeltiliye ilave edilen kimyasal maddeler karıştırılır. Bu tip yumaklaştırmaya "Ortokinetik Yumaklaştırma" denilmektedir.

2.2. Flokülasyonun Bilimsel Temelleri

Hız Teorileri (3)

Bir sıvı içersindeki parçacıkların yumaklaşması parçacıkların relatif hareketlerinin oluşturduğu çarpışmalara bağlıdır. Bu kısmi hareket, Brownian hareketi, hız gradienti oluşturan sıvı hareketi veya bir dış kuvvetin sebep olduğu parçacık hareketi ile oluşturulabilir. Örneğin Yerçekimi.

Flokülasyon (Yumaklaşma) hızı, relatif hareketin sebep olduğu çarpışma frekansı ile bulunabilir. Brownian hareketinin meydana getirdiği yumaklaşmaya Perikinetik Flokülasyon, hız gradientlerinin meydana getirdiği yumaklaşmaya da ortokinetik Flokülasyon denmektedir. Dış kuvvetlerin sebep olduğu flokülasyon ortokinetik flokülasyonun özel bir hali olarak belirtilmektedir. Bir parçacığın sıvıya göre hareketi de "hız gradientini" meydana getirmektedir.

Eğer parçacıklar arasında yüzeyde itme kuvveti yoksa o zaman her çarpışma yumaklaşmayı oluşturur. Bu proses hızlı yumaklaşma olarak adlandırılır. Parçacıklar arasında önemli bir itme kuvveti mevcut ise, o zaman çarpışmaların sadece bir kesri yumaklaşmayı oluşturur. Bu proses ise "yavaş yumaklaşma" olarak adlandırılır. Yavaş yumaklaşma daha sonra incelenecektir.

(Orjinal teoriler Smoluckowski'ye aittir. Fakat ortokinetik flokülasyon eşitliklerinin çıkarılmasında Camp-Stein esas olmaktadır.

2.2.1. Perikinetik flokülasyon

Rastgele hareketler olarak nitelendirebileceğimiz Brown hareketleri, sıvının termal enerjisi tarafından oluşturulmaktadır.

Başlangıçta bir parçacığın sabit olarak kabul edilip, kollektöre göre diğer parçacıkların Brown hareketince oluşturulan diffüzyon hızını hesaplamak yararlıdır. Parçacıklar kollektöre bağlandığı süspansiyondan uzaklaştıkları için, kollektörün çevresinde bir konsantrasyon gradienti oluşur. Kararlı halde konsantrasyonlar zamana bağlı değildir. ($dN_i/dt = 0$).

Bir küresel parçacık için ikinci Fick yasası kullanılarak,

$$\frac{dN_i}{dt} = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{d}{dr} \left[r^2 \cdot D_i \cdot \frac{dN_i}{dr} \right] \quad (1)$$

$$\frac{dN_i}{dt} = D_i \frac{d^2N_i}{dr^2} - \frac{2}{r} \cdot \frac{dN_i}{dr} \quad (2)$$

eşitliklerine ulaşılır. Burada,

r: Birim hacimde konsantrasyonu N_i olan parçacıkların kollektörden olan radyal uzaklığı

D_i : -i- Parçacıklının diffüzyon katsayısıdır.

Bu eşitlikler için sınır koşulları, $r=R_{ij}$ 'de $N=0$ 'dir. Yani, $R_{ij}=r_i+r_j$ ile gösterilen j kollektörünün yüzeyinde, sıvının konst'u "0"'dır.

Yani büyük bir uzaklıkta, parçacık konsantrasyonu değişmemekte ve orjinal değerinde sabit kalmaktadır.

0 zaman (2) eşitliğinin çözümü,

$$\frac{N_i}{N_0} = 1 - \frac{R_{ij}}{r} \quad (3)$$

$$\frac{dN_i}{dr} = \frac{N_0 \cdot R_{ij}}{r^2} \quad (4)'dür.$$

Bu eşitlik yerel konst'u ve konsantrasyon gradientini radyal uzaklığın fonksiyonu (r) olarak vermektedir.

Diffüze olan parçacıkların hızı 1. Fick yasası ile verilmektedir.

$$\frac{dN}{dt} = 4 \cdot \pi \cdot R_{ij} \cdot D_i \cdot \frac{dN_i}{dr} \quad (5)$$

Burada dN/dt , kollektör ile birim zamandaki çarpışmaların sayısıdır.

$r = R_{ij}$ olduğunda (4) eşitliği, (5) eşitliğinde yerine konarak,

$$\frac{dN}{dt} = 4 \cdot \pi \cdot D_i \cdot N_0 \quad (6) \text{ olur.}$$

Kollektörün kendisinde Brown hareketinin etkisi altında olduğundan etkili diffüzyon katsayısı

$$D_{ij} = D_i + D_j \quad (7)$$

Konsantrasyonları N_i ve N_j olan i ve j parçacıkları arasında birim hacimdeki çarpışma hızı,

$$\frac{N_{ij}}{dt} = 4 \cdot \pi \cdot D_{ij} \cdot N_i \cdot N_j \cdot R_{ij} \quad (8) \text{ 'dir.}$$

Eğer $k = i + j$ alırsak, $N_k = N_{ij}$ olur. Başlangıçta bütün parçacıklar aynı $i = 1$ (monodisperse) ve agregatları küresel olarak kabul edilirse (emülasyonlarda olduğu gibi) o zaman (8) eşitliği, başlangıçta monodisperse olan bir sistemde $-k-$ parçacıklarının oluşum hızı için adapte edilebilir.

$$\frac{dN_k}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{k-1} 4 \cdot \pi \cdot R_{ij} \cdot D_{ij} \cdot N_i \cdot N_j - N_k \sum_{i=1}^{\infty} 4 \cdot \pi \cdot R_{ik} \cdot D_{ik} \cdot N_i$$

Birinci terim, i-j çarpışmaları ile oluşan -k- parçacıklarının oluşum hızını, ikinci terim diğer parçacıkların çarpışması ile yok olma hızını vermektedir. Her çarpışma iki kez sayılacağından, "1/2 faktör"ü bir kez i- parçacığı ve bir kezde j- parçacığı için birinci terime uygulanmaktadır. Bir i- parçacığı için Stokes-Einstein eşitliğine göre diffüzyon katsayısı D_i ,

$$D_i = \frac{K_B \cdot T}{6\pi r_i \cdot \mu} \quad (10) \text{'dur.}$$

Burada,

K_B : Boltzman Sabiti

T : Mutlak Sıcaklık

μ : Sıvının dinamik viskozitesi'dir

Denklemden diffüzyon katsayısının parçacık yarıçapı ile ters orantılı olduğu görülmektedir.

Buna göre R_{ij} ve D_{ij} , ilk monodisperse parçacıkların diffüzyon katsayısı cinsinden yazılabilir.

$$\begin{aligned} R_{ij} \cdot D_{ij} &= (r_i + r_j) \cdot (D_i + D_j) \\ &= (r_i + r_j) \cdot D_1 \cdot r_1 \left[\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_j} \right] \end{aligned} \quad (11)$$

Eğer i- parçacıklarının ve j- parçacıklarının büyüklükleri eşitse (11) eşitliği,

$$R_{ij} \cdot D_{ij} = 4 \cdot D_1 \cdot r_1 \quad (12)$$

Eşitlik (12), $1 < i/j < 2$ için iyi bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Daha büyük oranlar için değeri çok büyük olmaktadır. Buna göre aynı büyüklükteki kürelerden daha sık olmaktadır. Eğer (12) eşitliği (9) eşitliğinde yerine konursa ve parçacıkların toplam sayısını bulmak için toplanırsa

$$\frac{d \sum_{k=1}^{\infty} N_k}{dt} = 8 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot r_1 \left[\sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} N_i \cdot N_j - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} N_i \cdot N_k \right] \quad (13)$$

Mümkün olan bütün kombinasyonlar göz önünde bulundurulduğunda, k- parçacıkları bütün aralıklarda i- ve j- parçacıkları içerir.

$$\begin{aligned} \frac{d \sum_{k=1}^{\infty} N_k}{dt} &= 8 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot r_1 \cdot \left\{ \left[\sum_{k=1}^{\infty} N_k \right]^2 - 2 \left[\sum_{k=1}^{\infty} N_k \right]^2 \right\} \quad (18) \\ &= -8 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot r_1 \left[\sum_{k=1}^{\infty} N_k \right]^2 \quad (14) \end{aligned}$$

Negatif işaret parçacıkların toplam sayısının flokülasyon sırasında azaldığını göstermektedir.

$$t=0'da N_k = N_0 \text{ ve } t=t'de \sum_{k=1}^{\infty} N_k = N_t$$

(14) eşitliği bir ikinci derece eşitliğidir.

$$\frac{dN_k}{dt} = -8 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot r_1 \cdot N_t^2 \quad (15)$$

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN}{N_t} = -8 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot r_1 \int_0^t dt \quad (16)$$

$$N_t = \frac{N_0}{1 + 8 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot r_1 \cdot N_0 \cdot t} \quad (17)$$

$N_t = \frac{N_0}{2}$ olduğunda, mevcut parçacıkların sayısı

perikinetik flokülasyonla yarıya indirilmiştir. O zaman (17) eşitliği yarılama süresi için aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

$$t_{1/2} = \frac{1}{8 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot r_1 \cdot N_0}$$

D_1 'in değeri Stokes-Einstein eşitliğinde yazılırsa,

$$t_{1/2} = \frac{3\mu}{4 \cdot K_B \cdot T \cdot N_0} \quad (18)$$

$$\frac{N_t}{N_0} = \frac{1}{1+t/t_{1/2}} \quad (19) \text{ olur.}$$

25°C'de sudaki kolloidal parçacıklar için yarılama süresi

$$(t_{1/2}) = 1.63 \times 10^{17} / N_0 \text{ 'dır.}$$

Bu yarılama süresi parçacığın büyüklüğünden bağımsızdır.

Suda 10.000 adet/ml Virüs parçacıkları içeren bir süspansiyon için yarılama süresi yaklaşık 200 gün olacaktır. Sonuç olarak, Virüslerin hızlı yumaklaşma ile tamamen destabilize olsalar bile perikinetik yumaklaşma oldukça yavaş olacaktır.

(9) ve (12) eşitliklerinin intergrasyonu ile her tip agregatın konsantrasyonu zaman fonksiyonu olarak hesaplanabilir.

$$\frac{N_1}{N_0} = \frac{1}{(1+t/t_{1/2})} \quad (20 a)$$

$$\frac{N_1}{N_0} = \frac{(t/t_{1/2})}{(1+t/t_{1/2})^3} \quad (20 b)$$

$$\frac{N_k}{N_0} = \frac{(t/t_{1/2})^{k-1}}{(1+t/t_{1/2})^{k-1}} \quad (20 c)$$

Bu denklemler, $t=t_{1/2}$ 'de başlangıçtaki parçacıkların 0.25'e düştüğünü göstermektedir. $t=0.5t_{1/2}$ 'den sonra üçlü yumakların büyümesi ve büyük ayregatların oluşumu daha etkili olmaktadır.

Perikinetik flokülasyon için geliştirilen yeni bir modelden de parçacıkların çarpışmaları, tek sabit bir parçaya doğru diğer parçacıkların diffüze akımı ile oluşmaktadır. Smoluckswski parçacıkların sabit parçacığa doğru diffüzyon akımlarının radyal yönde olduğunu kabul etmiştir. Merkezinde sabit parçacığın bulunduğu bir kürenin, yüzeyinden içeriye doğru radyal olarak diffüze olan parçacıkların sayısı bazı parametrelerle orantılıdır. Bu parametreler; diffüzyon katsayısı, kürenin yüzey alanı, radyal yöndeki parçacık konsantrasyon gradientidir. Diffüzyonun radyal olduğu kabul edildiğine göre iç kısma doğru radyal olarak diffüze olan parçacıkların sayısı, merkezindeki parçacıklarla yapılan çarpışmaların sayısına eşittir. Merkezdeki parçacığında diffüze olduğunu kabul ederek, P perikentik flokülasyon için Van Smoluckswski'nin verdiği eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$I_{ij} = 4 \cdot \pi \cdot D_{ij} \cdot R_{ij} \cdot n_i \cdot n_j \quad (20 d)$$

Burada,

I_{ij} : R_i ve R_j yarıçaplı parçacıklar arasında birim zamandaki çarpışmaların sayısı

D_{ij} : i ve j parçacıklarının karşılıklı diffüzyon katsayısı (Yaklaşık olarak $D_i=D_j$)

R_{ij} : İki parçacığın etkileşme yarıçapı, yani çarpışan iki parçacığın merkezleri arasındaki uzaklık

$$R_{ij} = R_i + R_j$$

n_i, n_j : Sırasıyla i ve j parçacıklarının konst.

Eğer sıvı kütlesinde hız gradientleri bulunuyorsa (dv/dz) ve eğer bu hız gradientleride yaklaşık olarak 5 s^{-1} 'den büyük ise ayrıca parçacıkların büyüklükleri de $1 \mu\text{m}$ 'nin üstünde ise, perikinetik etki ihmâl edilebilir. Ve bu şartlar altında yalnız ortokinetik flokülasyona ihtiyaç olduğu kabul edilmektedir.

2.2.2. Ortokinetik flokülasyon

Yavaş karıştırmanın yumaklaşmayı sağladığı uzun zamandan beridir gözlenmektedir. Bu olay, sıvı içinde oluşturulan ve mevcut parçacıkların relatif hareketine sebep olan hız gradientinden dolayıdır. Flokülasyon kinetiğinin basit teorisi sabit bir hız gradientini veren uniform sıvı kayma düzleminden çıkarılabilir. Böyle sabit hız gradientlerini pratikte başarmak zordur, en yakın deneysel şekil aynı eksenli dönen silindirler arasına yuvarlak delik koyarak sağlanmaktadır (Couette apparatuses).

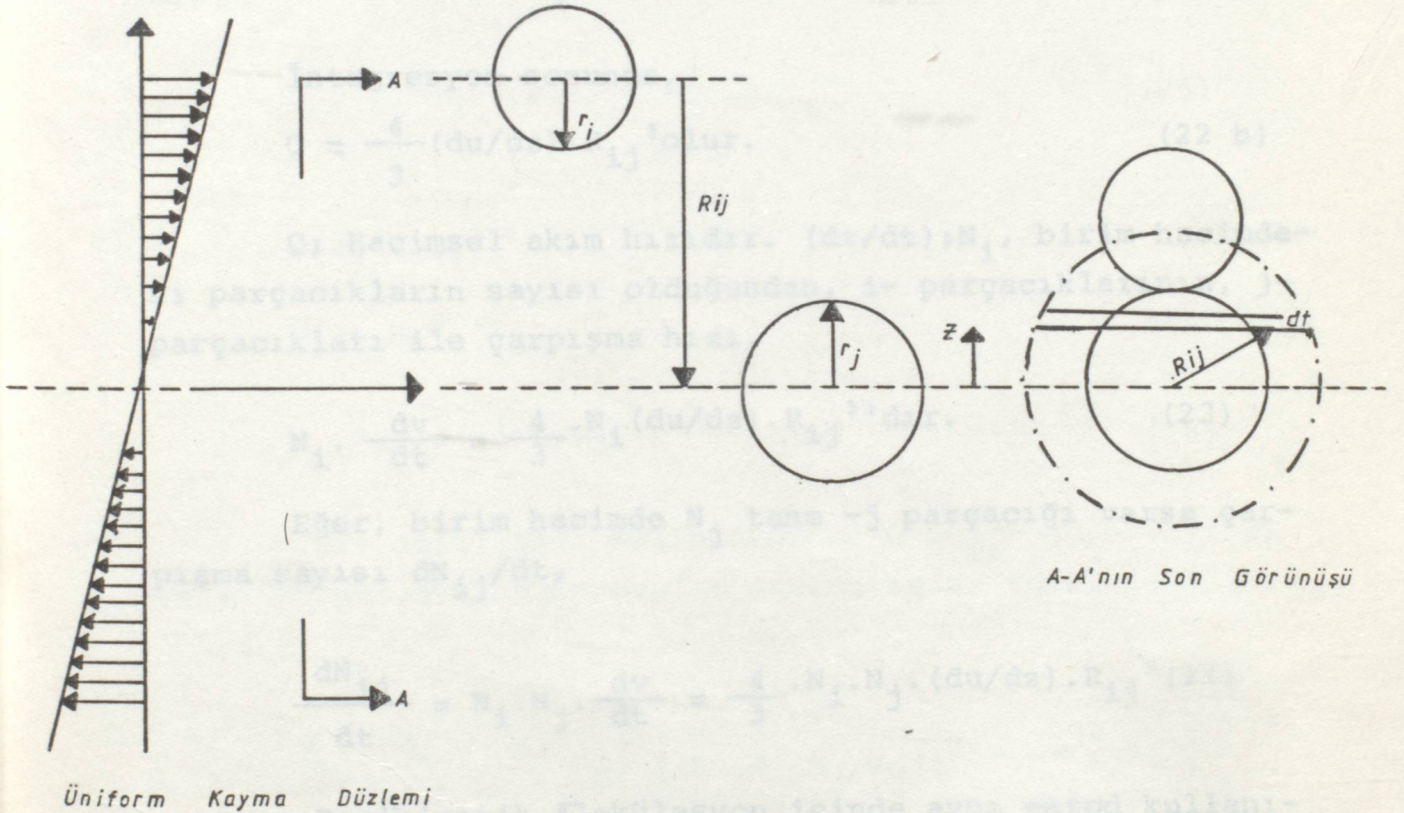
Sonuç olarak, teori türbülent akım şartlarında oluşturulan hız gradientlerine uygulanmak üzere genişletilmek zorundadır.

Uniform Kayma Alanı:

Çarpışmalara relatif hareket oluşturduğuna göre, bu durumda bir (j) parçacığını kollektör, sabit bir hız gradientine sahiptir (dv/dz).

Parçacıkların varolmasıyla üniform kayma düzleminin bozulmadığı, bundan dolayı i- parçacıklarının yolunun ayrı yönde olduğu kabul edilmektedir. Arp ve Mason tarafından geliştirilen yeni teori parçacıkların akım çizgilerinin eğik olduğunu kabul etmektedir. Fakat bu teorinin öngördüğü düzeltmeler büyüklük olarak küçüktür. Perikinetik teoriye göre hızlı yumaklaşma kabul edilmektedir. Ve her çarpışma yumaklaşmayı oluşturmaktadır.

Şekil 2.4.'e göre merkez çizgisinin üstündeki i- parçacıkları x yönünde hareket etmektedir. Eğer bu parçacıkların merkezleri yarısilindirik yarıçapı R_{ij} 'nin içine düşerse ($R_{ij} = r_i + r_j$), bunlar j- parçacığı ile çarpışacaklardır.



Şekil 2.4. Ortokinetik yumaklaşmanın şematik gösterilişi.

Onların j- parçacığına göre hızları x-düzleminden olan z uzaklığına bağlı olacaktır. Ve $z, \frac{dv}{dz}$ 'ye eşit olacaktır.

