



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Proses sul. sıcakta ve ph'ında
fe3 iyonu. uzakl.

Yüksek Lisans Tezi

Nihâl Erginçan

Ref
MM
50
986

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

44

PROSES SULARINDA SICAKTA ve KENDİ PH'INDA
FE⁺³ İYONLARININ UZAKLAŞTIRILMASI

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

KİM. MÜH. Nihâl ERGİNCAN

İstanbul - 1986

YILDIZ UNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

R 361

Kot

Alındığı Yer

Tarih

Fatura

Fiati

Ayniyat No

Kayıt No

UDC

Ek

: 55

: Fen Bil. Enst.

: 10/03/1989

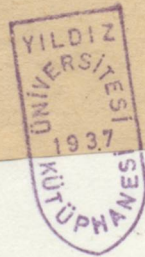
: 4500 TL

: 2/3

: 45958

: 54 378.242

:



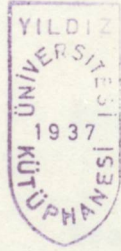
YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



PROSES SULARINDA SICAKTA VE KENDİ PH'INDA
 Fe^{+3} İYONLARININ UZAKLAŞTIRILMASI

PROSES SULARINDA SICAKTA VE KENDİ PH'INDA
 Fe^{+3} İYONLARININ UZAKLAŞTIRILMASI

55



(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

KİM. MÜH. Nihâl ERGİNCAN

İSTANBUL-1986



İÇİNDEKİLER

PROSES SULARINDA SICAKTA VE KENDİ PH'INDA Fe^{3+} İYONLARININ UZAKLAŞTIRILMASI

Sayfa No

TEŞEKKÜR	1
ÖZET	2
ABSTRACT	3
TABLO KİTAPCIĞI	4
STİL LİSTESİ	5
ÇAPRAZ LİSTESİ	10
SEMBOLE LİSTESİ	11

1. GİRİŞ

Tez Yöneticisi : Doç.Dr.Edip Büyükkoc

2. SUDAN DEMİRİN GİDERİLMESİ

2.1. Demir giderilmesinin amaçları

Tez Teslim Tarihi :

2.2. Havalandırma

2.3. Kimyasal oksidasyon

2.3.1. Klorla oksidasyon

2.3.2. Floridoksisit ile oksidasyon

2.3.3. Potasyum permanganat ile oksidasyon

2.3.4. Kireç işlemi ile oksidasyon

2.4. pH Ayarlanması

JÜRİ ÜYELERİ :



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR	
ÖZET	
ABSTRACT	
TABLO LİSTESİ	I
ŞEKİL LİSTESİ	II
GRAFİK LİSTESİ	III
SEMBOL LİSTESİ	IV
1. GİRİŞ	1
2. SUDAN DEMİRİN GİDERİLMESİ	4
2.1. Demir giderilmesinde yararlanılan ana işlemler	4
2.2. Havalandırma	5
2.3. Kimyasal oksidasyon	7
2.3.1. Klorla oksidasyon	7
2.3.2. Klor dioksitle oksidasyon	8
2.3.3. Potasyum permanganatla oksidasyon	8
2.3.4. Kireç işlemi ile oksidasyon ...	9
2.4. pH Ayarlanması	10

2.5. Katalitik Etki	11
2.5.1. Temas filtreleri	11
2.6. Koagülasyon, flokülasyon ve çö- keltme	14
2.7. Filtrasyon	14
2.8. İyon Değiştirme İşlemi	16
2.9. Kireç - soda işlemi	17
2.10. Geciktirme işlemi	18
3. KOAGÜLANTLAR VE KOAGÜLASYON	20
3.1. Tanımlar	20
3.2. Amaç	20
3.3. Kolloidlerin Özellikleri	21
3.4. Zeta Potansiyeli	23
3.5. Kolloidal Stabilite	26
3.6. Kolloid Stabilitesine İyonların Etkisi	27
3.6.1. Çift Tabaka Sıkışması	28
3.6.2. Adsorbsiyon Flokülasyonu	30
3.7. Hız Teorileri	32
3.7.1. Perikinetik Flokülasyon	32
3.7.2. Ortokinetik Flokülasyon	40
3.7.2.1. Üniform kayma alanı ...	41
3.7.2.2. Üniform olmayan kay- ma alanı	47
3.7.3. Perikinetik ve ortokinetik hız- ların karşılaştırılması	49
3.7.4. Yavaş yumaklaşma	51
3.8. Deneysel Yöntemler	53

3.8.1. Parçacık sayma yöntemleri	53
3.8.1.1. Coulter Counter	53
3.8.1.2. Optik Sayma Yön- temleri	55
3.8.2. Jar Testi	57
4. SENTETİK ELYAFLARIN, SEYRELTİK SÜSPAN- SİYONLARIN FİLTASYONUNDA KULLANIMI	61
4.1. Filtrasyonda sentetik işlenmemiş elyaflar için model	65
4.2. Seyreltik süspansiyonların ayrılma- sı için sonuçlar	77
5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR	83
5.1. Fenantrolin yöntem	83
5.1.1. 1,10 orto fenantrolinin yapısı.	83
5.1.2. Bozucu etki yapan maddeler	85
5.1.3. Saptanan minimum konsantrasyon .	85
5.1.4. Kullanılan cihaz	85
5.1.5. Kullanılan Çözeltiler	86
5.1.6. Kalibrasyon eğrisinin çizilmesi.	86
5.1.7. Fe^{3+} iyonlarının tayini	87
5.2. Yapılan deneysel çalışmalar	87
5.2.1. Poliakrilik esaslı reaktif çö- zeltisi konsantrasyonunun değişimi ile giderilen demir yüzdelerinin incelenmesi	89
5.2.1.1. Mekanik kanatlı karış- tırıcı beraberinde ya- pılan çalışmalar	89
5.2.1.2. Membran amaçlı özel el- yaf beraberinde yapı- lan çalışmalar	93

5.2.2. Yapay demir çözeltilerinin konsantrasyon değişimleriyle giderilen demir yüzdelerinin incelenmesi	97
5.2.1.1. Mekanik kanatlı karıştırıcı beraberinde yapılan çalışmalar	97
5.2.2.2. Membran amaçlı elyaf beraberinde yapılan çalışmalar	101
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	107
KAYNAKLAR	109
ÖZGEÇMİŞ	112

Tablo 5.5. 5 mgFe³⁺/lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözelti-

TABLO LİSTESİ

Tablo 5.7. 1 mgFe³⁺/lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözelti- Sayfa No

Tablo 4.1.	Şekil (4.4)'de gösterilen malzeme için simulasyonda kullanılan lif parametrelerinin ayrıntıları	71
Tablo 4.2.	Şekil (4.2)'de gösterilen sentetik elyafın ortam özellikleri ve benzetim ayrıntıları	78
Tablo 5.1.	1.10 orto fenantrolinin (monohidrat) genel özellikleri	84
Tablo 5.2.	1 mgFe ³⁺ /lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltile-riyle giderilen demir yüzdeleri	90
Tablo 5.3.	2 mgFe ³⁺ /lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltile-riyle giderilen demir yüzdeleri	91
Tablo 5.4.	3 mgFe ³⁺ /lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltile-riyle giderilen demir yüzdeleri	91
Tablo 5.5.	4 mgFe ³⁺ /lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltile-riyle giderilen demir yüzdeleri	92

Tablo 5.6.	5 mgFe ³⁺ /lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltileriyle giderilen demir yüzdeleri	92
Tablo 5.7.	1 mgFe ³⁺ /lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltileri ve özel elyaf-la giderilen demir yüzdeleri	95
Tablo 5.8.	2 mgFe ³⁺ /lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltileri ve özel elyaf-la giderilen demir yüzdeleri	95
Tablo 5.9.	3 mgFe ³⁺ /lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltileri ve özel elyaf-la giderilen demir yüzdeleri	96
Tablo 5.10.	4 mgFe ³⁺ /lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltileri ve özel elyaf-la giderilen demir yüzdeleri	96
Tablo 5.11.	5 mgFe ³⁺ /lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltileri ve özel elyaf-la giderilen demir yüzdeleri	97