Element Akımı = Alan x Hız

$$dQ = 2 \cdot (R_{ij}^2 - z^2)^{1/2} \cdot dz \cdot z \cdot \left(\frac{du}{dz}\right) \quad (21)$$

Üstteki yarı silindirde toplam akım, j'ye göre,

$$Q_{1/2} = 2 \left(\frac{du}{dz}\right) \cdot \int_0^{R_{ij}} z \cdot (R_{ij}^2 - z^2)^{1/2} \cdot dz \quad (22)$$

Negatif X yönünde de altdaki yarı-silindirde aynı akım vardır. Buna göre j'ye göre toplam sıvı akımı,

$$Q = 4 \left(\frac{du}{dz}\right) \int_0^{R_{ij}} z \cdot (R_{ij}^2 - z^2)^{1/2} \cdot dz \text{ 'dir} \quad (22 a)$$

Integresyon sonunda,

$$Q = \frac{4}{3} (du/dz) \cdot R_{ij}^3 \text{ olur.} \quad (22 b)$$

Q; Hacimsel akım hızıdır. $(dv/dt); N_i$, birim hacimdeki parçacıkların sayısı olduğundan, i- parçacıklarının, j- parçacıkları ile çarpışma hızı,

$$N_i \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{4}{3} \cdot N_i (du/dz) \cdot R_{ij}^3 \text{ 'dir.} \quad (23)$$

Eğer, birim hacimde N_j tane -j parçacığı varsa çarpışma sayısı dN_{ij}/dt ,

$$\frac{dN_{ij}}{dt} = N_i \cdot N_j \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{4}{3} \cdot N_i \cdot N_j \cdot (du/dz) \cdot R_{ij}^3 \quad (24)$$

Perikinetik flokülasyon içinde aynı metod kullanılır. Eşitlik 9, agregatların büyüklüğünün değişim hızı, $(k=i+j)$ $(i+j)$ çarpışmalarından dolayı agregatların açığa

çıkması ile onların diğer parçacıklarla çarpışmaları sonucu yok olmaları ile verilmektedir.

$$\frac{dN_k}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=k-1} \frac{4}{3} \cdot N_i \cdot N_j \cdot (du/dz) \cdot R_{ij}^3 - N_k \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4}{3} \cdot N_i \cdot (du/dz) \cdot R_{ik}^3 \quad (25)$$

Hız gradienti (du/dz) genellikle G sembolü ile verilmektedir. G (du/dz) 'nin üniform laminar kayma alanına uygun olmayan sistemleri belirtmek için de kullanılacaktır.

Çarpışma yarıçapı R_{ij} , ilk parçacıkların yarıçapı (r_1) 'e bağlı olabilir. Tanıma göre, birleşme kabulü de yapılırsa, bir i - parçacığın V_i Hacimi bir primer l - parçacığının hacminin i katıdır. r_i yarıçaplı bir parçacığın hacmi,

$$V_i = i \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_1^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_i^3 \quad (26)$$

$$i \cdot r_1^3 = r_i^3$$

$$R_{ij} = r_i + r_j \quad (27)$$

$$R_{ij}^3 = r_1^3 (i^{1/3} + j^{1/3})^3 \quad (28)$$

(28) eşitliğini kullanarak ve $G = \frac{du}{dz}$ koyarak (25) eşitliği parçacıkların toplam sayısı için, toplanabilir.

$$\frac{d \sum_{k=1}^{\infty} N_k}{dt} = \frac{2G \cdot r_1^3}{3} \left[\sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} N_i \cdot N_j (i^{1/3} + j^{1/3})^3 - \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} N_i \cdot N_k (i^{1/3} + k^{1/3})^3 \right] \quad (29)$$

Bütün mümkün kombinasyonlar gözönünde bulundurulduğunda k parçacıkları i- ve j- parçacıklarını bütün bölgede ihtiva edeceğinden ve eğer $i \neq j$ ise,

$$\begin{aligned} \frac{d \sum_{k=1}^{\infty} N_k}{dt} &= \frac{16 G.r_1^3}{3} \left[\sum_{k=1}^{\infty} N_k^2 \cdot k - 2 \sum_{k=1}^{\infty} N_k^2 \cdot k \right] \\ &= - \frac{16 G.r_1^3}{3} \sum_{k=1}^{\infty} N_k^2 \cdot k \end{aligned} \quad (30)$$

Negatif işaret parçacıkların toplam sayısının flokülasyon sırasında azaldığını göstermektedir.

Başlangıçta, monodisperse bir süspansiyon için, $t=0$ 'da $k=1$ ve $N_k = N_0$, (30) eşitliği basit ikinci derece eşitliği olur.

$$- \frac{dN_1}{dt} = \frac{16}{3} \cdot G.r_1^3 \cdot N_0 \quad (31)$$

Limit büyüklük bir p- parçacığı olarak belirtilebilir. Ve (29) ve (30) eşitliklerinin toplamları $i=1$, ve $j=1$ ve $k=1$ 'den p'ye gitmektedir.

(T- süresinde

$\sum_{k=1}^p N_k = N_t$, ve (30) eşitliği

$$- \frac{dN_t}{dt} = \frac{16 \cdot G \cdot r_1^3}{3} \sum_{k=1}^p N_k^2 \cdot k \quad (32)$$

(32) eşitliğindeki toplam terim, Harrisetal tarafından dört şekilde verilmiş olan bir boyut-dağılımı fonksiyonudur. Bunlar boyutları sınırlı ve sınırsız agregatların toplam sayısı ve boyutları sınırlı ve sınırsız primer parçacıkların sayısı içindir. Onlar agregat hacim fonksiyonunda kullanılmaktadırlar. \emptyset hacim fonksiyonu, (\emptyset) süspansiyonunun birim hacimdeki agregatların hacmidir.

$$\emptyset = \sum_{i=1} \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_i^3 \cdot N_i = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_1^3 \sum_{i=1} N_i \cdot i \quad (33)$$

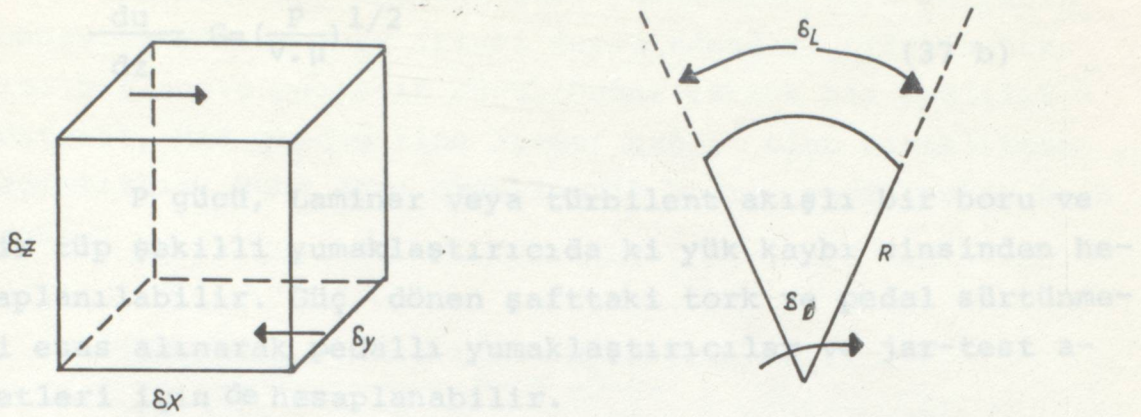
(29) ve (33) eşitlikleri kullanarak Ives ve Bhole başlangıçta monodisperse bir süspansiyon için (agregat büyüklüğüne karşı birim hacimlerin sayısı) boyut-dağılımı eğrilerini bulmuşlardır.

Üniform Olmayan Kayma:

Hız gradientinin üniform ve sabit olmadığı Poiseuille akışı veya yerin ve zamanın her ikisinin hızla değiştiği türbülent akışta olduğu gibi ortokinetik eşitliklerdeki G'nin değeri du/dz ile gösterilmez.

Üniform olmayan kayma alanındaki G'yi tanımlamak için genel olarak kabul edilen yaklaşım Lanap ve Steni tarafından yapılan yaklaşımdır. Bu yaklaşım G'yi üniform olmayan kayma akışı ile birim sıvı hacmine dağıtılan güç cinsinden hesaplanmaktadır. Kayma ile karşı karşıya kalan küçük bir sıvı elementini ($\delta x, \delta y, \delta z$ kübü) gözönüne alalım. Bu elementin kayma gerilimi τ dır (Şekil 2.5.) Kaymada bu kübe burulma işi yapılmaktadır.

$$G = \frac{\text{İş}}{\text{Zaman}} = \text{tork} \times \text{açısal hız}$$



Şekil 2.5. Üniform olmayan kayma alanında G'nin çıkarılması.

Küçük bir dönme için $\delta Q = \frac{\delta L}{R}$

Açısal Hız $= \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{R} \cdot \frac{dL}{dt} = \frac{U}{R} = \text{Hız gradienti}$ (34)

Güç P = tork x hız gradienti

$$= (\tau \cdot \delta x \cdot \delta y) \cdot \delta z \cdot \frac{du}{dz} \quad (35)$$

Hacim $V = \delta x \cdot \delta y \cdot \delta z$

$\tau \cdot \delta x \cdot \delta y = \text{Kayma kuvveti}$

$$\frac{P}{V} = \frac{du}{dz} \cdot \tau \quad (36)$$

Newton tipi bir akışkan için $\tau = \mu \frac{du}{dz}$ 'dir. Burada μ dinamik viskozitedir.

$$\frac{P}{V} = \mu \cdot \left(\frac{du}{dz} \right)^2 \quad (37 a)$$

$$\frac{du}{dz} = G = \left(\frac{P}{V \cdot \mu} \right)^{1/2} \quad (37 b)$$

P gücü, Laminer veya türbülent akışlı bir boru ve bir tüp şekilli yumaklaştırıcıda ki yük kaybı cinsinden hesaplanılabilir. Güç, dönen şafttaki tork ve pedal sürtünmesi esas alınarak pedallı yumaklaştırıcılar ve jar-test aletleri için de hesaplanabilir.

2.2.3. Perikinetik ve ortokinetik hızların karşılaştırılması

(10) eşitliği ile verilen Stokes-Einstein diffüzyon fonksiyonu eşitlik (15)'deki perikinetik hız eşitliğinde yerine konursa flokülasyon hızının parçacık büyüklüğünden bağımsız olduğu görülmektedir. (p işareti perikinetiği göstermektedir).

$$\left(\frac{dN_t}{dt} \right)_p = - \frac{4K_B \cdot T \cdot N_t^2}{3 \cdot \mu} \quad (38)$$

Buna göre, N_t , parçacıkların agregasyonundan dolayı azalırken diğer terimler verilen bir sıcaklıkta sabit olduklarında yumaklaşma hızı belirli ölçüde azalmaktadır. Brown hareketi ile kontrol edilen flokülasyonda sıcaklık ve viskozite önemlidir.

Ortokinetik yumaklaşma hız eşitliği (32) ile verilmektedir. (o işareti ortokinetiği göstermektedir)

$$\left(\frac{dN_t}{dt} \right)_o = - \frac{16 \cdot G \cdot r_l^3}{3} \sum_{k=1}^p N_k^2 \cdot k \quad (32)$$

Perikinetik eşitlik gibi yumaklaşma hızı parçacık konsantrasyonuna göre ikinci derecedendir. Ortokinetik hız, başlangıç parçacık büyüklüğüne yüksek bir bağlılık gösterir. Hız gradientine lineer bağlı olup sıcaklıktan bağımsızdır. Buna göre ortokinetik hızın, perikinetik hıza oranı,

$$\frac{(dN_t/dt)_o}{(dN_t/dt)_p} = \frac{4G \cdot \mu \cdot r_1^3}{K_B \cdot T} \sum \frac{N_k^2 \cdot k}{N_t^2} \quad (39)$$

Başlangıçta $t=0$ 'da; $N_t=N_0$; $k=1$, $N_1=N_0$

$$\frac{(dN_t/dt)_o}{(dN_t/dt)_p} = \frac{4G \cdot \mu \cdot r_1^3}{K_B \cdot T} \quad (40)$$

Ortokinetik hız, perikinetik hız'a eşit olduğu zaman,

$$r_1 = \left(\frac{K_B \cdot T}{4G \cdot \mu} \right)^{1/3} \quad (41)$$

Boltzman sabiti $K_B=1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ ve 25°C 'de $T=298^\circ\text{K}$, $\mu=0.895 \times 10^{-3} \text{ kg/m.sn}$

$$\left(\frac{K_B \cdot T}{4G \cdot \mu} \right)^{1/3} = 1.05 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1/3} \quad (42)$$

$$r_1 = 1.05 \times 10^{-6} \text{ G}^{-1/3} \text{ m}$$

$$r_1 = 1.05 \times \text{G}^{-1/3} \text{ } \mu\text{m}$$

Tablo 2.3. suda 25°C 'da farklı G değerlerinde perikinetik ve ortokinetik flokülasyonun eşit hızlarda oluşan parçacıkların μm cinsinden yarıçapını vermektedir.

Tablo 2.3. Perikinetik ve Ortokinetik flokülasyon hızları eşit olduğunda parçacıkların yarıçapı

Hız Gradienti (G_s^{-1})	1	10	20	50	100
Parçacıkların yarıçapı (μm)	1.05	0.5	0.4	0.3	0.23

Bu tablo, yarıçapı 1μ 'den küçük parçacıklar için perikinetik hızın, yarıçapı 1μ 'den büyük parçacıklar için de ortokinetik hızın etkili olacağını göstermektedir. Örneğin, $G=10 \text{ sn}^{-1}$ 'de parçacık yarıçapı 5μ 'a çıkarıldığında, ortokinetik flokülasyon, perikinetik flokülasyondan 1000 kat daha hızlı olacaktır (Eşitlik 40).

Bununla birlikte bütün durumlarda iki hızın toplanabilir olduğu kabul edilmektedir. Onun için bazı ortokinetik flokülasyon deneylerinde ortokinetik flokülasyonu gözleyebilmek için perikinetik flokülasyonun önce ölçülmesi gerekmektedir.

2.2.3.1. Yavaş yumaklaşma

Hız teorilerinin gelişiminde, her çarpışmanın agregasyonlu sonuçlandığı kabul edilmiştir. Bu kabule göre parçacıkların tümü destabilize olmaktadır. Bununla birlikte süspansiyonlar halâ kısmen kararlı halde olabilir. Ve çarpışmaların yalnız bir kesri etkilidir. Bu kesir değeri ile gösterilebilir. Ve buna göre $\alpha = 1$ 'de hızlı yumaklaşma oluşur.

Ve yumaklaşma yarılanma süresi için ilgili eşitlik (18)

$$t_{1/2} = \frac{3 \cdot \mu}{4 \cdot \alpha \cdot K_B T N_0}$$

Ortokinetik eşitlik (32)

$$-\frac{dN}{dt} = \frac{16 \cdot \alpha \cdot G \cdot r_1^3}{3} \sum_{k=1}^p N_k^2 \cdot k \quad (44)$$

Parçacıkların süspansiyonunun kısmî stabilitesine elektriksel çift tabaka ve Van der Waals kuvvetleri nedeniyle mevcut olan enerji engeli neden olmaktadır. Bu, Fuchs tarafından verilen ifadenin elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu ifade, potansiyel enerji fonksiyonunun (S) uzaklığına göre intergrasyonu ile elde edilmiştir.

$$\frac{1}{\alpha} = 2 \int_2^{\infty} \exp(V_s / K_B \cdot T) \frac{ds}{s^2} \quad (45)$$

$$s = 2d / (r_i + r_j) \quad (46)$$

Parçacıklar arası uzaklık d olduğundan, parçacıkların potansiyel etkileşme potansiyel enerjisi V_s 'dir. Enerji engelini düşürmeden ve böylece α 'yı 1'e doğru arttırmada elektrolitlerin etkileri Gregory tarafından verilmiştir. Potansiyel enerjinin max. değerine bağlı olarak bazı $1/\alpha$ hesaplamaları yapılmıştır.

$V_{\max} / (K_B T)$	5	15	25
$1/\alpha$	40	10^5	10^9

ml'de 10^9 kolloidal parçacık, m^3 de $N_0 = 10^{15}$ parçacık içeren bir süspansiyon için (Suda $25^\circ C$ 'de) $\alpha=1$ için (Hızlı yumaklaşma)

$$t_{1/2} = 1.83 \times 10^{17} / 10^{15} = 163 \text{ sn'dir.}$$

Sadece $5.K_B T$ olan max. enerji için bu yarılanma süresi yaklaşık 2 saat olmaktadır. $25.K_B T$ için yumaklaşma yarılanma süresi öyle uzundur ki süspansiyon kararlı olarak kabul edilebilir.

Yumaklaşma hızını azaltan diğer bir etken sıvı ve parçacıklar arasındaki filmin incelmesidir. Bu film laminer şartlar altında radyal olarak akmak zorundadır ve iki parçacık yüzeyinin yaklaşmasına engel olan bir viskoz rezistans oluşturur.

Diğer bir etken parçacıklar çevresindeki akım çizgilerinin eğri olmasıdır. Buna göre bozulmadan bir yönde giden akım çizgilerinin çarpışmayı sağladığı kabul edilse bile bazı parçacıklar temastan kaçarlar. Van der Waals ve Mason tarafından yapılan en yeni yayında eşit parçacıklı bir kısım çiftlerin nasıl oluşabildiklerini göstermiştir. Bu çiftler ikinci min. enerjiye tutularak birbirinin çevresinde dönmektedir veya sürekli bir temas sağlanmadan önce birkaç kez dönebilirler. Bu araştırmacıların buldukları sonuçlar göstermektedir ki, Brown hareketi ihmal edildiğinde, seyreltik küresel süspansiyonlar düşük ve yüksek sıvı kayma gradientlerinde kararsız olacaktır. Fakat aradaki değerlerde kararlıdırlar.

2.2.4. Yumak Örtüsü ve Çökelme Kinetiği

Yumak Örtüsü flokülasyonu:

Ortokinetik flokülasyonun özel bir hâli yumak örtüsü uzaklaştırılması ile verilmektedir. Hız gradientinin yükselmesini sağlayan akışkanlaştırılmış yatağa ek olarak akışkanlaştırılmış parçacıklar toplama prosesine katılmaktadırlar. Bu flokülasyon Ives (4) tarafından verilmiştir ve burada özet halinde aktarılmıştır.

Esas olarak sistemde sadece iki çeşit parçacığın bulunduğu kabul edilmektedir. Primer parçacıklar, (Hidro- liz ürünleri ve sudaki özel parçacıklar) bunların büyüklü- ğü $r_1 = r_1 < 1$ mikron ve $r_j \approx 1000$ mikron olan askıdaki yumak parçacıklarıdır. Sonuç olarak, $r_j \ll r$, ve $k \approx j$ dir. Öyleyse amaç parçacıkların ortamdan uzaklaştırılmasıdır. Yumak- laşan parçacıkların sayısı yaklaşık olarak sabit kalmakta- dır ($N_j \approx N_k = \text{Sabit}$).

$$\frac{d \sum_{k=1}^{\infty} N_k}{dt} \approx \frac{dN_1}{dt} \quad (47)$$

O zaman (29) eşitliği,

$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{2G \cdot r_1^3}{3} (N_1 \cdot N_j \cdot j - 2N_1 \cdot N_j \cdot j) \quad (48)$$

$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{2G_j \cdot r_1^3}{3} N_1 \cdot N_j \quad (49)$$

$$(29) \text{ eşitliğinde } jr_1 = r_j^3 \quad (50)$$

Eşitlik (33)'deki yumak konsantrasyonu (\emptyset) yerine yazıldığından, \emptyset akışkanlaştırılmış yataktaki hidrolik şartlardan hesaplandığı için flokülasyon proseslerinden bulunamadığından dolayı (52) eşitliği integre edilebilir-

$$\emptyset = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_j^3 \cdot N_j \quad (51)$$

$$-\frac{dN_1}{dt} = \frac{G \cdot \emptyset}{2 \pi} \cdot N_1 \quad (52)$$

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN_1}{N_1} = - \int_0^t \frac{G \cdot \emptyset}{2 \cdot \pi} dt \quad (53)$$

$$\frac{N_t}{N_0} = \exp \left(- \frac{G \cdot \emptyset \cdot t}{2 \cdot \pi} \right) \quad (54)$$

Netice olarak, yumaklaşma boyutsuz grup olan $G \cdot \emptyset \cdot t'$ den hesaplanmaktadır. Yumak örtüsünde 0.05 ile 0.2 arasında bir değer alabilen yumak hacim konsantrasyonu \emptyset teriminin varlığı G 'nin değeri düşük olduğundan ($< 5 \text{ sn}^{-1}$) böyle tesislerin başarısının sebebini göstermektedir ve alıkonma süresi t , Gt 'nin 10^4 ile 10^5 arasında olduğu yatay akışlı tesislerdeki kanatlı yumaklaştırıcılarla karşılaştırıldığında küçüktür (10-20 dak.).

2.2.4.1. Çökelme ile Yumaklaşma

Eğer süspansiyondaki parçacıklar değişik hızlarda çökeliyorlar ise, o zaman daha hızlı çöken parçacıklar daha yavaş çöken parçacıklara çarpabilirler ve dolayısıyla birleşmeye de sağlayabilirler. Agregatlar o zaman artan kütlelerinden dolayı daha hızlı çökeceklerdir.

Şekil, üniform relatif hızlı $U = V_i - V_j$, X yönünde yerçekiminin etkilediği bir sistem için kinetik esasi vermektedir. Çökelme hızı V_i Stokes kanunu ile verilmektedir. Bu kanunda bütün yumaklaşan parçacıklar laminar şartlar altında hareket etmektedir.

$$V_i = \frac{2g}{9} \cdot \frac{(\delta_i - \delta) \cdot r_1^2}{\mu} \quad (55)$$

Burada δ_i , sabit olduğu kabul edilen parçacıkların yoğunluğu ve δ , sıvı yoğunluğudur.

R_{ij} yarıçaplı silindirden geçen i - parçacıkların akışı,

$$N_i \cdot \frac{dV}{dt} = N_i \cdot \pi \cdot R_{ij}^2 \cdot u \quad (56)$$

$$N_i \cdot \frac{dV}{dt} = N_i \cdot \pi \cdot (r_i + r_j)^2 \cdot (V_i + V_j) \quad (57)$$

N_j tane j - parçacığı varsa, çarpışma hızı,

$$N_i \cdot N_j \cdot \frac{dV}{dt} = N_i \cdot N_j \cdot \pi \cdot (r_i + r_j)^2 \cdot (V_i - V_j) \quad (58)$$

$\rho_j = \rho_1 = \rho_0$ kabul ederek (sabit parçacık yoğunluğu)

$$N_i \cdot N_j \cdot \frac{dV}{dt} = N_i \cdot N_j \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot g}{9\mu} (\rho_0 - \rho) (r_i - r_j)^2 \cdot (r_i^2 - r_j^2) \quad (59)$$

$$\frac{dN_{ij}}{dt} = N_i \cdot N_j \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot g}{9\mu} (\rho_0 - \rho) (r_i - r_j)^3 \cdot (r_i - r_j) \quad (60)$$

a) Basit Hidrate İyonlar:

Parçacıkların toplam sayısının değişim hızı,

$$\begin{aligned} \frac{d \sum_{k=1}^{\infty} N_k}{dt} = & \frac{2\pi g}{9} (\rho_0 - \rho) r_1^4 \cdot \left[\sum_{j=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} N_i \cdot N_j (i^{1/3} + j^{1/3})^3 \right. \\ & (i^{1/3} - j^{1/3})^{-2} \sum_{i=2}^{\infty} \sum_{k=3}^{\infty} N_i \cdot N_k (i^{1/3} + k^{1/3})^3 \\ & \left. (i^{1/3} - k^{1/3}) \right] \quad (61) \end{aligned}$$

eğer $i > j$ ise bu eşitlik daha fazla kısaltılamaz. (Eşitlik 30'da olduğu gibi). Çünkü $i = j = k$ olduğundan hız sıfıra gitmektedir. Buna benzer olarak bu başlangıçta monodispers bir süspansiyona uygulanamaz. Çünkü bu parçacıklar aynı hızda çökecektir. Bu nedenle hiç kısmî hareket olmayacaktır. Eğer süspansiyon perikinetik flokülasyonun etkisinde ise o zaman başlangıçta monodispers olan bir süspansiyon heterodispers olacaktır ve sedimentasyon yoluyla yumak etkili olacaktır.

2.3. İnorganik Tuzlarla Flokülasyon

2.3.1. Çözeltideki iyonlar

İnorganik tuzlar suda çözüldüklerinde tuzlar iyonlarına ayrışır ve iyonlar su veya mevcut diğer çözünen maddelerle değişik reaksiyonlar verebilirler. Oluşan sulu çözeltilerin yapısı, ilave edilen tuzun kolloid stabilitesine etkisini vermektedir.

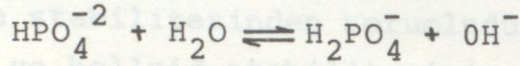
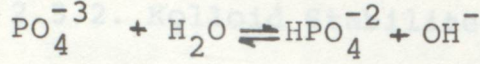
Sulu çözeltilerin mümkün olan tipleri aşağıdaki şekildedir.

a) Basit Hidrate İyonlar:

Bunlar Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} , vs. gibi iyonlardır. İyonların yüklü olması ve su molekülünün polar yapıda olmalarından dolayı iyonlar bir veya daha fazla su tabakası ile çevrilmektedirler. Sonuçta bir özel iyon ile birleşen su moleküllerinin gerçek sayısını bulmak kolay değildir ve bağlanmanın şekli, kullanılan deneysel tekniğe bağlı olabilir. Hidrasyon tabakalarının yapısı ve suyun yapısına iyonların etkisi halâ tartışma konusudur.

b) Hidroliz olan Türler:

Bunlar $MgOH^+$ ve $AlOH^{+2}$ gibi türlerdir. Bu türler genel olarak çok değerli metal iyonlarının sulu çözeltilerinde meydana gelmektedirler. PO_4^{-3} gibi iyonların hidrolizi aşağıdaki şekilde olmaktadır.



Diğer hidroliz reaksiyonları HSO_4^- ve $H_3SiO_4^-$ gibi ürünler meydana getirmektedir. $Al_8(OH)_{20}^{-4}$ ve $P_2O_7^{-4}$ gibi polimerik hidroliz ürünleri de bilinmektedir.

Hidroliz reaksiyonları H^+ ve OH^- içerdikleri için, hidrolizin derecesi büyük ölçüde çözeltinin pH'ına bağlıdır.

c) Metal-Anyon Kompleksleri:

$AlSO_4^-$, $MgSO_4$ ve $FeHPO_4^-$ gibi metal anyon komplekslerinin varolduğu bilinmektedir. Bunların bir kısmı tabii sularda oldukça yaygın olarak bulunmaktadır.

d) Metal İyonlarının organik Kompleksleri:

Fe^{+2} , sitrat, Ca^{+2} ve EDTA çok kuvvetli kompleksler oluşturmaktadırlar. Genel olarak tabii sularda bulunan humik ve fuloik asitler, organik olarak bağlı türler halinde bulunan doğal sulardaki Fe^{+3} ve bir çok metal iyonları gibi iyonlarla kompleksler oluşturmaktadırlar.

Prensip olarak; bir çözeltinin bütün bileşenlerinin konsantrasyonlarının ve ilgili bütün denge sabitlerinin bilinmesi ile her hidroliz ürününün veya kompleksinin konsantrasyonunu hesaplamak mümkün olabilecektir. Pratikte bilhassa tabii sular için gerekli bilgi halâ mevcut değildir. Ve bazı kabuller yapılmak zorundadır.

2.3.2. Kolloid Stabilitesine İyonların Etkisi

Kolloidler genellikle yüklüdürler ve bu yük kolloidlerin stabilitesinden sorumludur. Yüklü ara yüzeylerin yapısı ve kolloid stabilitesinin esasları bölüm 1. de açıklanmıştır. Esas olarak eklenen tuzlar stabilizeye iki şekilde etki edebilirler; bunlar parçacıkların etrafındaki diffüze tabakaya ve kolloid stabilitesini kontrol eden elektrokinetik potansiyeli üzerine spesifik etkide bulunabilirler. Bu etkiler tamamen ayrı değildir. Fakat daha uygun olarak ayrı ayrı incelenmektedirler.

2.3.2.1. Çift tabaka sıkışması

Yüklü bir kolloidal parçacık etrafındaki elektrik potansiyelinin Gouy-Chapman yaklaşımı ile verildiği kabul edilmektedir. Buna göre "Yüzey Potansiyeli" ψ_0 , stern düzlemindeki, ψ_a potansiyel olarak alınmaktadır. ψ_s nin düşük değerleri için taneciğe bitişik çözeltideki potansiyel stern düzleminde itibaren üstel olarak azalmaktadır. Düz bir ara yüzey için azalan potansiyel

$$Y = 2e\psi/kt$$

$$Y(x) = Y \exp(-X \cdot x)$$

(62)

Burada x stern düzleminden uzaklık ve X Debye Huckel karşılıklı uzunluk parametresidir. Bu parametre 25°C de sulu elektrolitler için aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$X=3.29 \times 10^9 (\sum c_i \cdot z_i^2)^{1/2} \text{ m}^{-1} \quad (63)$$

Burada c_i ve z_i molar konsantrasyon ve i iyonun yüküdür ve toplama işareti çözeltideki mevcut iyonların konsantrasyonlarını ve yüklerini göstermektedir.

Eşitlik (62) den görülmektedir ki $1/X$ hızı yönen karakteristیک bir uzunluktur. Bu uzunluk diffüze tabakanın kalınlığı olarak adlandırılmaktadır ve kolloid ilminde oldukça önemli bir büyüklüktür. Bu büyüklük yüklü parçacıklar arasında etkili elektriksel kuvvetlerin büyüklüğünü kontrol etmektedir. (63) eşitliğine göre, X artan konsantrasyonu ile ve çözeltideki iyonların yükü ile artmaktadır. O halde diffüze tabaka (Kalınlığı) $1/X$ konsantre tuz çözeltilerince, özellikle çok değerli iyonların bulunduğu tuz çözeltilerinde çok küçük olmaktadır. Bazı $1/X$ değerleri aşağıda verilmektedir.

<u>Çözelti</u>	<u>$1/X$ (nm)</u>
Destile Su	900
10^{-4} M NaCl	31
10^{-4} M MgSO_4	15
Thames Nehri	4
Deniz Suyu	0.4

Yüklü parçacıklar arasında hesaplanan itme kuvveti yapılan kabullere bağlıdır (Yani sabit potansiyel veya sabit yük). Fakat verilen bir parçacık arası uzaklık için, bütün teorik ifadeler göstermektedir ki itme kuvveti $1/X$ değerine kuvvetle bağlıdır. Eğer bu değer azaltılırsa (iyonik şiddetin arttırılması ile) elektriksel itme Van

der Waals çekmesinin üstün gelmesi için yeteri kadar düşürülebilir ve parçacıkların yumaklaşmasına müsaade edilir. Prensibte, bu tip destabilizasyon bir kolloidal dağılıma yeteri miktarda herhangi bir elektrolitik eklenmesi ile sağlanabilir. Sadece bu yolda hareket eden tuzlara "İndiferent Elektrolit" adı verilmektedir. Pratikte stabil bir süspansiyondan yumaklaşan süspansiyona geçiş, elektrolit konsantrasyonunun oldukça dar bir aralığında olmaktadır.

Bu verilen bir tuz için kritik flokülasyon konsantrasyonunu bulmak oldukça kolaydır. En basit teknik, aynı konsantrasyonda kolloidal parçacık içeren, fakat artan miktarda elektrolit içeren bir seri tüp hazırlamaktır. Bir süre sonra bu numunelerde kritik tuz konsantrasyonunun üstünde yumaklar görülür. Buna karşılık, bu konsantrasyonun altında az veya hiç bir değişim görülmez. Bazı amaçlar için c_f 'nin doğrudan hesaplanması tatmin edici olabilir. Genellikle en iyisi yumakları çökelmeye bırakmak ve süzölmüş çözeltinin bulanıklılığını ölçmektir. Böyle bir deneyin sonuçları Şekil 2.6.'da verilmiştir. Buradan kritik yumaklaşma konsantrasyonu gösterildiği şekilde bulunabilir.

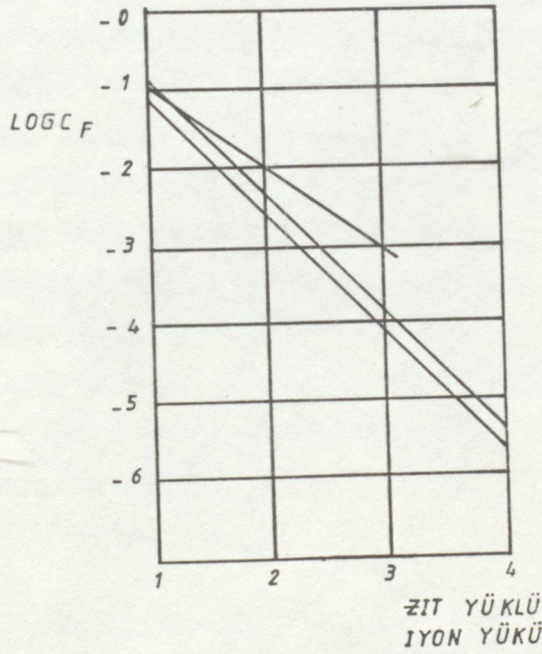
Van der Waals çekimi için çok basit ifadelerin ve simetrik (z-a) elektrolitlerdeki küresel kolloidal parçacıklar arasındaki elektriksel itmenin kullanılmasıyla kritik yumaklaşma konsantrasyonu için aşağıdaki ifadeyi çıkarmak mümkündür.

$$C_f(M) = 3.82 \times 10^{-39} \cdot (\tanh z \cdot Y_d/4)^4 / A^2 z^6 \quad (64)$$

Burada A, Hamaker sabitidir. Fakat yukarıdaki ifade düz tabakalardan çok küresel parçacıkları vermektedir.

Wervey ve Overbeck (5) yüzey potansiyelinin yüksek değerleri için $\tanh (Z \cdot Y_d/4)$ terimi, birleşme eğiliminde

Bununla birlikte bu değerler kolloidal parçacıkların yapısına bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir. (64) eşitliğine göre kritik koagülasyon konsantrasyonunun yükün altıncı (2^6) kuvvetine ters bağlılığı "Scholze-Hardy Kuralı" olarak bilinmektedir. Gerçekte, kritik flokülasyon konsantrasyonunda kolloidal parçacıkların etkili yüzey potansiyeli oldukça düşüktür. Öyle ki $1/z^6$ bağıntısı için teorik esas yoktur ve genel olarak gözlenmektedir. Amprik olarak, verilen çözelti için zıt yüklü iyon karşı $\log c_f$ işaretlendiğinde Şekil 2.7.'da görüldüğü gibi bir zgi elde edilmiştir.



Şekil 2.7. Zıt yüklü iyon yükünün fonksiyonu olarak kritik flokülasyon konsantrasyonu.

Prensipite yüksek elektrolitler için kritik flokülasyon konsantrasyonları çözelti konsantrasyonu ve parçacık büyüklüğünden bağımsız olmalıdır. Genellikle bunun böyle olduğu bulunmaktadır. Hatta bazı belirli parçacıkların büyüklük etkileri altın çözeltileri için verilmiştir.

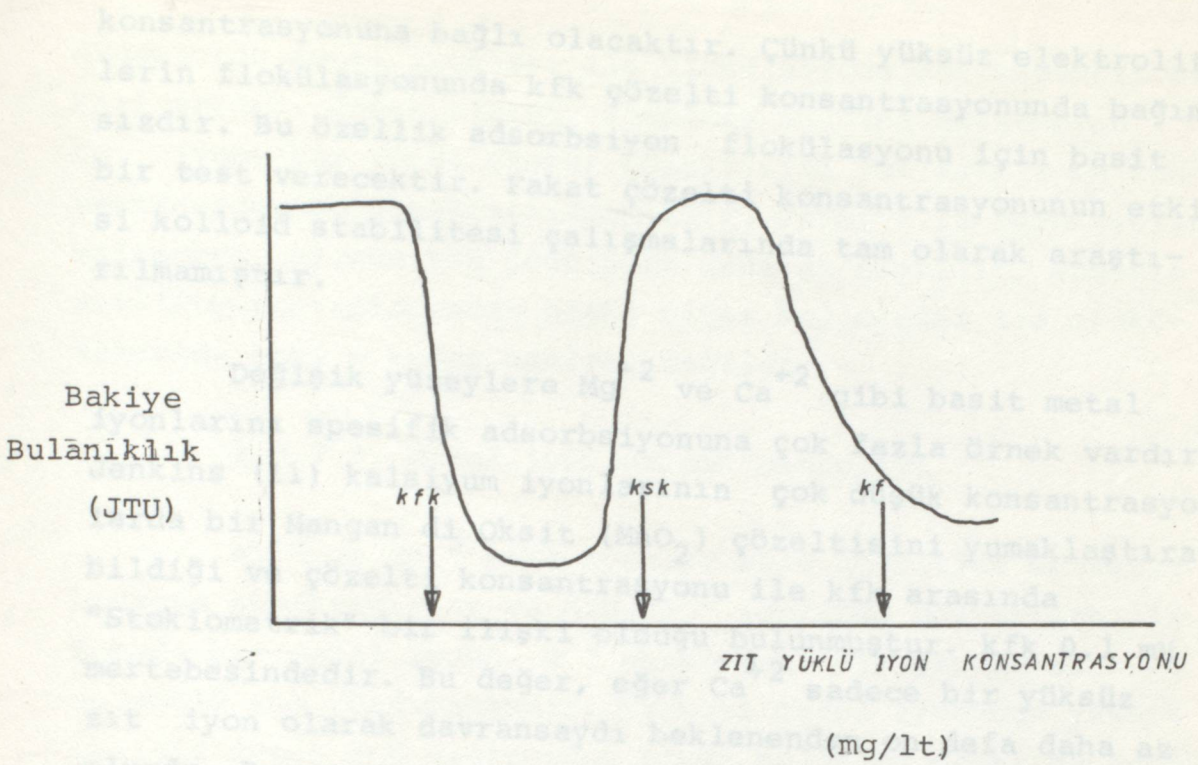
2.3.2.2. Adsorbsiyon Flokülasyonu

Zıt yüklü iyonlar kolloidal parçacık üzerine adsorbe edildiklerinde, parçacık yükü azaltılır ve flokülasyon oluşabilir. Bu genellikle "Adsorbsiyon flokülasyonu" diye adlandırılmaktadır ve bu şekilde hareket eden iyonlara spesifik olarak adsorbe edildi denmektedir. Spesifik adsorbsiyon bölüm 1.de tartışılmıştır ve elektrostatik olmayan yapının etkileşmelerinden oluştuğu kabul edilebilir. Bu elektrostatik olmayan özellikler hidrofobik bağlama Van der Waals kuvvetleri ve hidrojen bağlıdır. Spesifik adsorbsiyon için en açık delil yüklü iyonların fazlası ile muamele edildiğinde parçacıkların yüklerinin tersine dönmesidir. Zıt yüklü iyon adsorbsiyonu bağlangıçta elektrostatik adsorbsiyon tarafından müsaade edilmektedir. Fakat parçacık yükü tersine çevrildiğinde, elektrostatik itmeye karşı daha fazla zıt yüklü iyon adsorbsiyonu olur. Diğer tip bazı etkileşmenin etkili olabileceği gösterilmiştir. Yüzey aktif maddeler yükün tersine dönmesinin ve spesifik adsorbsiyonun güzel bir örneğini vermektedir.

Conner ve Ottewill (9) katyonik bir yüzey aktif maddenin (CTAB) negatif latex parçacıkları üzerine yük nötralizasyonun olduğu noktanın üstünde kantitatif olarak adsorbe edildiğini ve o naktasının ötesinde pozitif yüklü parçacıkları veren ileri adsorbsiyonun olduğunu bulmaktadır. Bu halde, yüzey aktif maddenin hidrokarbon zinciri ve latex parçalı yüzeyi arasındaki hidrofobik etkileşmeden kuvvetli adsorbsiyon ortaya çıkmaktadır.