- Tablo 5.12. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.02 ml reaktif eklenmesi halinde giderilen demir yüzdeleri 99
- Tablo 5.13. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.04 ml reaktif çözeltisi eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri 99
- Tablo 5.14. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.06 ml reaktif çözeltisi eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri100
- Tablo 5.15. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.08 ml reaktif eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri100
- Tablo 5.16. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.1 ml reaktif çözeltisi eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri101
- Tablo 5.17. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.02 ml reaktif çözeltisi ve özel elyaf eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri..103
- Tablo 5.18. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.04 ml reaktif çözeltisi ve özel elyaf eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri..103
- Tablo 5.19. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.06 ml reaktif çözeltisi ve özel elyaf eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri..104

Tablo 5.20. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.08 ml reaktif çözeltisi ve özel elyaf eklenmesi durumunda giderilen demir yüzde-
leri 104

Tablo 5.21. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.1 ml reaktif çözeltisi ve özel elyaf eklenmesi durumunda giderilen demir yüzde-
leri 105

Şekil 3.4. Yüksek elektrolitlerin kolloid stabilitesine etkisi 30

Şekil 3.5. Spesifik olarak adsorbe olan zıt yüklü iyonların kolloid stabilitesine etkileri 31

Şekil 3.6. ŞEKİL LİSTESİ gösterilişi 42

Şekil 3.7. Uniform olmayan kayma alanında G'nin çıkarılması Sayfa No

Şekil 3.8. Coulter Counter'in şematik gösterimi 53

Şekil 2.1. Çelikten mamul delikli tabla tipi havalandırıcı 6

Şekil 2.2. Kireç işlemi ile demir giderme tesisi 10

Şekil 2.3. İstenilen sertlikte, demir ve manganezi alınmış su temini için sodyum zeolit ve manganez zeolitin birlikte kullanılması 13

Şekil 2.4. Demir giderilmesinde çeşitli ana işlemlerin rolü 15

Şekil 3.1. Kenarıl 1 mm olan bir küb daha küçük küblere bölündüğü zaman ortaya çıkacak toplam dış yüzeyler miktarı..22

Şekil 3.2. Negatif ana yüklü bir kolloidal tane çevresindeki çift tabakanın şematik görünüşü 24

Şekil 3.3. Elektrik yüklü kolloidal hidrofilik bir taneyi saran elektrostatik alan kalınlığınca potansiyel değişimi 25

dağılımı 73

Şekil 3.4. Yüksüz elektrolitlerin kolloid stabilitesine etkisi	30
Şekil 3.5. Spesifik olarak adsorbe olan zıt yüklü iyonların kolloid stabilitesine etkileri	31
Şekil 3.6. Ortokinetik flokülasyonun şematik gösterilişi	42
Şekil 3.7. Üniform olmayan kayma alanında G'nin çıkarılması	47
Şekil 3.8. Coulter Counter'in şematik gösterimi	54
Şekil 3.9. Akımlı Ultramikroskop	56
Şekil 3.10. Tipik bir Jar testi karıştırıcısı ...	57
Şekil 4.1. Akışa dik alanda sentetik elyaf filtrenin bir kesitinin fotomikrografı ..	62
Şekil 4.2. Akışa paralel alanda sentetik elyaf filtrenin bir kesitinin elektron mikrografı	66
Şekil 4.3. Gelişigüzel dizilmiş liflerin basitleştirilmiş bir modeli	67
Şekil 4.4. Lif Tabakalarının bilgisayar benzetimleri, her tabaka için AA durumunda alınmış kesitleri	70
Şekil 4.5. Lif tabakalarına dik konumdaki bir lif kesitinin bilgisayar benzetimi ...	71
Şekil 4.6. Şekil (4.5)'deki eliptik lif kesitlerinin analizi	72
Şekil 4.7. Şekil (4.5)'de gösterilen kesitin içindeki liflerin merkez noktasının dağılımı	73

Şekil 4.8. Sentetik poliestер lif malzemesi ile bu malzemenin bilgisayar benzetimi arasındaki kıyaslama 74

Şekil 4.9. Lif tabakalarına dik konumda alınmış poliestер malzemenin kesitinin, bir bilgisayar benzetimi ile karşılaştırılması 75

Şekil 4.10. Sentetik filtre dokumasında partikül nüfuzunun ortalama partikül çapına etkisi 80

Şekil 4.11. Sentetik filtre dokumasında partikül nüfuzunun partikül boyut dağılımına etkisi 81

Beraberinde, farklı konsantrasyonlarda poliakrilik esaslı reaktif ilavesiyle giderilen demir yüzdeleri 94

Grafik 5.3. Sabit konsantrasyondaki yapay demir çözeltilerine özel alyaf beraberinde farklı konsantrasyonlarda poliakrilik esaslı reaktif ilavesiyle giderilen demir yüzdeleri 98

Grafik 5.4. Farklı konsantrasyonlardaki yapay demir çözeltilerinin mekanik konsantrasyonda poliakrilik esaslı reaktif ilavesiyle giderilen demir yüzdeleri 102

Grafik 5.5. Farklı konsantrasyonlardaki yapay demir çözeltilerine özel alyaf beraberinde sabit konsantrasyonda poliakrilik esaslı reaktif ilavesiyle giderilen demir yüzdeleri 106

GRAFİK LİSTESİ

Sayfa No

- Grafik 5.1. Demir tayini için kalibrasyon eğrisi 88
- Grafik 5.2. Sabit konsantrasyondaki yapay demir çözeltilerine mekanik karıştırıcı beraberinde, farklı konsantrasyonlarda poliakrilik esaslı reaktif ilavesiyle giderilen demir yüzdeleri 94
- Grafik 5.3. Sabit konsantrasyondaki yapay demir çözeltilerine özel elyaf beraberinde farklı konsantrasyonlarda poliakrilik esaslı reaktif ilavesiyle giderilen demir yüzdeleri98
- Grafik 5.4. Farklı konsantrasyonlardaki yapay demir çözeltilerinin mekanik kanatlı karıştırıcı beraberinde sabit konsantrasyonda poliakrilik esaslı reaktif ilavesiyle giderilen demir yüzdeleri102
- Grafik 5.5. Farklı konsantrasyonlardaki yapay demir çözeltilerine özel elyaf beraberinde sabit konsantrasyonda poliakrilik esaslı reaktif ilavesiyle giderilen demir yüzdeleri106

SEMBOL LİSTESİ

- C_i : i iyonunun molar konsantrasyonu
 Z_i : i iyonunun yükü
 d : Parçacıkların merkezleri arasındaki uzaklık
 D_i : i parçacığı için yayınma katsayısı
 g : Yerçekimi ivmesi
 G : Hız gradienti
 i : i çeşit parçacığın işareti
 j : j çeşit parçacığın işareti
 k : i ve j parçacıklarının agregasyonu ile oluşan parçacığın işareti
 K_B : Boltzmann sabiti (1.38×10^{-23})
 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 işareti
 P : Sıvı hareketinde harcanan güç
 Q : Hız gradienti nedeniyle sıvı akışı

r : Bir kollektörün merkezden olan uzaklığı
 r_i : Bir i parçacığının yarıçapı
 r_j : Bir j parçacığının yarıçapı
 R : Rotasyonal kaymadaki sıvının küçük bir bölümünün yarıçapı
 R_{ij} : i ve j parçacıklarının etkileşme yarıçapı
 s : Potansiyel enerji fonksiyonundaki uzaklık terimi
 t : Potansiyel enerji fonksiyonundaki uzaklık terimi
 T : Mutlak sıcaklık
 u : Yerel akışkan hızı
 V_i : Bir i parçacığının Stokes hızı
 V_j : Bir j parçacığının Stokes hızı
 V : Sıvı hacmi
 V_i : Bir i parçacığının hacmi
 V_s : s uzaklığındaki potansiyel enerji
 x : j parçacığının merkezinden X doğrultusunda uzaklık
 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 parçacık yoğunluğu
 τ : Sıvıdaki kayma gerilimi
 ϕ : Birim sıvı hacmindeki yumak hacmi

ÖZET

TEŞEKKÜR

Tez çalışma konumu veren bölüm başkanımız sayın Prof. Dr. Salih Dinçer'e, çalışmalarımı yönlendiren ve her aşamasında bana yardımcı olan tez yöneticim, sayın Doç. Dr. Edip Büyükkoca'ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve fikirlerini esirgemeyen sayın Yrd. Doç. Dr. Abdülrezzak Bozdoğan ve araştırma görevlisi Şerif Çil'e teşekkür ederim.

Tüm öğrenim yaşamında olduğu gibi tez çalışmaları sırasında da bana her tür yardım ve desteği sağlayan aile büyüklerime de teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Çeşitli endüstrilerde kullanılan buhar, demir iyonları ile kirlenmiş ve enerjisini yitirmiş olarak geri döner. Bu akımlar çeşitli proseslerde kullanılmak istendiğinde Fe^{3+} iyonlarının belirli bir miktarın üzerinde olmaması gerekmektedir. Klasik yöntemlerle Fe^{3+} iyonlarını uzaklaştırmak için genellikle soğutma ve pH değişikliği uygulanır. Özellikle bazik ortamda çalışıldığından korozyon artırılmış ve aynı zamanda kirlenme sürdürülmüş olur.

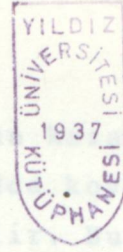
Yapılan çalışmalarda; proses sularında 60°C 'ın üzerindeki sıcaklıklarda ve kendi pH'ında Fe^{3+} iyonlarının özel polielektrolit ve elyaf ile giderilmesi amaçlanmıştır. Belirlenen amaçlar doğrultusunda gerçekleştirilen deneyler sonucunda, yapay demir çözeltisi konsantrasyonu ve özel polielektrolit çözeltisi konsantrasyonu değişimine karşın giderilen demir yüzdeleri incelenmiştir.

ABSTRACT

In several process, used steam return back to the power station with heavy contamination of Fe^{3+} ions. In general case, the procedues of removing Fe^{3+} ions from used hot water ($>60^{\circ}C$) necessitates cooling and changes of pH.

Usually in the conventional procedures working in the basic or acid conditions activetes corrosion and contamination. In this thesis it is given a treatment procedure of removing Fe^{3+} ions from used hot process water by using a special polyelectrolite an membran without cooling and changing.

Process suularının temizlenmesinin yararı Kabuk oluşumunu (kısır) önlemektir. Buhar kazanlarında oluşan bu kısır aşırı ısınma tehlikesi doğurur ve boruların patlamasına neden olur. Kısır oluşumu yanında korozyon tehlikesi de vardır. Yüksek basınçlarda çalışan kazanlarda oluşan kısır



bir gerçektir. Yüksek basınçlarda çalışan kazanlarda su-
par saf suyun içine hiçbir kimyasal madde eklenmeden ha-
sarı ile kullanılabilmesi düşünülebilir. Bu durum
dikkatli gözlemler altında çalışmayı gerektirir. Nükleer
enerji üretimiyle ilgili çalışmaları, yüksek sıcaklıklar-
da oldukça saf olsa bile suyun korozyon oluşturduğunu orta-
ya koymuştur. Suyun sertliği, pH derecesi, taşıdığı or-
ganik ve inorganik maddeler korozyon anında göz önünde
bulundurulması gereken etkenlerdir.

GİRİŞ

Endüstride buhar kazanları ve ısı değiştirgeçle-
rinin verimliliğini ve ömrünü artırmak için birden çok
etkenin gözönünde bulundurulması gerekir. Çalışma koşul-
ları göz önünde bulundurulurken, daha tasarım aşamasında
alınması gereken önlemlerin yanı sıra, çalışma sırasında
da dikkat edilmesi gereken ve sonucu etkileyen faktörler
vardır.

Yüksek sıcaklıklarda metalle temasta olan gazla-
rın ve sistem suyunun varlığı buhar kazanları ve ısı de-
ğiştirgeçlerinde kaçınılmaz olduğuna göre, ister iste-
mez farklı korozyon olayları ile karşılaşabilir. Çalış-
ma koşulları bütünü içinde üzerinde dikkatle durulması
gereken konulardan biri, devredeki suyun korozyon yarat-
ma potansiyelinin sürekli olarak kontrol altında tutulma-
sıdır.

Proses sularının temizlenmesinin yararı kabuk o-
luşumunu (kışır) önlemektir. Buhar kazanlarında oluşan bu
kışır aşırı ısınma tehlikesi doğurur ve boruların patla-
masına neden olur. Kışır oluşumu yanında korozyon özelli-
le yüksek basınçlarda çalışan kazanlarda oldukça önemli

bir sorundur. Yüksek basınçlarda çalışan kazanlarda süper saf suyun içine hiçbir kimyasal madde koymadan başarı ile kullanılabileceği düşünülebilir. Bu durum dikkatli gözlemler altında çalışmayı gerektirir. Nükleer enerji üretimiyle ilgili çalışmalar, yüksek sıcaklıklarda oldukça saf olsa bile suyun korrozif olduğunu ortaya koymuştur. Suyun sertliği, pH derecesi, taşıdığı organik ve inorganik maddeler korozyon anında göz önünde bulundurulması gereken etkenlerdir.

Kontrol altında bulundurulması gereken etkenlerden biri de proses sularında ki demir iyonları miktarıdır. Demir iyonlarının yol açtığı zararlar şöyle sıralanabilir:

1- Su borularının cidarında birikip çapı daraltarak, yük kayıplarını artırırılar. Demir içeren organik birikintiler boru cidarlarından koparak suya karışır ve suyu kitle şeklinde siyaha boyayabilirler.

2- Klorlama sonucu depo cidarlarında birikip zaman zaman buralardan koparak, pompa, valf ve orifis gibi unsurları tıkarlar.

3- Ferri bileşikleri iyon değiştirici madde yatakları ile kum filtresi yataklarını kaplayarak onların kapasitesini düşürür.

4- Suda az miktarda da olsa, demir iyonlarının bulunması demir bakterilerinin oluşup çoğalmasına yol açarlar. Bu bakteriler saçaklı kitleler oluşturarak boruların kapasitesini düşürür, pompalarda tıkanma, sıkışma gibi arızalara neden olurlar.

5- Özellikle kâğıt, tekstil, plâstik, deri, buz, alkollü içkiler gibi sanayi kollarındaki ürünlerin rengini, görüşünü bozarlar.

6- Uygun koşullar altında sülfür bakterileri sülfatları redükleyerek H_2S oluşturabilmekte, bu da FeS gibi madensel sülfürlerin oluşumuna yol açabilmektedir. FeS suda eriyerek hem pis bir koku hem de siyah pıhtılar oluşturabilmekte, çelik ve diğer metaller üzerinde korrozif etkiler yapmaktadır.

Demirin yol açtığı 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.

3- Fazla miktarda demir organik kolloid (koloidal) halindedir.

4- Kırmızı sulara, demir genellikle çözünmüş ve asit halde kurun hidroksit taneleri şeklinde bulunur.