Çok sık olarak spesifik adsorbsiyon daha zayıf etkileşmelerin sonucudur. Fakat bütün hallerde kolloid stabilitesi üzerine yapılan etki, parçacık yükü üzerindeki etki ile yakından ilgilidir. Parçacık yükü üzerindeki etki ile yakından ilgilidir. Parçacık yükünü kritik bir değere düşürmek için yeteri kadar zıt yüklü iyonlar adsorbe edildiğinde flokülasyon oluşmaktadır. Bu kritik değerinde elektriksel itme parçacıklar arası teması önleyecek derecede büyük değildir. Bu kritik değer diffüze tabaka kalınlığına ve bununla birlikte iyonik şiddete bağlı olmaktadır. Zira bu nokta üzerinde çok az deneysel veriler vardır. Zıt yüklü iyonların daha fazla adsorbsiyonu ile parçacık yükü tersine çevrilebilir ve yüzey potansiyeli parçacıkların restabilizasyonuna sebep olabilecek derecede yüksek olabilir. Flokülasyon ve restabilizasyonu meydana getirmek için gerekli olan spesifik olarak adsorbe olan zıt yüklü iyonların konsantrasyonları, kritik flokülasyon konsantrasyonu (kfk) ve kritik stabilizasyon konsantrasyonu olarak bilinmektedir. Zıt yüklü iyonların daha fazla eklenmesi ile iyonik şiddetin artmasından dolayı flokülasyon tekrar gözlenebilir (Eklenen tuzlar yüksüz elektrolitler gibi çift tabakanın sıkışmasına sebep olurlar). Buna göre, spesifik olarak adsorbe edilen zıt yüklü iyonların değişik konsantrasyonlarındaki bir seri stabilite hesaplamaları Şekil 2.8.'dekine benzer sonuçlar verebilir (kf Şekil 2.8.).

Adsorbsiyon flokülasyonunun çok önemli bir özelliği de kritik flokülasyon konsantrasyonunun ve kritik stabilizasyonunun, parçacık konsantrasyonuna bağlı olmasıdır. (Bu konsantrasyonlar tamamı ile zıt yüklü iyonların adsorbsiyonu için gerekli parçacıkların toplam yüzey alanına bağlıdır). Bu bağımlılığın içeriği adsorbsiyon şiddeti ile bulunmaktadır. Parçacık yüzeyine karşı çok yüksek affiniteli zıt yüklü iyonlar için adsorbsiyon hemen hemen kantitatifdir (Yani eklenen iyonların hepsi adsorbe edilmektedir. Çözeltide hiç iyon kalmamaktadır). Böyle bir durumda kfk



Şekil 2.8. Spesifik olarak adsorbe olan zıt yüklü iyonların kolloid stabilitesine etkileri. Şekilde flokülasyon ve restabilizasyon gösterilmektedir. Çok yüksek konsantrasyonlarda daha ileri flokülasyon bölgesi bulunabilir. (Yüksüz elektrolitlerdeki gibi).

çözelti konsantrasyonu ile orantılıdır veya yaklaşık olarak öyledir. Stumm ve O'melia (10) kfk'nın çözelti konsantrasyonuna bağımlılığını belirtmek için "Stokiyometrik" terimini kullanmıştır. Zayıf adsorbe olan iyonlar için, kritik adsorbsiyon yoğunluğunu sağlamak üzere çözelti konsantrasyonunun yeteri kadar yüksek olması gerekmektedir. Sonuç olarak kfk'nın çözelti konsantrasyonuna bağımlılığı basit değildir ve sadece çok yüksek parçacık konsantrasyonlarında doğrudan orantılılık bulunacaktır. Bununla birlikte, adsorbsiyon flokülasyonunun bütün halleri için kfk yüksüz elektrolitlerin flokülasyonunun tersi olarak parçacık

konsantrasyonuna bağılı olacaktır. Çünkü yüksüz elektrolitlerin flokülasyonunda kfk çözelti konsantrasyonunda bağımsızdır. Bu özellik adsorbsiyon flokülasyonu için basit bir test verecektir. Fakat çözelti konsantrasyonunun etkisi kolloid stabilitesi çalışmalarında tam olarak araştırılmamıştır.

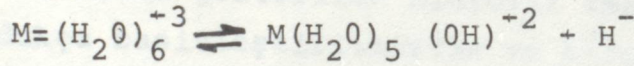
Değişik yüzeylere Mg^{+2} ve Ca^{+2} gibi basit metal iyonlarını spesifik adsorbsiyonuna çok fazla örnek vardır. Jenkins (11) kalsiyum iyonlarının çok düşük konsantrasyonlarda bir Mangan di Oksit (MnO_2) çözeltisini yumaklaştırdığı ve çözelti konsantrasyonu ile kfk arasında "Stokiyometrik" bir ilişki olduğu bulunmuştur. kfk 0.1 mM mertebesinde dir. Bu değer, eğer Ca^{+2} sadece bir yüksüz zıt iyon olarak davranıyordu beklenenden on defa daha az olurdu. Breeuwsma Lyklema (12) Baryum iyonlarının Hematit (Fe_2O_3) çözeltilerinde yükün tersine dönmesinde ve restabilizasyonuna sebep olduklarını göstermişlerdir. Bununla birlikte, gümüş tuzları ve polimerler gibi diğer bir çok kolloidler ile iki değerli metal iyonlarının yüksüz zıt yüklü iyonlar gibi hareket ettikleri görülmektedir. Metal iyonlarının kompleks oluşturmasının adsorbsiyonun davranışı ve flokülasyon üzerine kuvvetli bir etkisi olabilir. Bazı hallerde Al^{+3} ve SO_4^{-2} ihtiva eden çözeltilerde oluşan $AlSO_4$ 'de olduğu gibi kompleks oluşumu daha düşük yüklü bir iyon oluşturmakta ve yumaklaşma gücünü azaltmaktadır. Daha açık olarak $AlSO_4$ kompleksi yükünün azaltılmasından dolayı Al^{+3} dan çok daha kötü bir yumaklaştırıcıdır. Kolloid literatürü bir elektrolitin, bir diğer elektrolitin yumaklaşma etkisine karşı koymanın bir çok örneklerini ihtiva etmektedir. Bu karşı koymaların bir kısmı kompleks oluşumu ile açıklanmıştır.

Bir çok hallerde, kompleks oluşumu iyonun daha kuvvetli bir adsorbsiyonunu sağlar ve bundan dolayı daha etkili yumaklaşma meydana gelir. Bilinen organik çelat yapan

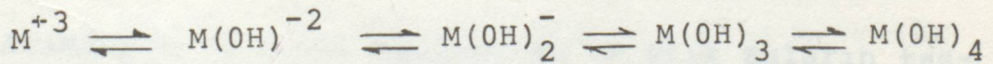
maddelerin metal iyonları ile flokülasyona çok kuvvetli etkisi vardır. Örnek olarak, kompleks meydana getirmeyen CO^{+3} iyonu bir Gümüş Bromür çözeltisini yaklaşık 1 mM konsantrasyonunda yumaklaştırmaktadır. Fakat 1.10 fenantrolin bulunması halinde kfk 1000 kere daha az olabilir. Bununla birlikte Ag tuzlarından başka diğer kolloidler ile flokülasyonda etki o kadar belirli değildir.

2.3.2.3. Metal iyonlarının hidrolizi

Al^{+3} ve Fe^{+3} gibi iyonlar sulu çözeltide kuvvetle hidrate olmaktadır ve $M(H_2O)_6^{+3}$ şeklinde gösterilebilir. Burada bir metal iyonu, M^{+3} oktahedral bir yapıda altı su molekülü ile çözünmektedir. Merkezi metal iyonunun yüksek pozitif iyonu O-H bağlarının biraz polarize olmasına sebep olur ve bir veya hidroksile olan türler vermek için, protonlarında ayrılma eğilimi vardır.



Bu denge reaksiyonu özel bir denge sabiti ile belirtilmektedir. Bu sabit metal iyonunun yapısına bağlıdır. Küçük ve fazla yüklü iyonların proton verme eğilimleri büyüktür ve bundan dolayı sulu çözeltide asidiktirler. Çözeltinin pH ve değişik denge sabitlerine bağlı olarak daha ileri dissosiasyon basamaklarının olması olasıdır, böylece (kolaylık için bağlı su moleküllerinin atılması ile)



Bu reaksiyonlardan dolayı, Al^{+3} ve Fe^{+3} gibi "basit" hidrolize olmamış iyonlar sadece sulu çözeltide oldukça

düşük pH değerlerinde bulunmaktadırlar. pH olarak arttırılırken denge yüksüz $M(OH)_3$ elde edilinceye kadar sağ tarafa doğru yürütülmektedir. Bu genellikle suda çözünmez ve jelâtimsi $Al(OH)_3$ gibi bir çökelti meydana getirebilir. Daha yüksek pH değerlerinde çökelti yüksüz $M(OH)_4^-$ iyonunun meydana gelmesi yönünden tekrar çözülebilir.

Ard arda hidroliz basamakları iyonun etkili yükünde bir azalmayı içermektedir. Metal iyonlarının hidrolizleri sonunda daha az etkili flokülant olacağını beklemek mantıklı gibi görünmektedir. Gerçekte, tam olarak anlaşılmayan sebeplerden dolayı bir metal iyonunun koordinasyon kabuğundaki hidroksil grupları ile suyun yer değiştirmesi, yüzeylere çok daha kuvvetli adsorbsiyonu sağlar. Bunların azalan yüküne karşın, hidroliz olan metal iyonları daha etkili yumaklaştırıcılar olabilirler ve yükün tersine dönmesine ve restabilizasyona sebep olabilirler.

Yukarıda gösterilen hidroliz reaksiyonlarının sırası oldukça basitleştirilmiştir ve birçok, çok çekirdekli hidroliz ürünlerinin oluşturabileceği bilinmektedir. Bu hidroliz ürünleri $Fe_2(OH)_2^{+4}$, $Fe(OH)_4^{+5}$, $Al_4(OH)_8^{+4}$ dır. Bunlar orjinal iyonlardan daha fazla yüke sahip olduklarından ve kuvvetli spesifik adsorbsiyon gösterdiklerinden çok etkili flokülantlardır. Gerçek olarak bu çok çekirdekli ürünler gerçek denge türleri değildirler. Fakat katı hidroksitlere göre kararsız olan kinetik aramaddelerdir. Bununla beraber oldukça yavaş reaksiyonlardan dolayı bunlar bazı şartlar altında çok uzun periyotlar için (gün ve hafta) çözültide bulunabilirler.

Aluminyum ve Demir tuzları su ve atık suların tasfiyesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Onların etkilerinin bir kısmı çözünebilir hidroliz ürünlerinin adsorbsiyonunu ve sonuçta parçacık yükünü azaltmaktadır. Bununla birlikte, birçok hallerde çok önemli bir etki başlangıçta

bir kolloidal dispersiyon halinde bir hidrosit çözeltisi oluşturmaktadır. Bu parçacıklar daha sonra suda orjinal olarak bulunan kolloidal parçacıkları ağlarına alan hidrosit yumaklarını oluşturmak için birleşmektedirler. Buna genellikle "Süpürge flokülasyon" denmektedir.

Özet olarak, Alüminyum Nitrat gibi bir flokülant, bir sulu çözeltiye eklendiğinde aşağıdaki durumlar meydana gelebilir.

- a) Bir yüksüz elektrolit olarak hareket eden Al^{+3} ile flokülasyon (sadece düşük pH'da).
- b) $Al_4(OH)_8^{+4}$ gibi hidroliz ürünlerinin spesifik adsorbsiyonu ile flokülasyon ve restabilizasyon
- c) Çökelen $Al(OH)_3$ ile "Süpürge" flokülasyon.

Bu ihtimallerin oluşabilme derecesi Alüminyum tuzunun konsantrasyonuna, çözeltinin son pH değerine ve parçacık konsantrasyonuna bağlıdır. Adsorbsiyonda kompleks oluşumu ve hidroliz olan metal iyonlarının çökmesi arasındaki muhtemel rekabetten, kinetik hususlar özellikle önemli olabilir. Günümüzde bu noktalarla ilgili olarak çok az bilgi vardır.

Hidroliz olan diğer metal tuzları ile de flokülasyon üzerinde çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Al^{+3} ve Fe^{+3} kine benzerdir. Bazı durumlarda tuz çözeltilerinin "Ageing=Yaşlanması" flokülasyon üzerine belirli etkide bulunabilir. Çünkü kompleks hidroliz reaksiyonlarının bir çoğu oldukça yavaştır. Birçok yüzeylere hidroliz olan türlerin kuvvetli adsorbsiyonundan dolayı kolloidal parçacıkların yapısını yumaklaşma derecesine belli bir etkisi yoktur.

2.4.1. Flokülasyon Hakkında Deneysel Metodlar ve Temel Çalışmalar (13)

Birçok temel çalışmalar flokülasyon hız teorileri ve flokülasyon hızına etki eden deneysel değişkenlere ilişkindir. Flokülasyon hız teorileri daha önce tartışılmış (Bölüm, Hız Teorileri) ve primer parçacıkların yok olma ve iki veya daha fazla parçacıklarında oluşma hızı tahmin edilmiştir. Perikinetik flokülasyon ile Brown diffüzyonunun sebep olduğu parçacık çiftlerinin oluşumu için Smolucovski esas eşitliği,

$$-\frac{dn}{dt} = \frac{8N K_B T \cdot n^2}{3\eta} \quad (65)$$

şeklindedir. Burada,

n: Birim hacimdeki primer parçacıkların sayısı

N: Avagadro sayısı

K_B : Boltzman Sabiti

T: Mutlak Sıcaklık

η : Dağılma ortamının Viskositesidir.

Bu eşitlik, hızlı perikinetik flokülasyon hızının parçacık boyutundan farklı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle sadece primer parçacıkların yok olma hızına uygulanabilirler. Ve bu ifade toplam parçacık uzaklaştırma hızının ikinci dereceden bir proses olduğunu göstermek için geliştirilebilir. O zaman koagülasyonun yarılanma süresi aşağıdaki şekilde olur;

$$t_{1/2} = \frac{3n}{4K_B \cdot T \cdot n_0} \quad (66)$$

Burada n_o , başlangıçtaki parçacık konsantrasyonudur. Koagülasyonun yarılanma süresi, mevcut parçacıkların sayısını yarıya indirmek için gerekli süredir.

300°K (27°C)'deki sulu sistemler için,

$$t_{1/2} = \frac{2 \cdot 10^{14}}{n_o} \quad (67) \text{'dir.}$$

Bu denklemde n_o , dm^3 'deki mevcut parçacıkların sayısıdır. Gözönünde bulundurulmuş flokülasyon hızları için uygun indirgenmiş bir parametre E'dir.

$$E = t/t_{1/2} = kn_o t \quad (68)$$

Bu denklemde k, ikinci derece yumaklaşma hız sabitidir..

Hız teorileri daha ileri derecelerdeki flokülasyona doğrudan uygulanamaz. Çünkü bu durumlarda kararlı veya denge halleri azalan hız sabitine yaklaşılmış olacaktır. Bundan dolayı büyük yumaklar, kendilerini kırmaya veya bozmaya yeterli hidrodinamik ve genel kuvvetlerle karşı karşıya kalabilirler. Bu durumda doğal olarak yüzen parçacıkların dışında çökme oluşacak ve perikinetik teori kesin olmayacaktır. Flokülasyon hızını araştırmak için iki yaklaşımda bulunulabilir.

a) Zamanın fonksiyonu olarak mevcut parçacıkların sayısını bulmak. Bu sadece parçacıkların toplam sayısını bularak yapılabilir.

b) Süspansiyon türbiditesi veya ışık saçılması gibi yumaklaşma derecesi ile daha fazla veya daha az ilgili olabilen agregasyon halinin özelliğini doğrudan ölçmek.

Parçacık Sayma Metodları:

Bunlar yumaklaşma hızlarını bulmada kullanılan parçacıkların boyutu ile sınırlanmaktadır. Coulter Counter ve Mikroskopi en fazla kullanılan iki tekniktir.

Coulter Counter:

Coulter Counter tüm dünyada araştırma ve kalite kontrol laboratuvarlarında bulunan en çok kullanılan parçacık boyut analizi aletlerinden biridir. Bu alet bir orifize karşı bir elektrolitin elektrik rezistansının ölçülmesi yoluyla çalışmaktadır. Ölçülen parçacıklar orifizin içinden pompalanan elektrolitte süspanse haldedir. Bir parçacık orifizin içinde olduğu zaman orifize göre potansiyel farkındaki artışın normal olarak bulunduğu elektriksel rezistansta bir artış vardır.

2.4.1.1. Deneysel metodlar-konsantre dispersiyonlar

Flokülasyonun birçok uygulamaları, katı-sıvı ayırma işlemini kolaylaştırmak için konsantre dispersiyonların arıtımı ile ilgilenmektedir.

Bir süspansiyonun (sol) destabilizasyonu genel olarak iki basamaklı bir proses gibi düşünülmektedir. Bu basamaklar, çarpışma sonucu parçacıkların birleşmesi için duyarlı hale gelmesi ve çarpışma prosesinin yumakları meydana getirmesi basamaklarıdır. Basamakların ilki esas olarak kimyasal özellikli ve ikinci basamak hidrodinamik özelliklidir. Seyreltik sistemlerde, yani su arıtımında yumaklaşma hızı, hız kontrolü için yeterli ölçüde yavaş olmalıdır. Hızı arttırmak için ortokinetik flokülasyon ve hidroliz olan tuzların özellikleri kullanılmaktadır. Konsantre sistemlerde hız önemli bir kontrol faktörü değildir. Hız belirleme etkenlerinin kompleks olmasından dolayı,

böyle iki basamaklı yaklaşım çok az uygulanabilir. Kinetik özellikler proses dizaynında önemli bir rol oynamazlar.

Konsantre dispersiyonların flokülasyonunda kullanılan laboratuvar metodları aşağıdaki şekildedir.

- a) Uzaklaştırılan özel dispersiyon için en iyi flokülantın ve kullanma şartlarının (pH, Konst., İyonik Konst., vb)
- b) Seçilen katı-sıvı ayırma aletlerinin büyüklüğünü tayin etmek için yapılan testler.

(a) için tavsiye edilen metodlar daha uygun olduğu için esas olarak alınmıştır. Buna karşılık ikinci metod genel olarak dispersiyonlar için geliştirilen klasik mühendislik dizayn test metodlarıdır.

2.4.1.1.1. Optimum Flokülasyon şartlarını belirlemek için yapılan deneyler

Stales ve Kitchenses poliakrilamid ile floritin flokülasyonunu değerlendirmek için bir çok deneysel test prosedürlerini karşılaştırmışlardır. Araştırılan değişkenler çökelme hızı, çökeltinin spesifik hacmi, süzüntünün temizlenmesi ve geri filtrasyon hızıdır. Geri filtrasyon hızı (refiltration) ve spesifik çökelti hacmi bir optimum dozun varolduğu ve fazla doz kullanılmasıyla flokülasyonun bozulduğunun açık bir göstergesini vermektedir. Çökelme hızı ve süzüntü berraklığı birleştirildiklerinde aynı şeyi göstereceklerdir. Diğer araştırmacılar buna benzer test metodları ile aynı optimal kimyasal şartların kullanılabileceğini göstermişlerdir. Fakat bu testler anlamlı bir bilgi vermezler. Zira seçilen flokülasyon prosedürü uygulama için en iyisi olmayabilir. Örnek olarak, eğer kek filtrasyonu

göz önünde bulundurulursa çok fazla sıkıştırılabilir. Filtre keki, onbeş atmosferlik bir filtre pres işleminde istenmeyen basınç/geçirgenlik karakteristikleri verebilir. Buna karşılık daha az sıkıştırılabilir bir kek daha fazla kabul edilebilir, filtrasyon karakteristikleri verebilir. Bu karakteristikler yalnız spesifik testlerle bulunabilir. Gerçekte, destabilizasyon prosedüründe kullanılan bu tür özellikle ilgili sistematik çalışma olmamıştır.