2.1. DEMİR GİDERİLMESİNDE YARARLANILAN ANA İŞLEMLER:

Sulardan demirin giderilmesi şu üç husustan biri ile sağlanmaktadır:

- a- pH'nın yükseltilmesi
- b- Oksidasyon
- c- pH'nın yükseltilmesi ile oksidasyonun birlikte uygulanması

2. SUDAN DEMİRİN GİDERİLMESİ

Demir aşağıdaki dört türden biri veya birkaçı halinde sularda görülmektedir:

1- Asidik olmayan, berrak ve temiz yeraltı sularında demir, ferrobikarbonat şeklinde görülür.

2- Asitli yüzeysel sularda demirin bir kısmı veya hepsi eriyik ferro sülfat halinde bulunmaktadır.

3- Fazlasıyla renkli sularda demir organik kolloid (chelate) halindedir.

4- Kırmızı sularda, demir genellikle çözünmeyip asılı halde duran hidroksit tanecikleri şeklinde bulunur.

2.1. DEMİR GİDERİLMESİNDE YARARLANILAN ANA İŞLEMLER:

Sulardan demirin giderilmesi şu üç hususdan biri ile sağlanmaktadır:

- a- pH'nın yükseltilmesi
- b- Oksidasyon
- c- pH'ın yükseltilmesi ile oksidasyonun birlikte uygulanması

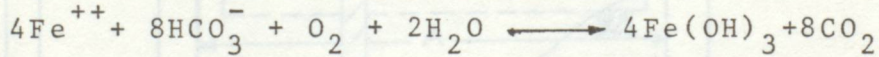
Bu üç hususu da kapsayan, aşağıdaki ana işlemlerin yardımı ile demir giderilmesi gerçekleştirilmektedir: (1)

- 1- Havalandırma
- 2- Kimyasal oksidasyon
- 3- pH ayarlaması
- 4- Katalitik etki
- 5- Koagülasyon-sedimentasyon
- 6- Filtrasyon
- 7- İyon değiştirme
- 8- Yumuşatma
- 9- Geciktirme

2.2. HAVALANDIRMA

Demir arıtımında ilk basamak olarak havalandırma yapılması ile karbondioksit ve hidrojen sülfürün sudan ayrışması böylece pH'ın yükseltilmesi ve suya gereği kadar oksijen girmesi sağlanır.

Reaksiyon genellikle aşağıdaki gibi oluşmakta ve sonuçta CO_2 açığa çıkmaktadır.



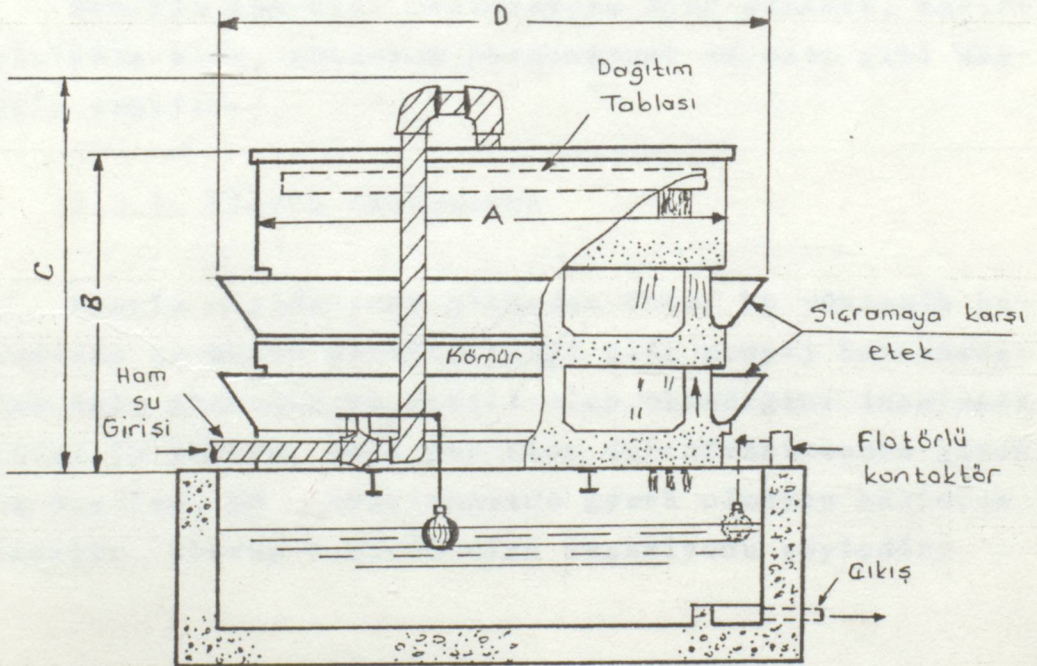
Demir arıtımında pH'ın yüksek olmasının çok büyük önemi vardır. Çünkü oksidasyonun yüksek pH değerlerindeki etkisi, 8'den aşağıdaki değerlerine oranla birkaç kat daha fazla ve hızlıdır.

Havalandırıcılar:

Demir arıtımında;

- 1- Kok veya çakıllı tabla tipi havalandırıcılar
- 2- Ahşaptan yarıklı tabla tipi havalandırıcılar
- 3- Zorlamalı havalandırıcılar
- 4- Fıskıyeli havalandırıcılar
- 5- Yayılarak dökülen, çeşme tipi havalandırıcılar
- 6- Açık tankdaki su kitlesi içine basınçlı hava verilen havalandırıcılar
- 7- Basınçlı havalandırıcılar (satüretörler)

gibi çeşitli türlerin yerine göre kullanılması mümkündür. Ancak bunlardan en çok kullanılanı kok veya çakıllı tabla tipi havalandırıcılardır. Bunlar ağaç veya çelikten bir iskelet üzerine üst üste yerleştirilmiş 3-6 veya daha fazla tabladan oluşmaktadır. En çok rastlanan tipi Şekil 2-1'-de gösterilmiştir.



Şekil 2-1. Çelikten mamul delikli tabla tipi havalandırıcı

Tablalara koyulan kok kömürü veya çakıl taşı gibi malzemeye suyun hava ile temas eden yüzeyi daha da artar. Aynı zamanda oksidasyon işleminin oluşması için gerekli temas süresi sağlanmış olur. Tablalara daha çok kok, kalsit, magnetit, pirulit veya çakıl konulur.

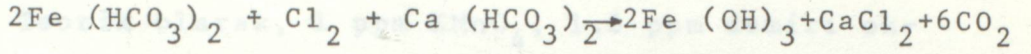
Havalandırıcılar, çoğunlukla bir toplama havuzunun üzerine monte edilirler. Bu havuz taşmalara karşı flotörlü vana veya kontaktör düzeni ile dizayn edilebilir. Basıncılı havalandırıcılarda, havanın suda çözünme miktarı basınçla arttığı için suyun açık bir depoda fazla havası çıkarılmalı ya da suyun yalnız az bir kısmı satüretörden geçirilmelidir. Ancak, havalandırma, su-daki gazların çıkması sonucu pH derecesini de oldukça yükseltir.

2.3. KİMYASAL OKSİDASYON

Demirin kimyasal oksidasyonu klor dioksit, bakırla birlikte klor, potasyum permanganat ve ozon gibi maddelerle yapılır.

2.3.1. Klorla Oksidasyon

Klorla oksidasyona gitmeden önce, bu yöntemin havalandırma ve bunun gerektireceği çift pompaj harcamalarından daha ekonomik ve etkili olup olmadığını incelemek gerekir. Bu yöntem, daha çok klor dezenfeksiyonuna gereksinim duyulan, pH ayarlamasına gerek olmayan hallerde kullanılır. Klorun demirle olan reaksiyonu şöyledir:



Bu reaksiyona göre 1 ppm klor ancak 1.6 ppm Fe^{+2} iyonunu oksitleyebilmektedir. Oysa 1 ppm oksijen 7 ppm ferro iyonunu oksitleyebilmektedir. Buna karşın, düşük pH derecelerinde, klorun demiri oksitleme hızı eriyik oksijeninkinden daha fazladır. Klorun demiri, normal pH'da oksitlemesi için reaksiyon süresi 15 dakikadan az seçilmemelidir.