Derişik dispersiyonlar için labaratuvar teknikleri esas olarak iki tiptir.

a) Tasfiye edilen dispersiyonun çökelme karakteristikleri,

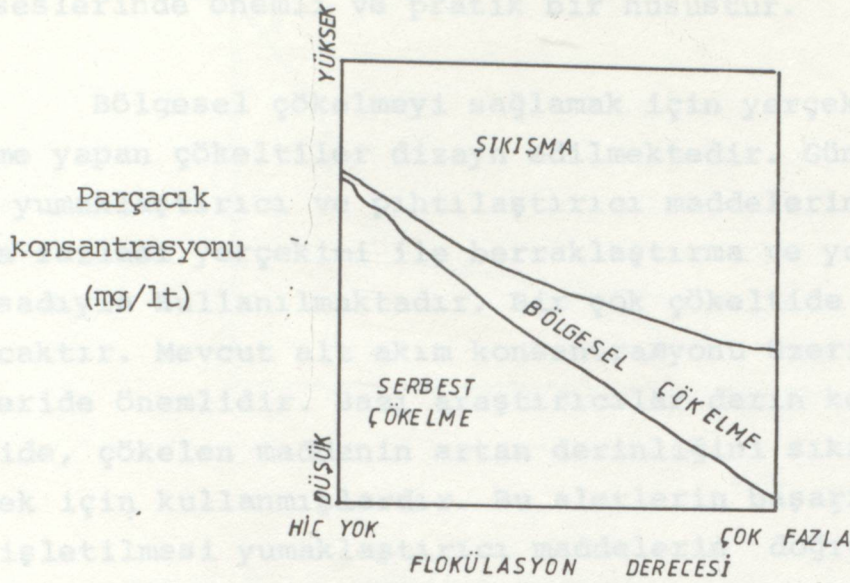
b) Parçacıkların tekinin veya yatağının geçirgenliği süspansiyonun tasfiyesine uygulanmamasına ve daha çok dispersiyon reolojisiyle ilgili olmasına karşılık dispersiyonun akım ve verim özelliklerini tayin etmek içinde testler vardır. Reversibl olarak koagüle olan sistemlerin akım ve verim özelliklerini açıklamak için teoriler mevcuttur. Fakat bu testler ireversibl köprü oluşturma flokülasyonuna uygulanmamıştır. Bu teoriler ve ilgili test metodları aşağıda tartışılacaktır.

2.4.1.1.1.1. Çökelme Esaslı Testler

Dispersiyonların çökelme davranışları Fitch'in paragenesis diyagramında çok uygun olarak özetlenmiştir. Bu diyagramda ordinat dispers fazın konsantrasyonu ve dispers parçacıkların yumaklaşma eğilimidir.

Bu diyagram üç tip davranışın varolduğunu göstermektedir.

Bazı durumlarda, bu ara yüzey süzülen sıvıdaki bakiye bulanıklık tarafından kapatılabilir. Bu olay bir çok ayırma proseslerinde önemli ve pratik bir husustur.



Şekil 2.9. Paragenesis Diyagramı.

a) Düşük konsantrasyonlarda ve kolloidal olarak kararlı yani yumaklaşmayan dispersiyonlarda izole edilen ayrık parçacık çökmesi,

b) Yüksek konsantrasyonlarda bölgesel ve çizgisel çökme,

c) Yumaklaşan sistemlerde ve sıkışmada parçacıkların, bir akışkanın içinden geçerken aralıklarla düşmeye sahip olabilmelerinden dolayı, parçacıkların fiziksel temasta bulunmaları ve üst üste gelmeleri nedeniyle parçacıkların sıkışmaları.

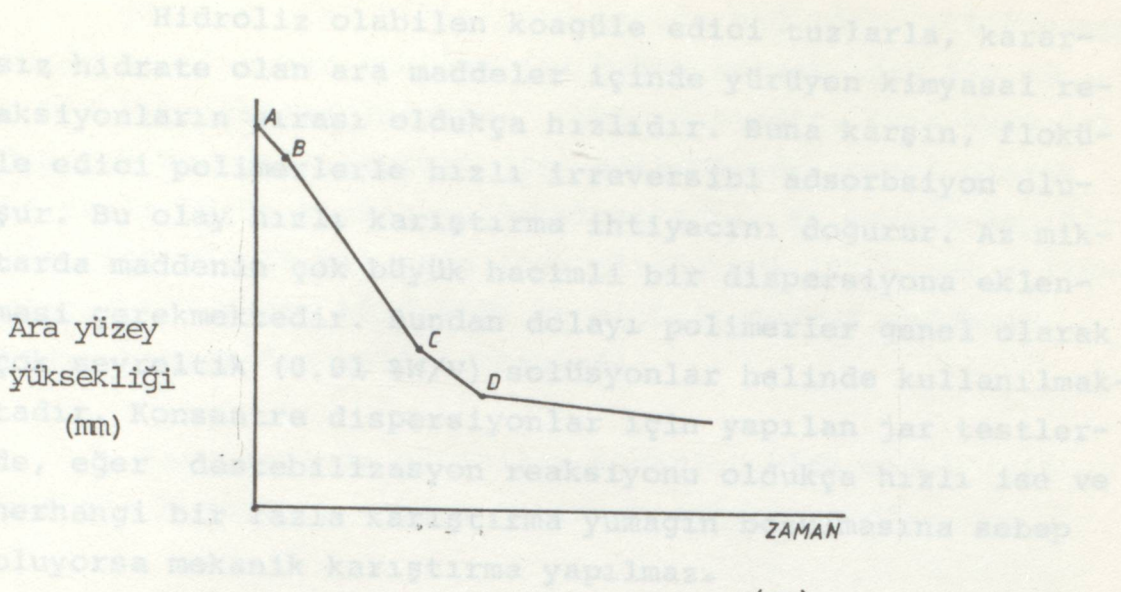
Konsantre sistemlerde biz bu olayların ikincisi ve üçüncüsü ile ilgilenmekteyiz. Çizgisel çökme, parçacık büyüklüğünden bağımsız çökme hızları olan parçacıklar tarafından karakterize edilmektedir. Yani çökelen parçacıklar ve süzüntü sıvısı arasında ayrı ara yüzey bulunacaktır.

Bazı durumlarda, bu ara yüzey süzülen sıvıdaki bakiye bulanıklık tarafından kapatılabilir. Bu olay bir çok ayırma proseslerinde önemli ve pratik bir husustur.

Bölgesel çökelmeyi sağlamak için yerçekimi ile çökeltme yapan çökelti dizayn edilmektedir. Günümüzde satılan yumaklaştırıcı ve pıhtılaştırıcı maddelerin %80'den daha fazlası yerçekimi ile berraklaştırma ve yoğunlaştırma maksadıyla kullanılmaktadır. Bir çok çökeltide sıkışma da olacaktır. Mevcut alt akım konsantrasyonu üzerine onun etkileride önemlidir. Bazı araştırmacılar derin konik çökelticide, çökelen maddenin artan derinliğini sıkışmayı teşvik etmek için kullanmışlardır. Bu aletlerin başarılı bir şekilde işletilmesi yumaklaştırıcı maddelerin doğru olarak kullanılmasına bağlıdır. Bununla birlikte sıkışabilirliğin ölçülmesi ve prosüdürlere sonuçların ilişkisi çok az dikkat çekmektedir. Klasik çökeltinin dizaynında sıkışabilirlik ilişkisi Coe ve Clevenger'in 1916'daki öncü çalışmalarından dolayı az bir ilerleme kaydetmiştir.

Kavanoz Testi; Yumaklaştırıcı maddelerin seçimi ve onların kullanılması için uygun şartların bulunmasında en yaygın metoddur. Bu deneyde silindirik şeffaf kap test edilecek süspansiyon ile doldurulmakta, yumaklaştırıcı eklenecek etkisi incelenmektedir. Seyreltik süspansiyonlar için "Kavanozlar" test periyodunun hepsi veya bir kısmında karıştırılmaktadır. Bu deneysel metodlar (2)'de tartışılmaktadır. Gözlenen parametre flokülasyonun gözle yapılan kalitatif bir değerlendirmesi olabilir. Fakat en yaygın kantitatif parametreler ara yüzeyin çökeltme hızı ve süzülen sıvının bakiye bulanıklığıdır.

Bölgesel çökeltme gösteren bir süspansiyon çökeldiği zaman elde edilen bir ara yüzey yüksekliği-zaman eğrisi Şekil 2.10.'da gösterildiği gibidir. A-B bölgesindeki gibi bir geçiş periyodu bulunabilir. Bunun arkasından sabit hız periyodu gelebilir (BC).



Şekil 2.10. Çökelme Eğrisi

Bu doğrunun eğimi, kaydedilen çökelme hızıdır. Beraklaştırıcıların dizaynında pratik değeri vardır. "İlk düşme hızı periyodu" =C-D=, Kynch teorisine göre yüksek konsantrasyonlu süspansiyonların bölgesel çökelme hızını hesaplamakta kullanılabilir. Bu bilgiden çökeltilerinin dizaynı için yararlanılabilir. Bu noktada serbest çökelme durmakta ve süspansiyon sıkışmadaki sürekli parçacık ağı olarak kabul edilmektedir.

Bazı çökeltilerinin dizayn prosedürlerinde de gerekli olan sıkışma noktasının berilenmesi çökelme eğrisinden zor olabilir. Fakat daha açık olarak $\log t$ 'ye karşı $\log H_t$ 'nin veya t 'ye karşı $\log (H_t - H_\infty)$ 'un işaretlenmesinden bulunabilir. H_t , t zamanındaki ara yüzey yüksekliği ve H_∞ , ∞ zamanındaki arayüzey yüksekliğidir. Süzüntüdeki bakiye bulanıklık Jackson veya Formozine gibi türbiditenin klasik birimlerinden biri cinsinden bulunabilir. Ve optik densimetre aracılığıyla veya ona uygun olarak ölçülebilir. Bu teknik yukarıda optik tekniklerde açıklanmıştır.

Hidrolyz olabilen koagüle edici tuzlarla, kararsız hidrate olan ara maddeler içinde yürüyen kimyasal reaksiyonların sırası oldukça hızlıdır. Buna karşın, floküle edici polimerlerle hızlı irreversible adsorbsiyon oluşur. Bu olay hızlı karıştırma ihtiyacını doğurur. Az miktarda maddenin çok büyük hacimli bir dispersiyona eklenmesi gerekmektedir. Bundan dolayı polimerler genel olarak çok seyreltik (0.01 %W/V) solüsyonlar halinde kullanılmaktadır. Konsantre dispersiyonlar için yapılan jar testlerde, eğer destabilizasyon reaksiyonu oldukça hızlı ise ve herhangi bir fazla karıştırma yumağın bozulmasına sebep oluyorsa mekanik karıştırma yapılmaz.

a) Silindirler test sırasında dikey olmalıdır.

Polivinil alkol-gümüş iyodür sistemi üzerinde yapılan ayrıntılı bir çalışmada Fleer, mümkün olduğu kadar ani karıştırmanın yapıldığı bir teknik geliştirmiştir. Dispersiyon, duran bir silindire yerleştirilmiştir ve silindir hacminin 1/3'ü dispersiyonla doldurulmuştur. Dispersiyon üzerine bu özel sistemde flokülasyon için gerekli olan bir tuz çözeltisi ve seyreltik polimer çözeltisi koyulmuştur. Bu tabakaların hepsi karıştırmadan zor bir işlemlerle üst üste konmuştur. Tüp daha sonra doldurularak tabakalar hızlı bir şekilde karıştırılmıştır. Bu metodda dispersiyonun sürekli fazında flokülantın homojen bir çözeltisi çok hızlı olarak elde edilmiştir.

Fleer tarafından araştırılan özel sistemler için flokülasyon, ikinci polimer örneği ekleninceye kadar elde edilememektedir. Fakat bu davranış pratik ve çok konsantre sistemlerde uygun değildir.

Eğer uygun bir polimerik flokülant yalnız dar konsantrasyon aralığında etkili olursa dar aralıklarda olmazsa geniş doz aralığında test yapmak gereklidir. Örneğin, süspansiyon hacmine göre 1, 3, 10, 30, 100 ppm dozlarını kullanmak uygun olabilir.

Çökelme hızı silindirin çapına bağlıdır. Aktifleşmiş çamurda, Dick; duvar etkilerinin önüne geçmek için 600 mm'lik bir kaba ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, yoğun çok kuvvetli floküle olan sistemlerde normal olarak daha fazla küçük kaplar kullanılmaktadır. En yaygın kap ölçüleri 500 ml (~50 mm) veya 1000 ml (60 mm) lik ölçüm silindirleridir. Kabın büyüklüğü genellikle mevcut maddenin miktarı tarafından belirlenmektedir.

Jar testinde güvenilir sonuçlar elde etmek için aşağıdaki hususları yerine getirmek gerekmektedir.

a) Silindirler test sırasında dikey olmalıdır.

b) Silindirler gerçekten silindirik olmalıdır.

Bir çok cam ölçme silindirlerinde taban yüzeyleri içe doğru bükülmüş ve silindirler aşağı doğru incelmış olabilir. Dikey olmayan duvarlar çökelme hızına önemli ölçüde etki edebilirler ve bir iç bükey tabanın bulunması, çökelti hacminin ölçümünü çok zorlaştıracaktır.

2.4.2. Flokülasyon Hakkında Deneysel Metodlar (14)

Bu bölüm seyreltik süspansiyonlarla ilgilidir. Akışkan haldeki süspansiyonun davranışı parçacıkların varolması ile etkilenmez. Süspansiyon, Newton tipi sıvı olarak kabul edilmektedir. Çünkü bu sıvılarda parçacıklar süspansiyon halindedirler.

Süspansiyon, perikinetik flokülasyonda kayma gerilimi uygulamada (karıştırma ve akış yoktur), deneysel olarak gözlenebilir. Ortokinetik flokülasyon, ticari işletmelerde veya bir Couette aletinde kontrol edilen kayma olduğu gibi pedallı karıştırma ile oluşturulabilirler.

Olarak Çözeltilerdeki (Süspansiyonlardaki) değişiklikler flokülasyondan dolayı genellikle türbidimetrik olarak veya gözle değerlendirilmektedir. Fakat kantitatif olarak değerlendirmek zordur. Parçacık süspansiyonlarının çok iyi incelendiği sistemler için, Couter Counting flokülasyon kinetiklerinin tesbit edilmesi için; Ancak, bununla birlikte sonuçlar özellikle parçacık boyutuna göre dikkatle incelenmelidir.

Parçacıkların stabilitesi, bu parçacıkların elektroforetik mobilitelerinin ölçümü ve elektrokinetik potansiyellerinin hesaplanmasıyla (Zeta Potansiyeli) değerlendirilebilir.

Perikinetik flokülasyon, stabil olan kolloidal bir süspansiyonda itme engelini azlatmak veya ortadan kaldırmak için elektrolizlerin ilavesi ile gerçekleştirilebilmektedir. Elektrolit çözeltilerinin eklenmesi ve karıştırılması sırasında ortokinetik flokülasyon isteniyorsa konveksiyon akımları bile ortadan kaldırılmalıdır. Kolloidal büyüklükte süspansiyonlar kullanmak, perikinetik hareketi sağlamanın en basit yoludur ($<0.1\mu$). Bu durumda küçük hız gradientleri bulunsa bile, (Hız Teorileri K.J. Ives) ortokinetik temaslar ihmal edilmektedir.

Bazı kararsız çözeltiler, mevcut konsantrasyonun düşük olmasından dolayı perikinetik olarak yavaş yumaklaşmaktadır. Bu nedenle diğer parçacıkların fazla konsantrasyonlarının eklenmesi flokülasyon kinetiğini arttırabilir. Bu arıtımında Alüminyum Sülfat'ın eklenmesi, çözünmeyen hidroliz ürünleri (Sulu Alüminyum Oksitler) oluşturmaktadır.

Buna benzer perikinetik gözlemler özel aletler gerektirmektedir. Fakat süspansiyon ve flokülant arasında hızlı teması sağlamak için özel karıştırma aletleri kullanılmıştır (Georgy ve Sheiham). Bulanıklıktaki değişimler doğal

olarak flokülasyonun ilerlediğini belirtir. Aynı şekilde nefelometri (Işık Saçılması) veya absorpsiyometri (Optik yoğunlukla ölçülen Işık geçişi) ile bulanıklıktaki değişimler değerlendirilebilir.

Mikroskopla sayma teknikleri de kullanılmıştır. Fakat bu teknikler ya karanlık aydınlatması veya elektron mikroskobu örneklerinin hazırlanmasını gerektirmektedir.

Coulter ile parçacık saymanın sonuçları daha sonra tartışılacaktır. Ama bu yöntemle yapılan ölçümlere, sadece yaklaşık 0.7 μ 'dan aşağı çaplarda görülmektedir. Bunlar, bir çok kolloidal flokülasyon çalışmaları için kullanılmaktadır.

2.4.2.1. Jar Testi (kavanoz testi)

Jar testi, hızla çökelen yumaklar elde etmek ve flokülantların verimliliğini değerlendirmek için geniş çapta kullanılmaktadır. Flokülant dozlarının eklenmesinden sonra, 5 veya 6 beher aynı anda bir hızlı karıştırma süresi boyunca karıştırılmaktadır.

Beherler, aynı süspansiyon örnekleri üzerinde farklı flokülant dozlarının, farklı pH değerlerinin, farklı flokülantların karşılaştırmalı değerlendirmesini sağlamaktadır.

Jar testi aletlerinin çoğu birbirine benzemesine karşın, mevcut standart dizaynı veya standart prosedürü yoktur. Karıştırıcının ve beherin tipik bir dizayn Şekil 2.11. de gösterilmektedir. Tipik işletme koşulları aşağıda verilmiştir.

Hızlı Karıştırma	120 dev./dak	1 dak.
Yavaş Karıştırma	40 "	15 dak.
Çökeltme	0 "	10 dak.

Burada;

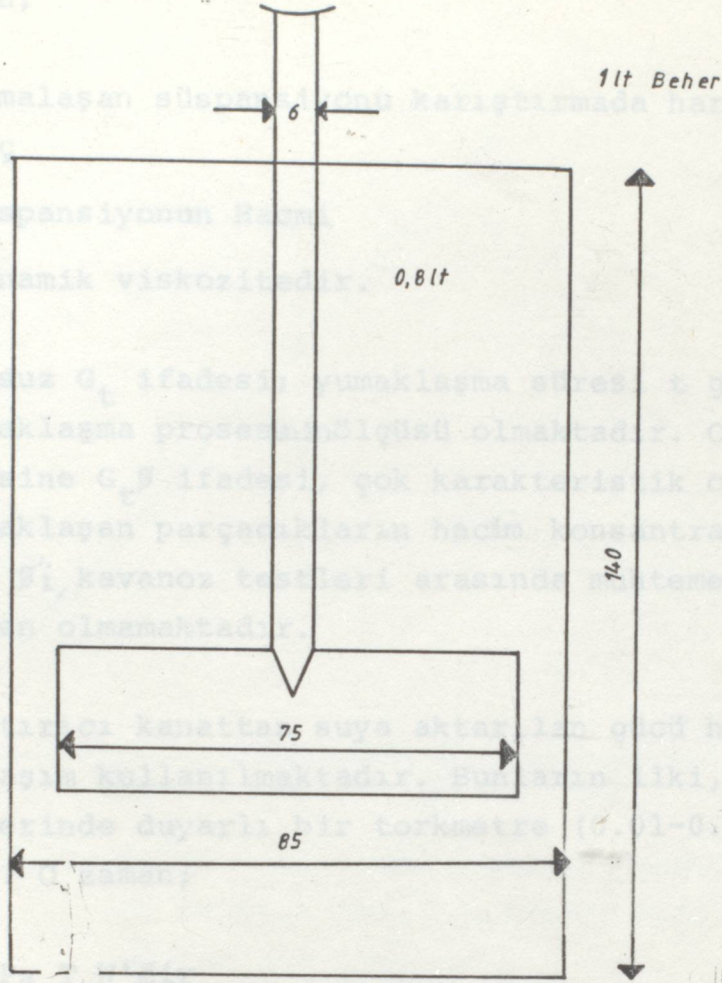
P: Yumaklaşma süspansiyonu karıştırılmada harcanan

V: Süspansiyonun hacmi

μ : Dinamik viskozitedir. 0,8 lt

Boyutsuz G_v ifadesi yumaklaşma süresi t gözönüne alınırse yumaklaşma süreci ölçülebilir olacaktır. Ortokinetik hız teorisine G_v ifadesi çok karakteristik olacaktır. Burada θ , yumaklaşma parçacıkların hacim konsantrasyonudur. Özel hallerin θ kavanoz testleri arasında temel olarak önemli bir değişim olmamaktadır.

Karıştırıcı kanatta suya aktarılan güç hesaplamak için iki yaklaşımları kullanılmaktadır. Bunların biri, karıştırıcı shaft üzerinde duralar torkmetre (1-0,2 mm) gerekmektedir.



Şekil 2.11. Tipik Jar test Karıştırıcısı.

ω : Ölçülen tork

N : dönmeye hızıdır (rad/sn).

Örnek 30 mm sabit derinlikte süzüntüden alınmıştır. Ölçümler nefelometrik olarak gerçekleştirilmiştir (90° Scatter Hach 2100 A türbidimeter calibrated FTU) .

Kavanoz aletlerini dizaynı ve işletmesinde değişmelerin olmasından dolayı karşılaştırmanın esas ortalama hız gradienti olabilir (K.J. Ives tarafından Hız Teorilerinde belirtildiği gibi)

$$G = (P/V\mu)^{1/2}$$

Burada;

P: Yumalaşan süspansiyonu karıştırmada harcanan güç

V: Süspansiyonun Hacmi

μ : Dinamik viskozitedir.

Boyutsuz G_t ifadesi; yumaklaşma süresi t gözönüne alınırsa yumaklaşma prosesinin ölçüsü olmaktadır. Ortokinetik hız teorisine $G_t \varnothing$ ifadesi, çok karakteristik olacaktır. Burada \varnothing , yumaklaşan parçacıkların hacim konsantrasyonudur. Özel hallerin \varnothing'_1 , kavanoz testleri arasında muhtemelen önemli bir değişken olmamaktadır.

Karıştırıcı kanattan suya aktarılan gücü hesaplamak için iki yaklaşım kullanılmaktadır. Bunların ilki, karıştırıcı shaftı üzerinde duyarlı bir torkmetre (0.01-0.2 Nmm) gerekmektedir. O zaman;

$$P = T_q W' \text{dir}$$

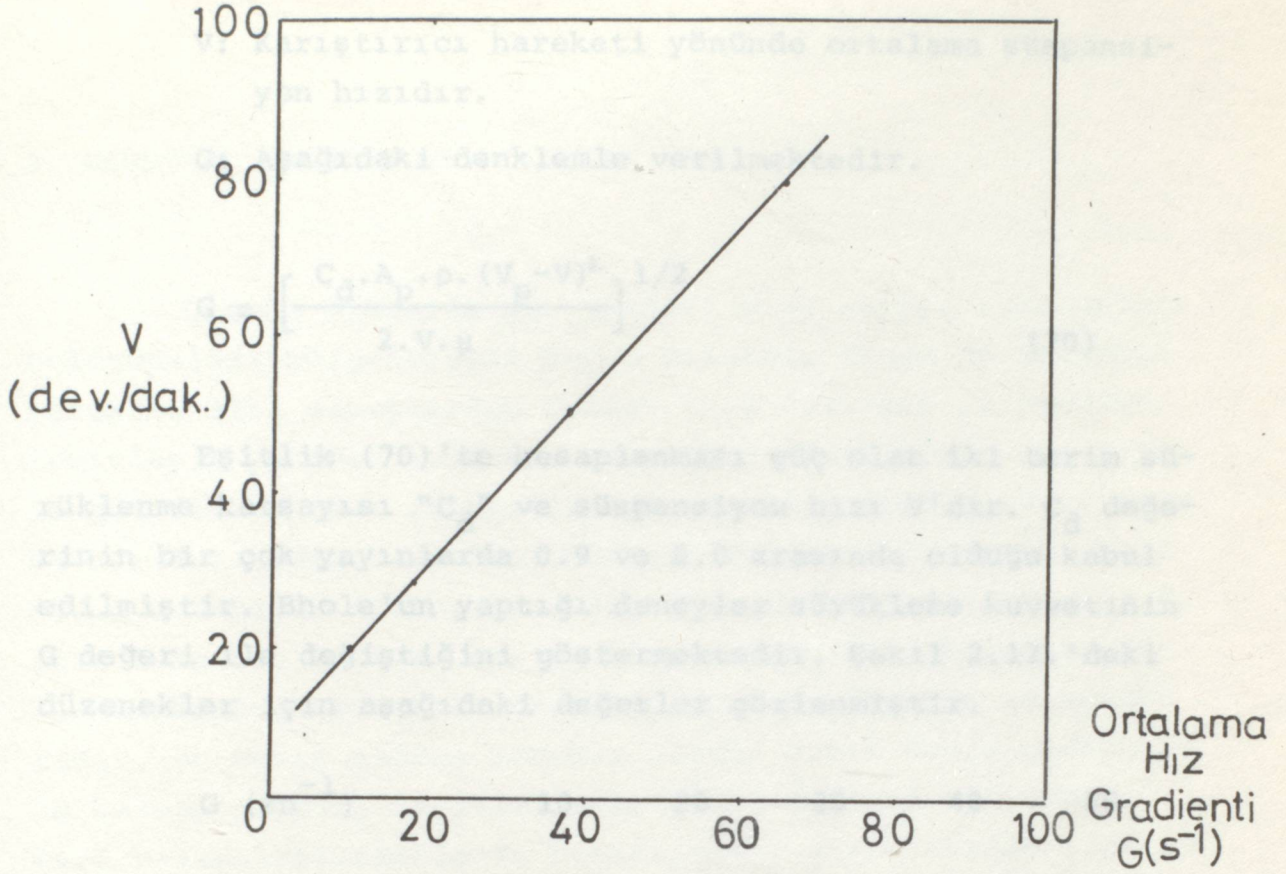
Burada;

T_q : Ölçülen Tork

W : Dönme hızıdır (rad/sn).

Bhole bu tekniği kullanarak Şekil 2.11. de gösterilen kanatlı karıştırıcıyı kalibre etmiştir.

Kalibrasyonda hız gradietleri ($G \text{ sn}^{-1}$), kanat karışım hızına karşı (dev./dak.) grafiğe geçirilmiştir (Şekil 2.12.). Bu grafikten 40 devir/dakika'nın yaklaşık $G = 25 \text{ sn}^{-1}$ 'e karşı geldiği görülmektedir. Bu kavanoz testinde tipik bir değerdir.



Şekil 2.12. Şekil 2.11.'deki kanatlı yumaklaştırıcıda değişik şaft hızlarına karşı elde edilen hız gradienti.

İkinci bir yaklaşım olarak P, süspansiyona göre kanat hızının kanat üzerindeki sürüklenme kuvveti ile çarpımından hesaplanmaktadır. Sürüklenme kuvveti; Bernoulli dinamik basıncının $(V_p - V)^2/2$, A_p alanı ve sürüklenme katsayısı ile çarpılmasıdır. Buna göre P, aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir.

$$P = C_d \cdot A_p \cdot \rho \cdot (V_p - V)^3 / 2 \quad (69)$$

Burada;

A_p : Karıştırma yönüne dik kanat alanı

V_p : Ortalama karıştırıcı hızı;

V: Karıştırıcı hareketi yönünde ortalama süspansiyon hızıdır.

3. DENEME G; Aşağıdaki denklemle verilmektedir.

$$G = \left[\frac{C_d \cdot A_p \cdot \rho \cdot (V_p - V)^3}{2 \cdot V \cdot \mu} \right]^{1/2} \quad (70)$$

Eşitlik (70)'te hesaplanması güç olan iki terim sürüklenme katsayısı " C_d " ve süspansiyon hızı V'dir. C_d değerinin bir çok yayınlarda 0.9 ve 2.0 arasında olduğu kabul edilmiştir. Bhole'un yaptığı deneyler sürüklenme kuvvetinin G değeri ile değiştiğini göstermektedir. Şekil 2.12.'deki düzenekler için aşağıdaki değerler gözlenmiştir.

G (sn ⁻¹)	10	20	30	40	50
C_d	1.18	1.20	1.13	1.02	1.94

(Daha 40 dev./dak. $G = 25 \text{ sn}^{-1}$ 'e karşı gelirken, tipik koşullar için sürüklenme katsayısı yaklaşık 1.17 dir. Süspansiyonun hızı şamandıralar, radyoaktif olarak bulunan küçük top sapmaları, elektrik veya boya metodları, sıcak film anemometresi (Rüzgar İlimi) ve relatif hız oranı (V/V_p) değerlerinin 0.25 ve 0.53 arasında olduğu belirtilmiştir. $G = 25 \text{ sn}^{-1}$ için tipik değerler Şekil 2.12.'de gösterilmiştir.

3.1. Demir Giderme Metotları

İçerik ve kullandığı sularındaki demirin giderilmesi, esas olarak görsel olarak şekillerinin çeşitli yöntemlerle oksitlenerek çözünmeyen şekillere dönüştürülmesi ve çöktürmek suretiyle uzaklaştırılmasından ibarettir. Oksidasyon hızı, pH, Alkalinite, organik madde içeriği ve ortamda okside madde olup olmamasına bağlıdır.

Demir giderme metodları şöyle sıralanabilir.

a) Havalandırma-Bekletme-Filtrasyon

3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR (15)

b) Havalandırma-Kimyasal Oksidasyon-Bekletme-Filtrasyon

Önemli miktarda su girdisi olan sanayi kuruluşları buldukları bölgelerdeki suyun yetersiz oluşu ve çevrenin korunumu gibi sebeplerden dolayı atık sularını ya tamamen temizleyip yeniden kullanma veya çevre şartlarına uygun hale getirecek kadar arıtma işlemi yapmak zorundalardır. İşte bu kuruluşlardan biriside; bünyesinde faal bir arıtma tesisinin bulunduğu Altınyıldız Kumaş ve Tekstil San. Tic. A.Ş. dir. Buradaki arıtma tesisi Kimyasal Arıtma (Koagülasyon-Flokülasyon-Çöktürme-Filtrasyon) prosesi üzerine çalışmaktadır. Bu tesis sadece konumuz olduğu üzere demir gidermekle kalmayıp belli kirliliklerde çıkan suların ayrılması, geri kazanılabileceklerin kazanılması, çevre standartlarına uydurabileceklerin uygun hale getirilmesi şeklinde çalışmaktadır. Geri kazanılacak atık sular Apre çıkış suları olup bunlar içerisinde bulanıklılığı meydana getiren bozucuların (Daha çok Organikler: Nişasta, Desktrin, Tabii ve sentetik Vakslar, Sentetik Reçine, Amonyum ve Çinko Klorür, yumuşatıcı ve ıslatıcı maddelerin) Floküle edilerek berraklaştırılması işlemi yapılmaktadır. Koyu gri renkteki atık sular türbiditesi çok düşük olarak geriye çevrilmektedir.

İşletmenin tatbik ettiği arıtma prosesi Demir giderme metodlarının üçüncüsüdür.

3.1. Demir Giderme Metodları

İçme ve kullanma sularındaki demirin giderilmesi, esas olarak çözünebilen şekillerinin çeşitli yöntemlerle oksitlenerek çözünmeyen şekillere dönüştürülmesi ve çöktürmek suretiyle uzaklaştırılmasından ibarettir. Oksidasyon hızı, pH, Alkalinite, organik madde içeriği ve ortamda okside madde olup olmamasına bağlıdır.

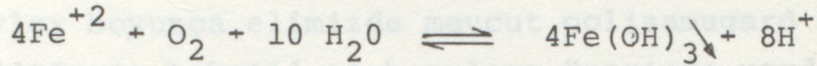
Demir giderme metodları şöyle sıralanabilir.

a) Havalandırma-Bekletme-Filtrasyon

b) Havalandırma-Kimyasal Oksidasyon-Bekletme-Filtrasyon

c) Havalandırma-Yumaklaştırma-Çöktürme-Filtrasyon

d) İyon Değişirme



Havalandırmadan amaç Fe^{+2} 'nin çözünmeyen Fe^{+3} 'e dönüştürülmesidir. Demirin oksidasyonu reaksiyondan da görüldüğü gibi pH'a bağlıdır. Çünkü $[\text{H}^+]$ iyonu konsantrasyonu azaldıkça yani pH yükseldikçe, reaksiyon hızlıdır. Demirin oksidasyon hızı pH'nın 7.5'dan daha büyük değerlerinde ve sıcaklığın artmasıyla yükselir. Demirin okside yüzdesi bekletme süresine bağlıdır. Ancak pH'ın arttırılması suretiyle oksidasyon için lüzumlu süre azaltılabilir. pH'ın yükseltilmesi kireç, soda gibi alkaliler ilavesi ile yapılmaktadır.

Havalandırılmış su, hızlı süzen kum filtrelerinden geçirilmek suretiyle oksidasyon neticesi meydana gelmiş $\text{Fe}(\text{OH})_3$ kum yatakta tutulur.

Fe^{+2} 'nin oksidasyon hızlarınının pH'a bağlı olması sebebiyle bazı hallerde oksidasyon işleminin esas koagüle edici kimyasal madde ve yardımcı koagülant madde olarak polielektrolitlerin kullanılması suretiyle hızlandırılması sağlanabilmektedir.

Bu yüzden yukarıdaki bilgilerin ışığında demir giderme tesisinin projelendirilmesi laboratuvar ve pilot tesis testleri ile yapılabilmektedir.

Çalışmalarımız böyle bir tesis projelendirilmenin ilk safhası olan laboratuvar testleri ile çok yönlü parametreler dikkate alınarak İ.T.Ü Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarındaki Jar testi düzeneğinde, Atomik Absorbsiyon ve Türbidimetri cihazlarında yapılmıştır.

Esas olarak Endüstriyel atık sularının sıcakta ve pH' ı değiştirmeksizin flokülasyonu ile temizlenmesi üzerinde durulmuştur.

Deneyler boyunca elimizde mevcut polisamugard serisi polielektrolitlerin tekstil atık suları üzerinde yardımcı koagülant madde olarak kullanılabilirliğinin kontrolü oldukça değişik değişik şartlar için yapılmıştır. Çalışmalar atık suyun içerisinde mevcut demirin giderilmesine yönelik olarak başlatıldı. Bu gidermede suda şartlar değiştirilerek; Örn: sıcaklık değişimi, pH değişimi yapılarak gözlemler alındı. Bu şartlar için demir konsantrasyonları değiştirilirken polielektrolit miktarı sabit tutuldu, aksi denendi. Sıcaklığın sabitliğine karşı demir ve polielektrolit miktarı değiştirildi. Bu arada türbiditeler her değişik şartlar için gözlemlendi. Üzerinde deneylerin yapıldığı suyun reel şartlardaki koagülasyon ile arıtmadaki optimum koagülasyon kimyasal madde tesbiti yapıldı.

3.2. Deneyler-Çalışmalar Hakkındaki Önemli Noktalar

Deneylerde giderilen demir miktarının gözlenmesi için kullanılan Atomik Absorbsiyon cihazının tamamen bana tahsisi mümkün olmadığından, (çünkü 150'yi yakın numunede demir bakma işlemi günlerce süreceğinden ve cihazın oldukça hassas olmasından) gözle görülen bir değişikliğin görüldüğü çalışmaların analizleri yapılabilmektedir.

Jar testi düzeneğinde tam bir arıtma tesisi şartları uygulanmaya çalışılmıştır. Bu sebeple;

Hızlı Karıştırma	150 dev./dak.	5 dak.
Yavaş Karıştırma	50 dev./dak.	15 dak.
Çökelme Süresi	-	30 dak.

olarak uygulanmıştır.

Deney	Fe ⁺³	Poliiektrolit	Sıcaklık	Türbidite	Fe ⁺³	Not
	(mg/lt)	(mg/lt)	(°C)	(J.T.U)	(mg/lt)	
	ilk				son	
1	0	0	22	75	-	
2	0.5	0.5	22	74	-	
3	1	1	22	74	-	
4	1.5	1.5	22	76	-	
5	2	2	22	73	-	
6	2.5	2.5	22	74	-	
7	3	3	22	75	-	

Tablo 3.2. Değişik Fe⁺³ konsantrasyonunun sabit tutularak değişik Poliiektrolit konsantrasyonlarında gözlenenler.

Deney	Fe ⁺³	Poliiektrolit	Sıcaklık	Türbidite	Fe ⁺³	Not
	(mg/lt)	(mg/lt)	(°C)	(J.T.U)	(mg/lt)	
	ilk				son	
1	0-0	0	22	81	-	
2	3-7	0.5	22	74	-	
3	3-7	1	22	84	-	
4	3-7	1.5	22	77	-	
5	3-7	2	22	77	-	
6	3-7	2.5	22	80	-	
7	3-7	3	22	78	-	

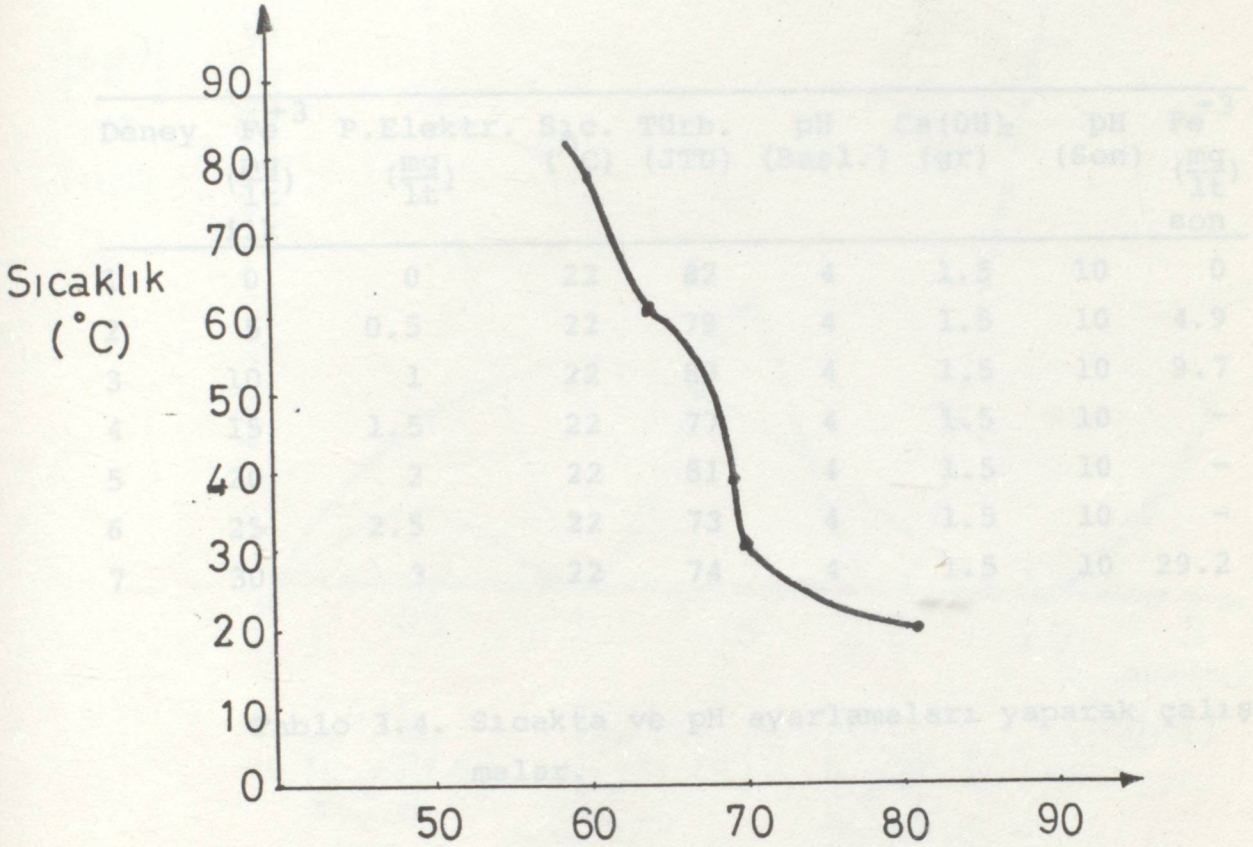
Tablo 3.1. Fe^{+3} konsantrasyonunu sabit tutarak değişen Polielektrolit konsantrasyonlarında gözlenenler.