2.3.2. Klor dioksitle oksidasyon

Klor dioksit; çok aktif bir oksitleyicidir, fakat, klordan çok pahalıdır. Bu nedenle demir arıtımında klorla bir arada kullanılır. Klor, ham su girişinde verildikten sonra, klor dioksit suya hızla ve tümüyle karıştırılmalıdır. Etki derecesi klorda olduğu gibi büyük oranda pH'ya bağlıdır. pH derecesinin 7'den büyük olduğu hallerde en iyi sonuçlar alınır.

Klor dioksit çok dengesiz bir bileşik olduğu için kullanılacağı yerde üretilir. Üretim için gereken cihazın getireceği maliyet de göz önüne alınmalıdır.

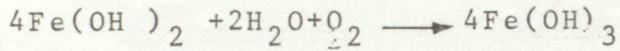
2.3.3. Potasyum permanganatla oksidasyon

Bu yöntemde de organik maddelerin ve demirin gereksinimini karşılamak için daha ucuz olduğundan önce klor eklenir, daha sonra oksidasyon potasyum permanganat ile tamamlanır. Potasyum permanganatın oksidasyon hızı yüksektir.

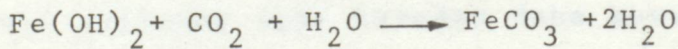
Teorik olarak, 1 ppm KMnO_4 , 1.6 ppm demiri oksitleyebilirdi uygulamada oksitlediği miktarın bunun 2 katı kadar olduğu saptanmıştır. Bu da yan oksidasyondan ve katalitik etkilerden ileri gelir. İçinde organik madde olan sularda reaksiyon süresi daha uzundur. Permanganat işlemi sert sulara da uygulanabilir. Yumuşak sular veya katı madde konsantrasyonu düşük olan sular süzülmesi güç, renkli bazı bileşikler verebilir.

2.3.4. Kireç işlemi ile oksidasyon

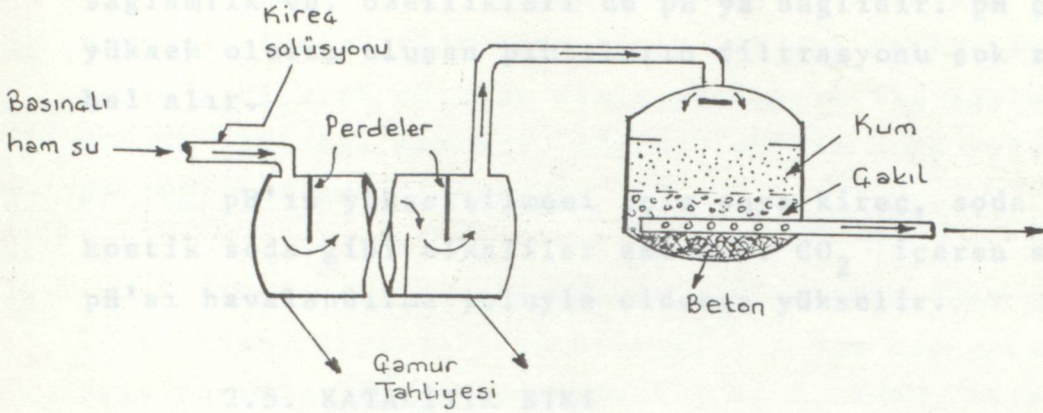
Kireç yardımıyla demir aşağıdaki reaksiyonlara göre giderilebilir:



Suda hava bulunmadığı zaman arıtma işlemi şu şekilde olmaktadır:



Bu yöntem az kullanılan bir yöntem olmakla birlikte işletme masrafı, kalifiye olmayan işçi ile çalıştırılabilmesi gibi bazı avantajlara sahiptir. Şekil 2.2'de kireç işlemi ile demir giderme tesisleri görülmektedir.



Şekil 2.2. Kireç işlemi ile demir giderme tesisi

Demir tuzları, kireç yönteminde koagülant olarak arıtmaya yardımcı olmaktadır.

2.4. pH AYARLANMASI

Demir giderilmesinde, en önemli etken arıtım sistemi boyunca oldukça yüksek bir oksidasyon potansiyeli " E_h " ve pH derecesi sağlamaktır. Yüksek oksidasyon potansiyeli sağlamak için havadan daha kuvvetli oksidanlar kullanılması gerekir.

Olumlu sonuç alınabilmesi, uygun pH'ın sağlanmasına bağlıdır. pH'ın düzenlenmesi şu nedenlerden zorunludur:

1. Çok düşük pH'da oksidasyon işlemi kısa sürede olmaz ve tam olmayabilir.

2. Oksidasyon sonucu oluşan pıhtıların büyüklük, sağlamlık vb. özellikleri de pH'ya bağlıdır. pH çok yüksek olursa oluşan pıhtıların filtrasyonu çok zor bir hal alır.

pH'ın yükseltilmesi için suya kireç, soda veya kostik soda gibi alkaliler eklenir. CO₂ içeren suların pH'sı havalandırma yoluyla oldukça yükselir.

2.5. KATALİTİK ETKİ

2.5.1. Temas filtreleri

Temas filtreleri, ya havalandırma ve oksidanlarla rejenerasyon gibi yollarla önceden sağlanmış olan, ya da filtreyi oluşturan malzemede bulunan oksijenin, mevcut katalitik etkisiyardımı ile sudaki demiri oksitleyerek ayrılmalarını sağlayan ünitelerdir. Bunlar, oksidasyon filtreleri olarak da adlandırılırlar. Ancak, demiri 10 ppm'den az suların arıtımında kullanılırlar. İki tür temas filtresi vardır.

1- Damlamalı tip

2- Batık tip

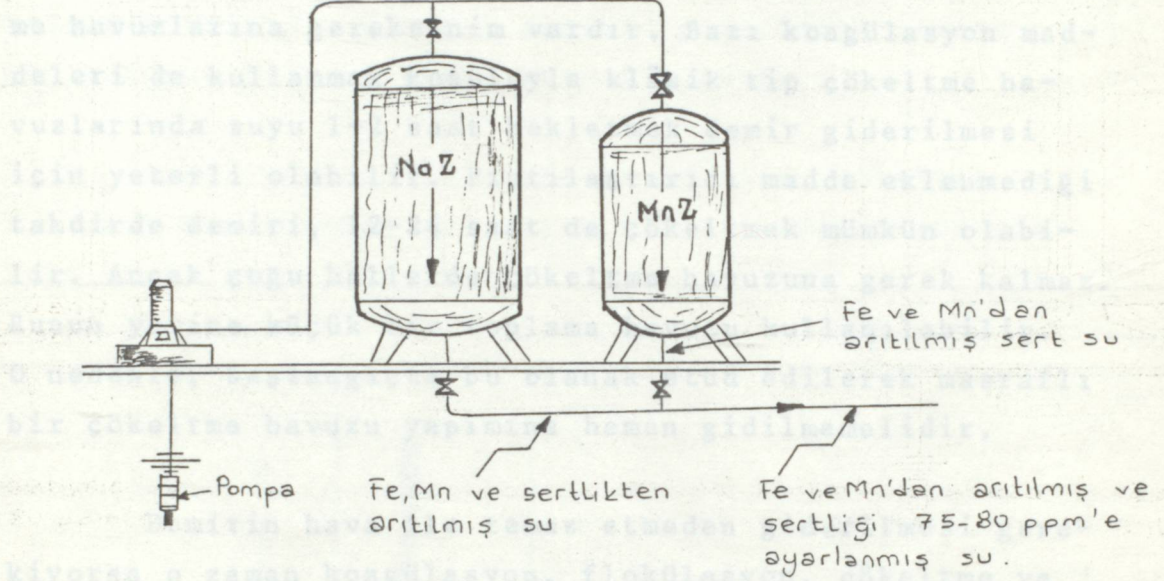
Temas filtreleri, havalandırma ve diğer arıtım üniteleri ile birleştirilerek oldukça etkili ve ekonomik sistemler oluşturabilmektedirler. Temas filtreleri genellikle havalandırmadan önce uygulanmaktadır. Bu filtrelerin yatağı, ince veya kaba cinsten çakıl, kok kömürü, antrafilt, polarit, magnetik veya başka maden oksitleri