Deney	Fe^{+3}	Polielektrolit	Sıcaklık	Türbidite	Fe^{+3}	Not
	(mg/lt)				(mg/lt)		(°C)	(J.T.U)	(mg/lt)
	ilk				son	
1	0	0	22	75	-	
2	0.5	0.5	22	74	-	
3	1	1	22	74	-	
4	1.5	1.5	22	76	-	
5	2	2	22	73	-	
6	2.5	2.5	22	74	-	
7	3	3	22	75	-	

Tablo 3.2. Değişik Fe^{+3} konsantrasyonunun sabit tutularak değişik Polielektrolit konsantrasyonlarında gözlenenler.

Deney	Fe^{+3}	Polielektrolit	Sıcaklık	Türbidite	Fe^{+3}	Not
	(mg/lt)				(mg/lt)	
	ilk				son	
1	0-0	0	22	81	-	
2	3-7	0.5	22	74	-	
3	3-7	1	22	84	-	
4	3-7	1.5	22	77	-	
5	3-7	2	22	77	-	
6	3-7	2.5	22	80	-	
7	3-7	3	22	78	-	

Tablo 3.3. Fe^{+3} konsantrasyonunu, sınımlarını genişleterek artırmaya devam edildiğinde gözlenenler.



Tablo 3.4. Sıcakta ve pH ayarlamaları yaparak çalışmalar.

Deney	Fe^{+3} (mg/l)	P. Elektr. (mg/l)	Sic. (°C)	Türb. (JTU)	pH (Başl.)	Ca(OH) ₂ (gr)	pH (Son)	Fe^{+3} (mg/l) son
1	0	0	60	73	4	0.7	7	0
2	3	0.5	60	73	4	0.7	7	4.9
3	3	1	60	74	4	0.7	7	9.7
4	3	1.5	60	79	4	0.7	9	-
5	3	2	60	82	4	0.7	7	-
6	3	2.5	60	80	4	0.7	7	-
7	3	3	60	75	4	0.7	7	2.75

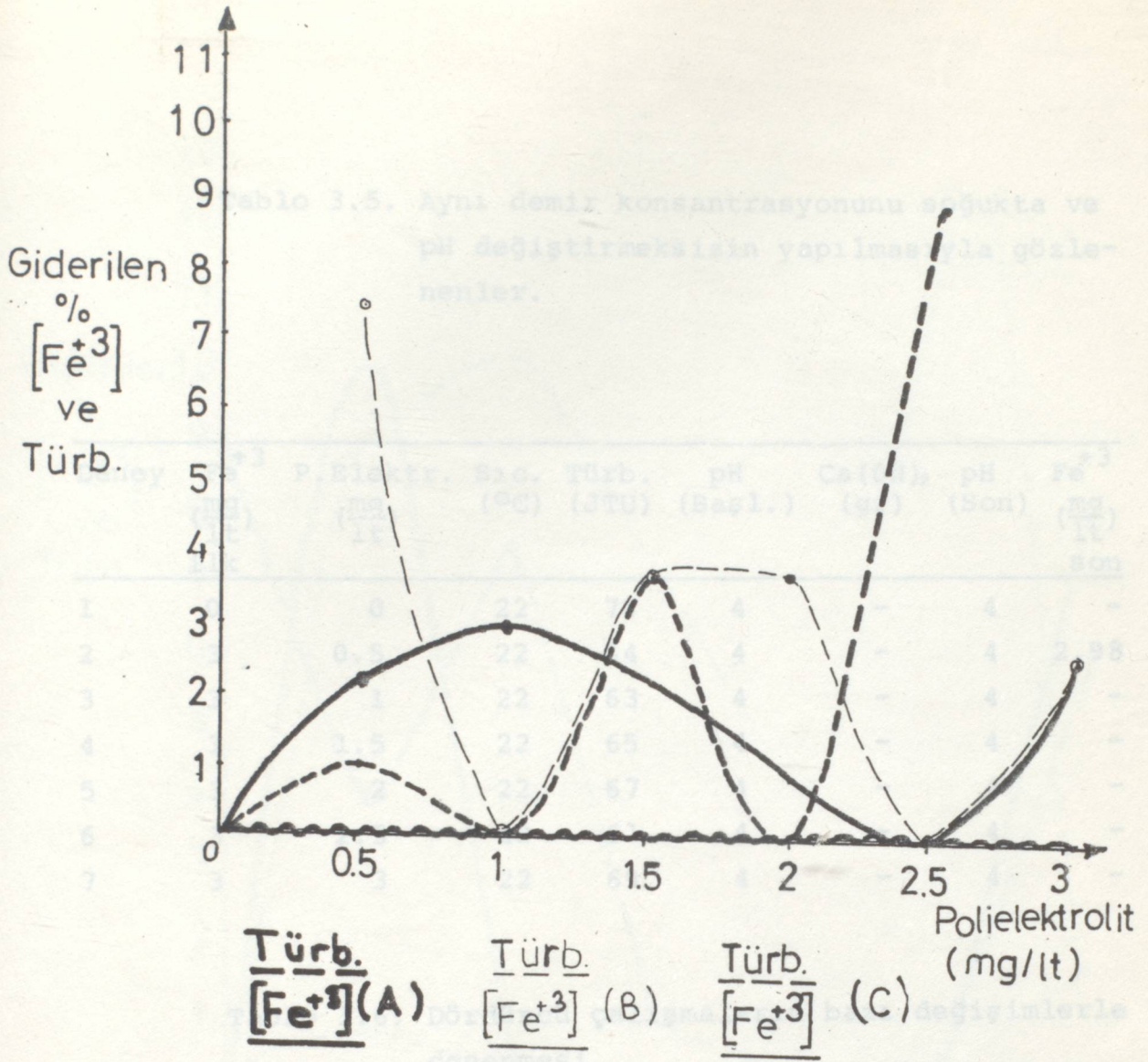
Şekil 3.1. Türbiditenin Sıcaklıkla değişimi

Tablo 3.3. Fe⁺³ konsantrasyonunu, adımlarını genişleterek artırmaya devam edildiğinde gözlenenler.

Deney	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$) ilk	P.Elektr. ($\frac{mg}{lt}$)	Sıc. (°C)	Türb. (JTU)	pH (Başl.)	Ca(OH) ₂ (gr)	pH (Son)	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$) son
1	0	0	22	82	4	1.5	10	0
2	5	0.5	22	79	4	1.5	10	4.9
3	10	1	22	80	4	1.5	10	9.7
4	15	1.5	22	77	4	1.5	10	-
5	20	2	22	81	4	1.5	10	-
6	25	2.5	22	73	4	1.5	10	-
7	30	3	22	74	4	1.5	10	29.2

Tablo 3.4. Sıcakta ve pH ayarlamaları yaparak çalışmalar.

Deney	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$) ilk	P.Elektr. ($\frac{mg}{lt}$)	Sıc. (°C)	Türb. (JTU)	pH (Başl.)	Ca(OH) ₂ (gr)	pH (Son)	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$) son
1	0	0	60	73	4	0.7	7	0
2	3	0.5	60	77	4	0.7	7	2.7
3	3	1	60	74	4	0.7	7	-
4	3	1.5	60	79	4	0.7	7	-
5	3	2	60	82	4	0.7	7	-
6	3	2.5	60	80	4	0.7	7	-
7	3	3	60	75	4	0.7	7	2.75



Şekil 3.2. (A: Tablo 3.3., B: Tablo 3.2., C: Tablo 3.1.)

Sabit Polielektrolit konsantrasyonlarında; $[Fe^{+3}]$ arttırılmasıyla gözlenenler.

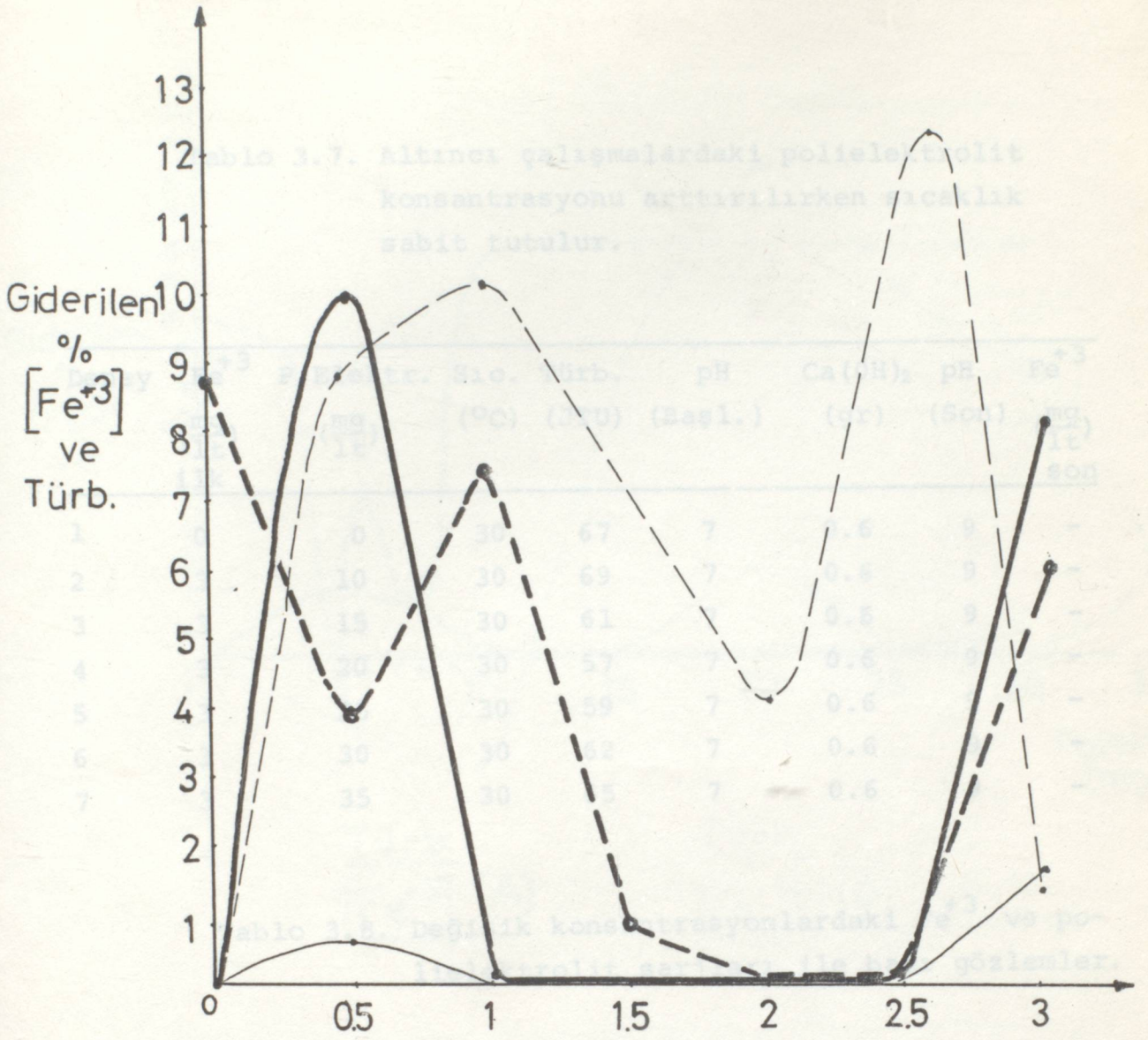
Deney	Fe^{+3} (mg/l)	P.Elektr. Sic. (mg/l)	Türb. (JTU)	pH (Başl.)	$Ca(OH)_2$ (gr)	pH (Son)	Fe^{+3} (mg/l)
1	0-0	0-0	60	7	-	7	-
2	3-5	4-5	60	7	-	7	3-4.8
3	3-5	8-10	60	7	-	7	-
4	3-5	6-15	60	7	-	7	-
5	3-5	7-20	60	7	-	7	-
6	3-5	8-25	60	7	-	7	-
7	3-5	9-30	60	7	-	7	-
8	3-5	80	22	7	-	7	4.96

Tablo 3.5. Aynı demir konsantrasyonunu soğukta ve pH değiştirmeksizin yapılmasıyla gözlenenler.

Deney	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$) ilk	P.Elektr. ($\frac{mg}{lt}$)	Sıc. (°C)	Türb. (JTU)	pH (Başl.)	Ca(OH) ₂ (gr)	pH (Son)	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$) son
1	0	0	22	70	4	-	4	-
2	3	0.5	22	64	4	-	4	2.98
3	3	1	22	63	4	-	4	-
4	3	1.5	22	65	4	-	4	-
5	3	2	22	67	4	-	4	-
6	3	2.5	22	61	4	-	4	-
7	3	3	22	69	4	-	4	-

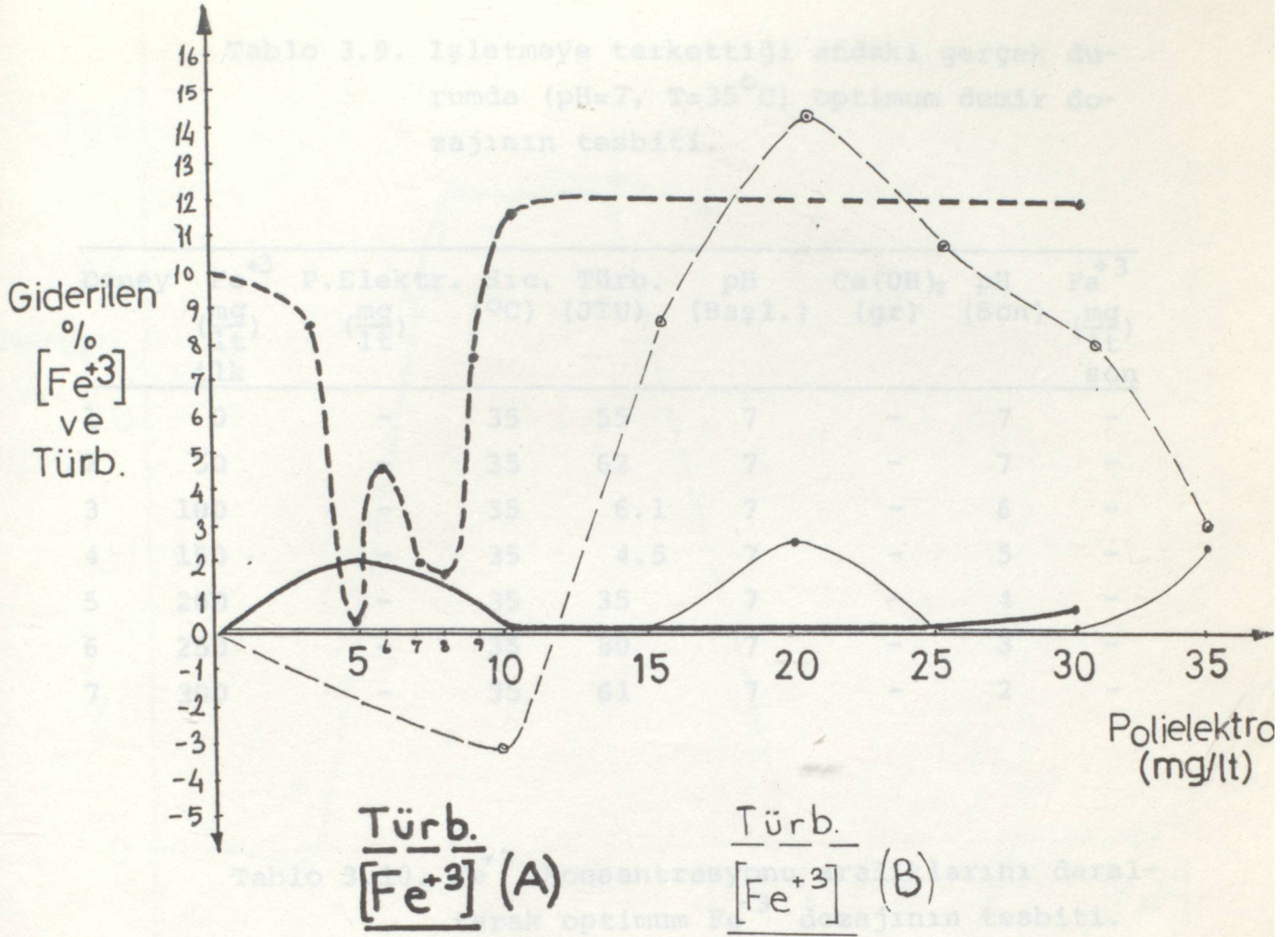
Tablo 3.6. Dördüncü çalışmaların bazı değişimlerle denenmesi

Deney	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$) ilk	P.Elektr. ($\frac{mg}{lt}$)	Sıc. (°C)	Türb. (JTU)	pH (Başl.)	Ca(OH) ₂ (gr)	pH (Son)	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$) son
1	0-0	0-0	60	63	7	-	7	0-0
2	3-5	4-5	60	64	7	-	7	3-4.9
3	3-5	5-10	60	70	7	-	7	-
4	3-5	6-15	60	67	7	-	7	-
5	3-5	7-20	60	68	7	-	7	-
6	3-5	8-25	60	69	7	-	7	-
7	3-5	9-30	60	65	7	-	7	-
8	-5	-60	22	62	7	-	7	-4.96



Deney	Fe ³⁺ (mg/l)	Türb. [Fe ³⁺] (A)	Sic. (°C)	Türb. [Fe ³⁺] (B)	Türb. [Fe ³⁺] (B)	Ca(OH) ₂ (gr)	pH (son)	Fe ³⁺ (mg/l)
1	8-12	2-2	30	67	4	0.6	9	-
2	10	2	30	69	4	0.8	9	-
3	10-10	4-5	30	61	4	0.5	9	-
4	10-10	4-5	30	57	4	0.6	9	-
5	20-20	2-3	30	59	4	0.6	9	-
6	20	2	30	52	4	0.6	9	-
7	-	-	35	55	4	0.6	9	-

Şekil 3.3. (A: Tablo 3.4., B: Tablo 3.5.) Sabit [Fe³⁺] den; değişik Polielektrolit konsantrasyonlarında iki farklı sıcaklıktaki durum.



Şekil 3.4. (A: Tablo 3.6., B: Tablo 3.7.) Sabit [Fe³⁺]’da;

Polielektroлит konsantrasyonlarının artırıl-
masıyla iki farklı sıcaklıkta gözlemler.