ve maden cevherlerinden oluşturulmaktadır. İyi sonuç alabilmek için yatağın olgunlaşmasını, yani yatağı oluşturan çakıl veya başka malzeme tanelerinin sudan ayrışarak çökelen demir oksitleri ile kaplanmasını beklemek gerekir. Böylece arıtım daha yüksek pH değerlerinde mümkündür.

Temas filtresinin demir oksidasyonu için gerekli oksijeni sağlaması istenirse, o zaman ham suya filtreye girmeden hemen önce sürekli klor, KMnO_4 veya NaMnO_4 gibi oksidan maddeler karıştırılarak filtre yatağı oksijenle doyurulur. Bu işlemle temas yatağı, sürekli olarak rejenere edilmiş olmaktadır. Rejenерasyon kesik kesik de uygulanabilir. Ancak sistemdeki permanganat sarfiyatı artırılmış olur. Daha önce de değindiğimiz gibi temas filtreleri, demir miktarı 10 ppm'i geçen sular için uygun değildir. Çünkü kısa zamanda demir çökeltileri ile tıkanırlar.

Temas filtreleri için önemli başka bir yatak malzemesi de manganez zeolittir. Bu malzeme, manganez dioksitin yeşil kumla birleştirilmesi ile elde edilir. Siyah ve kum şeklinde ince tanelidir, temas yatağı olarak hem oksidasyon sağlar, hem de filtre ödevi görür. Yapısındaki oksijeni demire vererek oksitlenmeyi sağladığından KMnO_4 solüsyonu ile rejenere edilerek azalan oksijenin tamamlanması gerekir. Beher m^3 manganez - zeolit 1.4-1.6 kg demiri sudan arıtmaktadır. Manganez-zeolit yatağının üzerine kum haline getirilmiş bir tabaka antrasit kömürü koyulması sudaki ökücü bulanıklık maddelerini önceden tutarak manganez zeolitin temiz kalmasının sağlayacağından

tesisin verimini artırır. Şekil 2.3'de görülen sistem özellikle ev ve endüstri gereksinimleri için kullanılmaktadır.



Şekil 2.3. İstenilen sertlikte, demir ve manganezi alınmış su temini için sodyum zeolit ve manganez zeolitin birlikte kullanılışı

2.7. FİLTREASYON

Sonuç olarak küçük endüstri tesislerinde ve evlerde yararlanılan manganez zeolit cihazları, demir miktarı 10.0 ppm'e dek çıkan sular için kullanılabilir. Geniş endüstri veya şehir tesislerinde bu malzemenin kullanılabilmesi için sudaki metal miktarının 1.0 ppm'den çok olmaması gerekir. Rejenerasyon maddesi KMnO_4 pahalı olduğundan daha yüksek konsantrasyonlarda işletme rantabil olmayabilir.

2.6. KOAGÜLASYON, FLOKÜLASYON VE ÇÖKELTME:

Koagülasyon, flokleştirme ve çökeltme filtreden önce; havalandırma, temas filtresi ve kimyasal oksidasyon gibi işlemlerden sonra uygulanır. Demir konsantrasyonu fazla, yani 2.0 ppm'in üstünde olduğu zaman çökeltme havuzlarına gereksinim vardır. Bazı koagülasyon maddeleri de kullanmak koşuluyla klâsik tip çökeltme havuzlarında suyu 1-2 saat bekletmek demir giderilmesi için yeterli olabilir. Pıptılaştırıcı madde eklenmediği takdirde demiri, 12-24 saat de çökeltmek mümkün olabilir. Ancak çoğu hallerde çökeltme havuzuna gerek kalmaz. Bunun yerine küçük bir toplama havuzu kullanılabilir. O nedenle, başlangıçta bu olanak etüd edilerek masraflı bir çökeltme havuzu yapımına hemen gidilmemelidir.

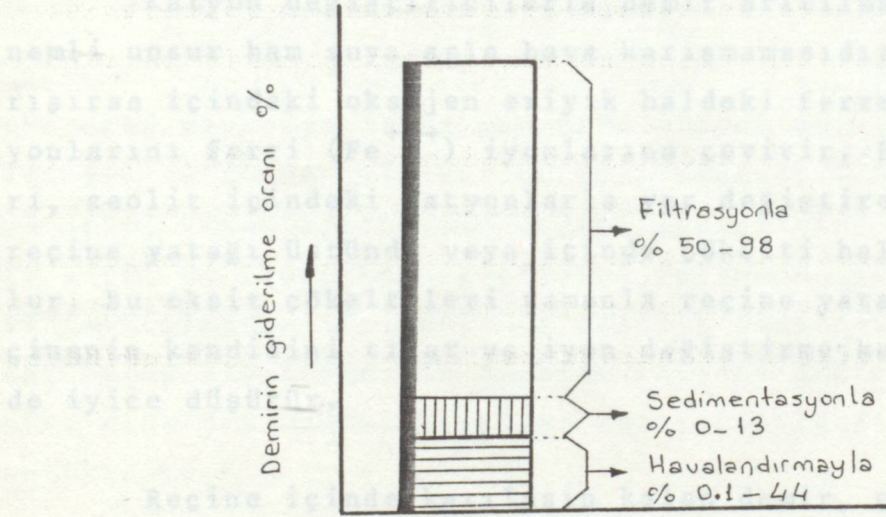
Demirin hava ile temas etmeden giderilmesi gerekiyorsa o zaman koagülasyon, flokülasyon, çökeltme ve filtrasyon işlemleri kapalı kazanlarda, basınç altında yapılır. Çok ince pıhtıların koagülasyonunda polielektrolitlerin büyük önemi vardır. Bu konu daha sonra bölüm olarak, geniş bir kesitle incelenecektir.

2.7. FİLTRASYON

Havalandırıcılar, temas filtresi ve çökeltme havuzlarında tutulamayan demirin giderilmesi için filtreler kullanılır. Bu işlem için klâsik, hızlı kum filtreleri oldukça elverişlidir. Ancak süzme hızlarının seçimine, pilot çalışma yapmadan gitmek doğru değildir. Çünkü tutulan çamurlar kumun derinine dek işleyebilir.

Süzme yatağı olarak kum, çakıl veya antrasit kullanılabilir. Filtreler de temas filtreleri gibi olgunlaşarak, demir giderilmesinde katalizör rolü oynayabilmektedir. Yıkama işlemi için bazen büyük su miktarlarına gereksinim vardır. O nedenle demir giderme tesisi yaparken filtreden çıkan yıkama suları ile çökeltme havuzundan çıkacak demirli çamurların nereye atılacağına önceden karar vermek gerekir.

Demirin giderilmesinde oksidasyon, çökeltme ve filtrasyonun önemini araştıran bir çalışmanın sonuçları Şekil 2.4.'de toplanmıştır.

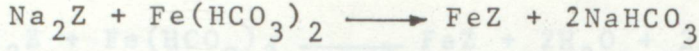


Şekil 2.4. Demir giderilmesinde çeşitli ana işlemlerin rolü.

Yine demir arıtımı için yapılan çalışmalarda, sulara havalandırma ile verilen oksijenin bir kısmının filtrelerde yok olduğu ve böylece demiri tutmaya yarayan filtrelerin, aksi yönde çalışarak suya demir verdiği de görülmüştür.

2.8. İYON DEĞİŞTİRME İŞLEMİ:

Katyon değıştirici maddeler yapılarındaki sodyumu verip bunun yerine sudaki demir iyonlarını alırlar.



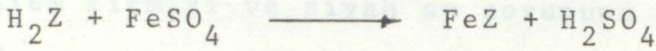
Zeolitin yeniden canlandırılması tuz yardımı ile ve aşağıdaki formüle göre olur:



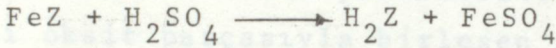
Katyon değıştiricilerle demir arıtılmasında en önemli unsur ham suya asla hava karışmamasıdır. Hava karışırsa içindeki oksijen eriyik haldeki ferro (Fe^{++}) iyonlarını ferri (Fe^{+++}) iyonlarına çevirir. Ferri iyonları, zeolit içindeki katyonlarla yer değıştiremez, fakat reçine yatağı üstünde veya içinde çökelti halinde tutulur. Bu oksit çökeltileri zamanla reçine yatağını ve reçinenin kendisini tıkar ve iyon değıştirme kapasitesini de iyice düşürür.

Reçine içinde katılaşp kalan demir, genellikle %10'luk asit ile temizlenebilir. Bu amaçla %1'lik NaHSO_3 çözeltisi de kullanılmaktadır. Sodyum hidro sülfür, reçine içinde ki demiri ferri durumundan tekrar ferro durumuna indirgeyerek rejenerasyon maddeleri tarafından Na veya H ile değıştirilebilecek hale sokmaktadır. Böylece, asitle temizlenen reçine hemen ardından rejenere edilerek orjinal durumuna getirilir.

Bikarbonat, klorür ve sülfat şeklindeki ferro iyonu hidrojen katyon değiştirme yöntemi ile de giderilebilir. Giderme ve rejenerasyon reaksiyonları aşağıdaki şekilde olur:



Reaksiyonlar sonunda oluşan CO_2 havalandırma ile dışarı atılabilir. Rejenerasyon H_2SO_4 ile yapılır.



Yukardaki reaksiyonlarda yan ürün olarak suya H_2SO_4 karışmakta ve suyun asiditesini artırmaktadır. Bunu önlemek için, suyun bir bölümü sodyum değiştirici reçineden, bir kısmı da hidrojen değiştirici reçineden geçirilip iki su birleştirilir. Böylece asitlik derecesi düşürülerek, uygun alkalikte bir su elde edilebilmektedir. Bu işlem daha çok endüstrideki su gereksinimleri için uygulanmaktadır.

2.9. KİREÇ-SODA İŞLEMİ:

Bu yöntem, sertlik ile birlikte demirin giderilmesi istendiği zaman uygulanır. Burada demirin giderilmesi daha çok bir yan işlemdir. İlk basamak olarak ham su havalandırılır, böylece demir oksitlenerek çökeltme tankında üç valanslı hidroksitler şekline geçer.

Ca ve Mg'un giderilerek suyun yumuşatılması için verilen kireç ve soda ile pH derecesi 9'un üzerine çıktığından demirin oksidasyonu da kendiliğinden oluşmaktadır.

Kireç-zeolit işlemi de atılması güç olan organik veya kolloidal demiri gidermeye elverişlidir.

2.10. GECİKTİRME İŞLEMİ:

Suya bazı maddeler karıştırarak demirin çökelmesinin geciktirilmesi veya demirin stabilizasyonu denilen bu işlem kırmızı ve siyah su sorununu ortadan kaldırmaktadır.

Geciktirme veya stabilizasyon işlemi suya polifosfatlar, sodyum silikatlar eklenerek uygulanmaktadır. En çok önerilen madde polifosfatlardır. Polifosfatlar, sudaki oksit parçasıyla birleşen fosfatlar, bu oksit parçacıklarının birbirleriyle birleşerek çökelebilecek büyük parçalar haline gelmesini önler. Fosfat (glasi fosfat) miktarının demir miktarına oranlı olması gerekir. Glasi fosfat demirin oksidasyonunu önleyemez. Buna karşın oksitleyici maddelerin demiri pıhtılaştırarak çökeltir hale sokmasını önlemek için fosfatların havalandırma ve klorlamadan önce veya herhangi başka bir oksitleyici madde eklenmesinden önce suya karıştırılması gerekir.

Böylece fosfatlar daha oksitlenme olmadan demir parçacıklarına yapışır ve oksidasyon sonunda onların büyüyen tesiste, su kullanıcıya gidinceye dek çökmesine engel olur. Bu nedenle, demir miktarı 0.2 - 0.3 ppm'den büyük ise fosfatlar suya daha kuyudayken, hiç bir madde ve hava karışmadan önce, verilmelidir. Sıcaklık, alkalik, pH ve CO₂ miktarları alçak olduğu zaman polifosfat işlemi kısmen daha başarılı olmaktadır.

Geciktirme işleminde demirin çökmesini çok uzun zaman ertelemek mümkün değildir. Bu nedenle tesislerde suyu depolarda uzun süre tutmak doğru olmaz ve tesisin sürekli olarak çalışması gerekir.

3. KOAGÜLANTLAR VE KOAGÜLASYON

3.1. TANIMLAR

Bu bölümde, koloidal maddelerin suya kalındır-ki, çok küçük tanelecilerin birleşmesini kolaylaştırmak için suya eklenen kimyasal maddelere "koagülant" denilmektedir. Koagülasyon ise koagülantların suya eklenmesi ve etkili hale getirilmesinden oluşur. Bir seri kimyasal ve mekanik işlemlerle sağlanmaktadır. Bu işlemler genellikle iki aşamadan oluşmaktadır:

1. "Hızlı karıştırma" (flocculation): Bu aşamada, koloidal maddeler olduğu bir suya, koagülant maddeler eklenir ve hızlı bir şekilde karıştırılır. Bu işlem, maddelerin bir araya gelmesini sağlar ve büyük taneler oluşmasını sağlar.
2. "Yavaşlatma" (flocculation): Bu işlemle de su, yavaş ve uygun şekilde karıştırılarak küçük tane ve pıhtıların büyümesi, birbiriyle birleşmesi, yavaşlatma ve böylece kolayca çökmesi sağlanır. Bu işlem, maddelerin bir araya gelmesini sağlar ve büyük taneler oluşmasını sağlar.

3.2. AMAÇ

Koagülasyon, suyun arıtılmasında oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Burada, çeşitli amaçlar

in koagülasyon işlemi uygulanır. Bunlardan en önemli olanları,

1. Anorganik ve organik bulanıklığa giderilmesi,
2. Çerçək ve sanal rengin giderilmesi,
3. Zararlı bakterilerin vb. patojenlerin yok edilmesi,

3. KOAGÜLANTLAR VE KOAGÜLASYON

3.1. TANIMLAR

Su arıtımında, kolloidal maddelerle askı halindeki, çok küçük taneciklerin çökelmesini kolaylaştırmak için suya eklenen kimyasal maddelere "koagülant" denilmektedir. Koagülasyon ise koagülantların suya eklenişi ve etkili hale getirilmesinden oluşup, bir seri kimyasal ve mekanik işlemleri içine almaktadır. Bu işlemler genellikle iki aşamadan oluşmaktadır:

1. "Hızlı karıştırma" (mixing): Bu işlemle kimyasal maddeler oldukça hızlı bir şekilde ham suya karıştırılır.