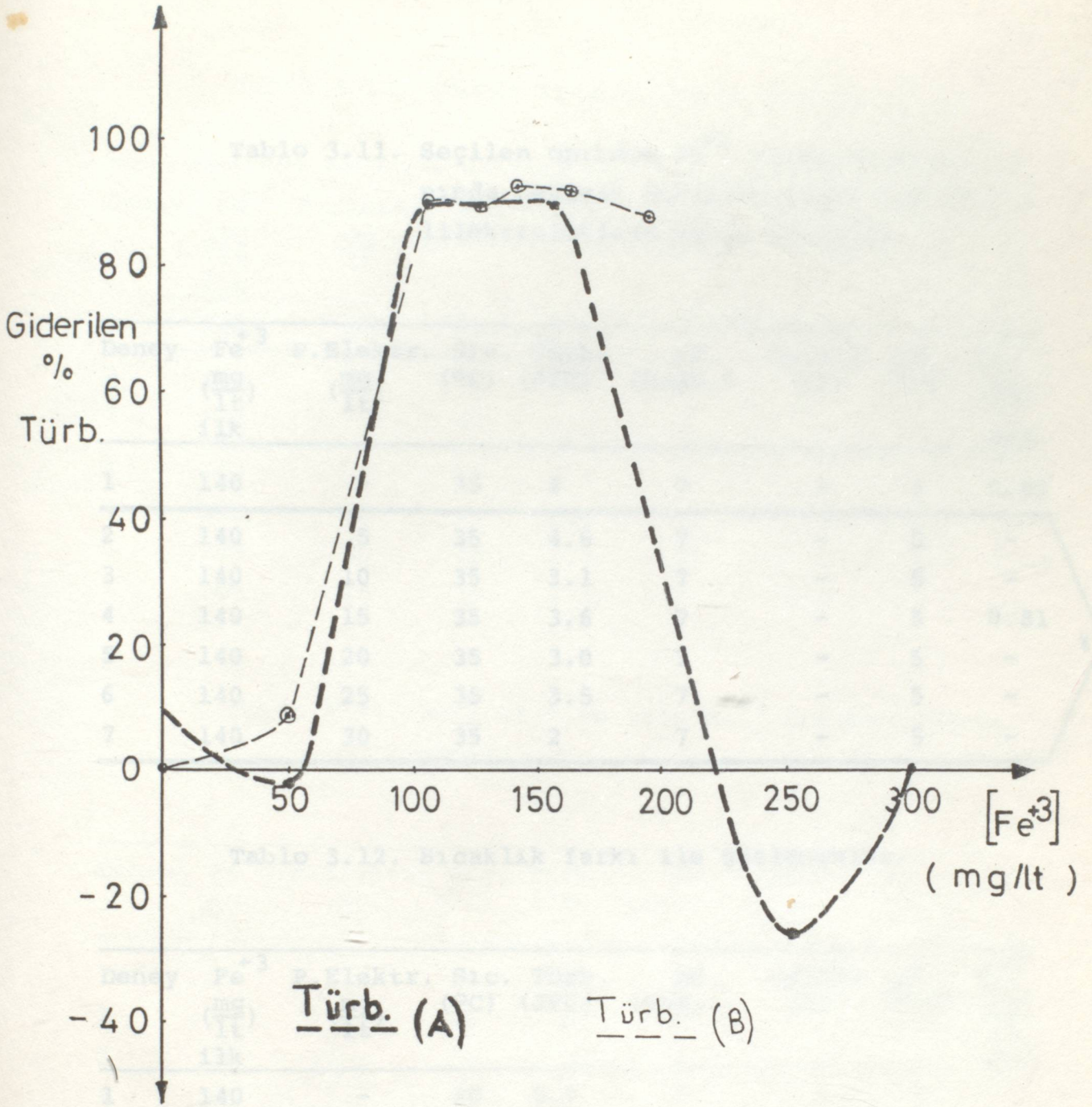
Deney	Fe ³⁺ (mg/l)	P. Elektr. (mg/l)	Sic. (°C)	Türb. (JTU)	pH (Başl.)	Ca(OH) ₂ (gr)	pH (Son)	Fe ³⁺ (mg/l)
1)	0	-	-	-	-	-	-	-
2	80	-	-	-	-	-	-	-
3	100	-	35	6.1	7	-	7	-
4	120	-	35	7	7	-	7	-
5	140	-	35	3.5	7	-	7	-
6	160	-	35	3.7	7	-	7	-
7	180	-	35	3.5	7	-	7	-

Tablo 3.9. İşletmeye terkettiği andaki gerçek durumda (pH=7, T=35°C) optimum demir dozajının tesbiti.

Deney	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$) ilk	P.Elektr. ($\frac{mg}{lt}$)	Sıc. (°C)	Türb. (JTU)	pH (Başl.)	Ca(OH) ₂ (gr)	pH (Son)	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$) son
1	0	-	35	55	7	-	7	-
2	50	-	35	62	7	-	7	-
3	100	-	35	6.1	7	-	6	-
4	150	-	35	4.5	7	-	5	-
5	200	-	35	35	7	-	4	-
6	250	-	35	80	7	-	3	-
7	300	-	35	61	7	-	2	-

Tablo 3.10. Fe⁺³ konsantrasyonu aralıklarını daraltarak optimum Fe⁺³ dozajının tesbiti.

Deney	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$) ilk	P.Elektr. ($\frac{mg}{lt}$)	Sıc. (°C)	Türb. (JTU)	pH (Başl.)	Ca(OH) ₂ (gr)	pH (Son)	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$) son
1)	0	-	35	59	7	-	7	-
2	80	-	35	27	7	-	7	-
3	100	-	35	6.1	7	-	7	-
4	120	-	35	7	7	-	7	-
5	140	-	35	3.5	7	-	7	-
6	160	-	35	3.7	7	-	7	-
7	180	-	35	7.5	7	-	7	-



Şekil 3.5. (A: Tablo 3.9., B: Tablo 3.10) Polielektrolizsiz optimum [Fe³⁺] dozajının tesbiti

Tablo 3.11. Yüksek sıcaklıklarda değişik deneyler.

Tablo 3.11. Seçilen optimum Fe^{+3} konsantrasyonu yanında değişik miktarda ilave edilen polielektrolitlere karşı sonuçlar.

Deney	Fe^{+3} ($\frac{mg}{lt}$) ilk	P.Elektr. ($\frac{mg}{lt}$)	Sıc. ($^{\circ}C$)	Türb. (JTU)	pH (Başl.)	$Ca(OH)_2$ (gr)	pH (Son)	Fe^{+3} ($\frac{mg}{lt}$) son
1	140	-	35	4	7	-	5	0.85
2	140	5	35	4.6	7	-	5	-
3	140	10	35	3.1	7	-	5	-
4	140	15	35	3.6	7	-	5	0.81
5	140	20	35	3.0	7	-	5	-
6	140	25	35	3.5	7	-	5	-
7	140	30	35	2	7	-	5	-

%100

Tablo 3.12. Sıcaklık farkı ile gözlenenler.

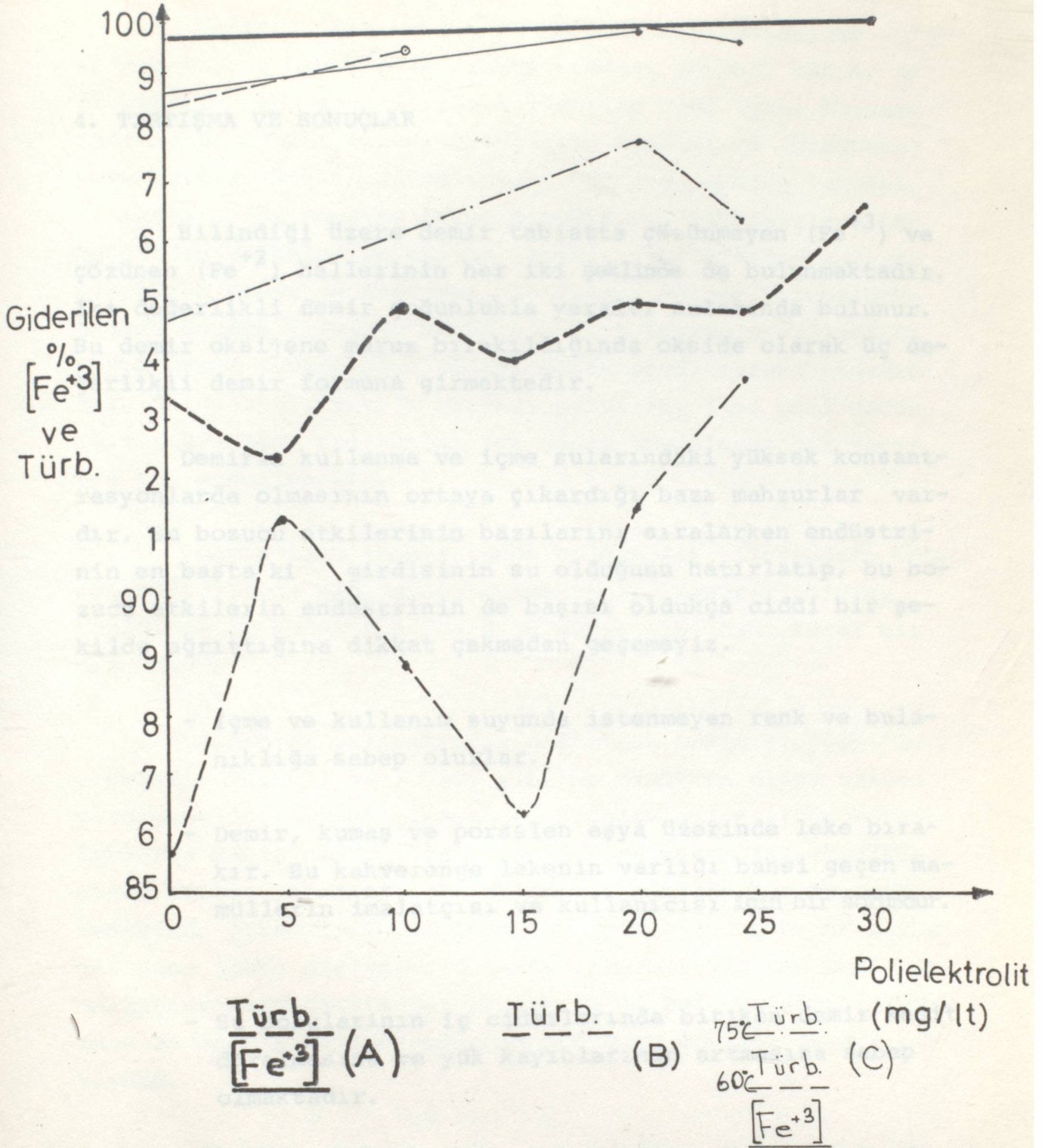
Deney	Fe^{+3} ($\frac{mg}{lt}$) ilk	P.Elektr. ($\frac{mg}{lt}$)	Sıc. ($^{\circ}C$)	Türb. (JTU)	pH (Başl.)	$Ca(OH)_2$ (gr)	pH (Son)	Fe^{+3} ($\frac{mg}{lt}$) son
1	140	-	20	8.7	7	-	5	-
2	140	5	20	5.2	7	-	5	-
3	140	10	20	6.5	7	-	5	-
4	140	15	20	8.2	7	-	5	-
5	140	20	20	4.9	7	-	5	-
6	140	25	20	3.8	7	-	5	-

Tablo 3.13. Yüksek sıcaklıklarda değişik denemeler.

Deney	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$) ilk	P.Elektr. ($\frac{mg}{lt}$)	Sıc. (°C)	Türb. (JTU)	pH (Başl.)	Ca(OH) ₂ (gr)	pH (Son)	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$) son
1	140	20	60	1.6	7	-	5	0.43
2	140	25	60	2.2	7	-	5	0.81
3	140	-	60	3.2	7	-	5	2.02
4	140	-	75	3.6	7	-	5	2.42
5	140	5	75	2.8	7	-	5	-
6	140	10	75	2.2	7	-	5	1.07
7	140	15	75	1.8	7	-	5	-

Tablo 3.14. Aynı atık su için Al⁺³ optimum dozajı seçimi.

Deney	Fe ⁺³ ($\frac{mg}{lt}$)	P.Elektr. ($\frac{mg}{lt}$)	Sıc. (°C)	Türb. (JTU)	pH (Başl.)	NaOH (gr)	pH (Son)
1	10	-	20	60	4	0.7	5.5
2	20	-	20	52	4	0.7	5
3	30	-	20	43	4	0.7	5.5
4	40	-	20	30	4	0.7	5
5	50	-	20	46	4	0.7	5
6	60	-	20	47	4	0.7	5
7	70	-	20	51	4	0.7	5



Şekil 3.6. (A: Tab 3.11., B: Tab 3.12., C: Tab 3.13) Optimum $[Fe^{+3}]$ dozajında değişik miktarda ilave edilen Polielektrolitin farklı sıcaklıklarda gösterdiği değerler.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bilindiği üzere demir tabiatta çözünmeyen (Fe^{+3}) ve çözünen (Fe^{+2}) hallerinin her iki şeklinde de bulunmaktadır. İki değerlikli demir çoğunlukla yeraltı sularında bulunur. Bu demir oksijene maruz bırakıldığında okside olarak üç değerlikli demir formuna girmektedir.

Demirin kullanma ve içme sularındaki yüksek konsantrasyonlarda olmasının ortaya çıkardığı bazı mahzurlar vardır. Bu bozucu etkilerinin bazılarını sıralarken endüstrinin en başta ki girdisinin su olduğunu hatırlatıp, bu bozucu etkilerin endüstrinin de başını oldukça ciddi bir şekilde ağrıttığına dikkat çekmeden geçemeyiz.

- İçme ve kullanım suyunda istenmeyen renk ve bulanıklığa sebep olurlar.
- Demir, kumaş ve porselen eşya üzerinde leke bırakır. Bu kahverenge lekenin varlığı bahsi geçen mamüllerin imalatçısı ve kullanıcısı için bir sorundur.
- Su borularının iç cidarlarında biriken demir kesit daralmasına ve yük kayıplarının artmasına sebep olmaktadır.

Suyun iletildiği borularda; demir bakterilerinin çoğalmasına sebep olur. Bu bakteri kütleleri borularda kesit daralmasına, ayrıca zaman zaman koparak içme suyunun kirlenmesine boru, vana, su akış ölçerleri gibi ekipmanların tıkanmasına sebep olmaktadır. Bundan başka zamanla çürüten bu bakteri türleri suya kötü bir tat ve koku vermektedir.

Sanayii için su temininde imalatta kullanılan suda-ki demir daha büyük önem arz etmektedir. Dokuma, kâğıt, deri plâstik gibi sanayilerde kullanılan suda demir konsantrasyonunun yüksek olması mamüllerin rengini ve görünüşünü bozmaktadır. Bazı gıda sektörlerinde ise mamülün renginin ve tadının değişmesine sebep olmaktadır. Popüleritesi kamuoyundan kaybolmayan arıtma işlemi, yapılmadığı takdirde çok büyük maddi ve sağlıksal faciaları netice verebilmektedir. Önceki yıllarda büyük bir ilaç firmamız kullandığı suyun demir içeriğinden dolayı büyük maddi zarara uğramıştır. İhracatını yaptığı büyükçe parti bir ilaç geri döndürülmüştür. Eğer kullanılsa idi geniş boyutlarda bir faciaya yol açabilecekti.

Scientific Basis of Flocculation",
37 - 61, 1978.

Demir için içme suyunda 0.30mg/lt civarındaki konsantrasyonlarda problemler doğmaktadır. Sanayii için su temininde bu konsantrasyon 0.10 mg/lt gibi daha küçük bir değerdedir.

S. Verwey, E.J.W. and Overbeek, J. Th. G. "Theory of The

Deneysel çalışmalarımda atık su temin ettiğim Altınyıldız Tekstil San. Tic. A.Ş.'de demir ve diğer bozucu parametreleri ortaya çıkaracağı problemleri yerinde görmek imkânına sahip oldum. Özellikle de Jar testi ile, gördüğüm pilot arıtma işlemi, Altınyıldız tekstilin kurulu arıtma tesisinde görebilmiş olmam arıtma operasyonunu somutlaştırdı. Buna ilâve olarak kurulmakta olan bir kimyasal madde imalâtçısı firmada stajyer olarak fiili çalışma demirin bozucu en önemli parametrelerden olduğunu çok iyi ortaya çıkardım.

S. Conner, P. and Ottewill, R.H. "The adsorption of cati-

Çünkü bu fabrika (Murat Kimya San. Tic. A.Ş.) imalâtını yıptırdığı bütün ekipmanlarını; sadece imalâtını yapacağı maddeye demir karışmasın diye paslanmaz çelikten yaptırttı ki, bu işletmeye ilk yatırım maliyeti olarak yaklaşık bin misli daha fazla harcama şeklinde yük getirdi.

Water Wks. Assn. 60, 514, 1968.

11. Jenkins, S.R., "Effect of Salinity on Coagulation and Adhesion to Solids", *Water Res.*, 1, 1, 1967.

KAYNAKLAR

12. Prosser, A. and Lytle, R.

1. Eroğlu, V. "Su Tasfiyesi", İ.T.Ü. İnşaat Fak. Ders Notları, 76 - 100, 1987.
2. Gölhan, M., Aksoğan, S., "Suların Arıtılması", Pimaş plâstik inşaat malzemeleri A.Ş. yayınları, Cilt 1, 92 - 103, 1970.
14. Ives, K.J., *Study of Flocculation*, *Water Res.*, 1, 1, 1967.
3. Ives, K.J., "The Scientific Basis of Flocculation", 37 - 61, 1978.
15. Eroğlu, V., "Su Tasfiyesi", İ.T.Ü İnşaat Ders Notları, 76 - 100, 1987.
4. Ives, K.J., Theory of operation of sludge blaulot classifiers, *Proc. Inst. Liv. Eng.*, 39, 243, 1968.
16. Şytkoç, E., Erincan, B., "Proses Sularında Sıvıların Arıtılması", İstanbul, 1985.
5. Verwey, E.J.W. and Overbeek, J. Th. G. "Theory of The Stability of Lyophobic Colloids", Elsevier, Amsterdam, 1948.
17. Erincan, B., "Proses Sularında Sıvıların Arıtılması", İstanbul, 1985.
6. Schulze, H., *2. Prakt. Chem.*, 25, 431, 1882.
7. Hardy, W.B., *Proc. Roy. Soc.*, 66, 110, 1900.
8. Freudlich, H., *Colloid and Capillary Chemistry* (3rd.Ed) London, 1926
9. Conner, P. and Ottewill, R.H., "The adsorption of cationic surface active agents on polystrene surface", *J. Colloid Interface Sci.*, 59, 381, 1977.
10. Stumm, W. and o'Melia, S. R., "Chemical aspects of coagulation II, Stoichiometry of coagulation", *J. Am. Water Wks. Assn.* 60, 514, 1968.

11. Jenkins, S.R., "Effect of Selected cation concentration on coagulation and adhesion to silica surface of -MnO_2 ", En. Sci. Tech., 7, 43, 1973.
12. Breeuwsma, A. and Lyklema, J., "Physical and Chemical adsorption of ions in the electrical double", J. Coll Interface sci. 57, 505, 1976.
13. Akers, R.J., The coagulation of hydrofob by Brownian motion, J. Col. Sci., 19, 621, 1964.
14. Ives, K.J., Study of flowtrough Coutte I Desing for uniform flocculation Wat. Res, 9, 1085, 1975.
15. Eroğlu, V., " Su Tasfiyesi", İ.T.Ü inşaat Ders Notları, 276 - 278, 1987.
16. Büyükkoca, E., Ergincan, N., "Proses sularında sıcakta ve kendi pH'ında Fe^{+3} iyonlarının uzaklaştırılması", Çevre '86 Sempozyumu, İzmir, 1986.
17. Ergincan, N., "Proses Sularında Sıcakta ve Kendi pH'ında Fe^{+3} iyonlarının uzaklaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1986.

ÖZGEÇMİŞ

1964 yılında Malatya'da doğdu. İlk, Orta öğrenimini Malatya'da tamamladı. Liseyi İstanbul Kabataş Erkek Lisesinde bitirdikten sonra aynı yıl (1981)'de İnönü Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1983 - 1984'de yatay geçişle geldiği İ.T.Ü. Kimya - Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünü bitirdiği yıl Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne Kimya Mühendisliği Bölümü öğrencisi olarak kayıt yaptırdı.