2. "Yumaklaştırma" (flokülasyon): Bu işlemle de su, yavaş ve uygun şekilde karıştırılarak küçücük tane ve pıhtıcıkların büyümesi, birbiriyle birleşmesi, yumaklaşması ve böylece kolayca çökebilecek, olgun ve sağlam yumakcıklar oluşması sağlanmış olur.

3.2. AMAÇ

Koagülasyon, suların arıtılmasında oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sularda, çeşitli amaçlar

için koagülasyon işlemi uygulanır. Bunlardan en önemli olanları,

1. Anorganik ve organik bulanıklığın giderilmesi,
2. Gerçek ve sanal rengin giderilmesi,
3. Zararlı bakterilerin vb. patojenlerin yok edilmesi,
4. Alglerin vb. plankton organizmanın giderilmesi,
5. Tad ve koku veren maddelerin yok edilmesidir.

Bu maddelerin giderilmesi ile su kullanımı uygun ve bütünüyle dezenfekte edilmeye elverişli bir hale gelir.

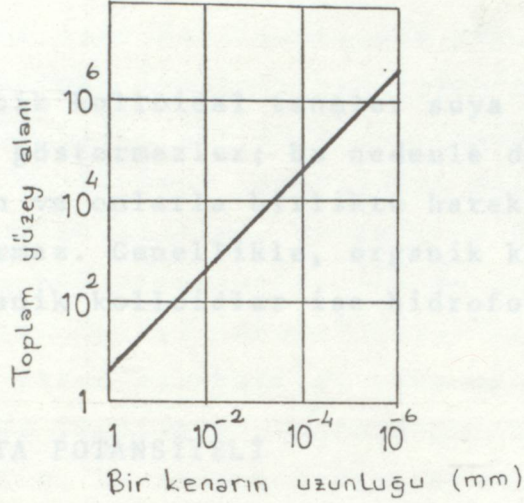
3.3. KOLLOİDLERİN ÖZELLİKLERİ

Koagülasyonun verimli ve etkin bir şekilde yapılabilmesi için kolloidlerin özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Homojen bir ortam içinde oldukça küçük taneciklerin dağılması ile oluşan sistemler "kolloid sistemler" olarak adlandırılırlar. Kolloidal tanecikler atomlardan ve küçük moleküllerden büyüktürler, ancak normal filtrelerin içinden geçebilirler. Yaklaşık 10^{-6} mm - 10^{-3} mm büyüklüğündeki taneler kolloidal olarak sınıflandırılmaktadır. Fakat, bunlardan daha büyük ölçüdeki tanelerde bazı kolloidal özellikler göstermektedirler.

Kolloidlerin kendilerine özgü hareket ve etkileri yüzeysel özelliklerinden ileri gelmektedir. Çeşitli boydaki tanelerin sahip oldukları yüzey alanları Şekil 3.1'de gösterilmiştir. (2)

Taneyi saran bu su zarfı hidrozyon suyu veya zarf suyu olarak adlandırılır. Böylece su ile polar gruplar arasında ki bağlantının miktarı belirlenebilmektedir.



Şekil 3.1. Kenarı 1 mm olan bir küb daha küçük küblere bölündüğü zaman ortaya çıkacak toplam dış yüzeyler miktarı

Sol'ler kendisini oluşturan kolloid tanelerin dağılma ortamını sevmesine veya sevmemesine göre iki kısma ayrılırlar. Eğer sol bir hidrosol ise, yani dağılma ortamı su ise, "hidrofilik" ve "hidrofobik" deyimleri kullanılır.

Hidrofilik tanelerin suya karşı olan ilgileri, tanenin üzerindeki $-OH$, $-COOH$ ve $-NH_2$ gibi polar grupların bulunmasından ileri gelir. Elektrik yükünün bir bölgede toplanması nedeniyle polar gruplar bir elektrik dipoluna sahiptirler. Bu gruplar suda çözünürler, dolayısıyla çevrelerindeki suyu çekip üzerlerinde tutarlar. Böylece çevrelerinde sağlam bir su kılıfı oluştururlar.

Taneyi saran bu su zarfı hidrasyon suyu veya zarf suyu olarak adlandırılır. Böylece su ile polar gruplar arasında ki bağlantının miktarı belirlenebilmektedir.

Hidrofobik kolloidal taneler suya karşı bir ilgi ve bağlılık göstermezler; bu nedenle de çevrelerinde onları saran ve onlarla birlikte hareket eden bir su zarfı oluturmaz. Genellikle, organik kolloidler hidrofilik, anorganik kolloidler ise hidrofobik cinstendir.

3.4. ZETA POTANSİYELİ

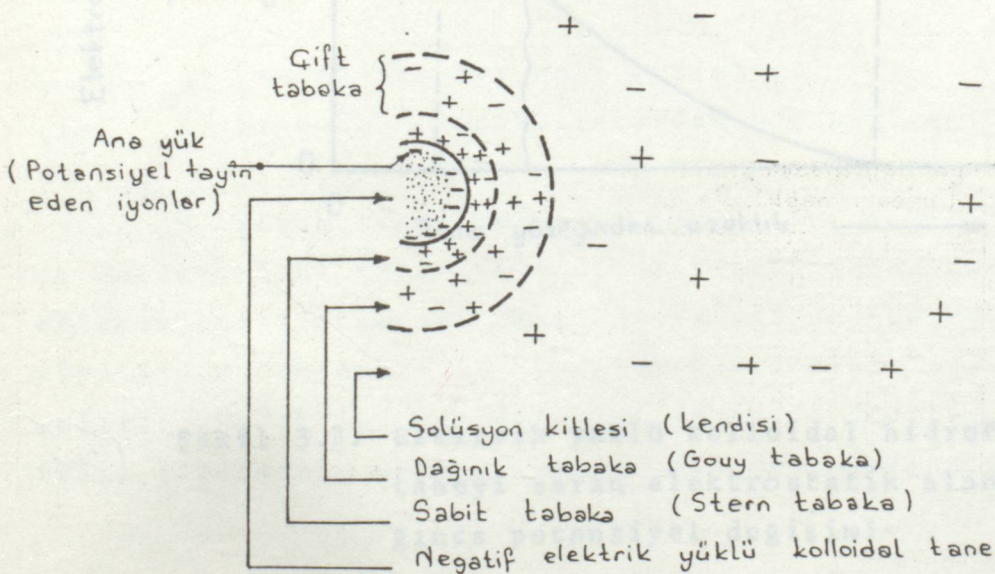
Kolloid taneler elektriksel özelliklere sahiptir. Bu özellikler kolloidlerin hareketlerini büyük ölçüde etkilerler. Tane yüzeyi üzerinde bulunan elektrik yükleri, bir elektrostatik alan oluşturur. İşte, kolloidal sistemin stabilitesini sağlayan ana etken elektrostatik alandır. Tane yüzeyindeki bu yüklere "ana yük" denir. Ana yükler, tane yapısını oluşturan moleküllerin uçundaki reaktif gruplarının ayrışmasından ve dağılma ortamındaki iyonların seçimli olarak adsorbsiyonundan oluşmaktadır.

Kolloidal hidrofilik taneler üzerindeki ana yük, daha çok - COOH ve NH_2 gibi polar grupların ayrışmasından oluşmaktadır. Hidrofobik kolloidal taneler üzerindeki ana yük, bu tanelerin, dağılım ortamından seçerek adsorbe ettiği iyonların yüklerinden oluşur. Hidrofobik taneler üzerindeki yük pH ile birlikte değişmekte ve ters işareti alabilmektedir. Bu nedenle, hidrofobik tanelerdeki ana yükün, H^+ veya OH^- gruplarından hangisi dağılım

ortamında daha fazla ise, onun adsorbe edilmesi sonucu oluştuğu kabul edilmektedir.

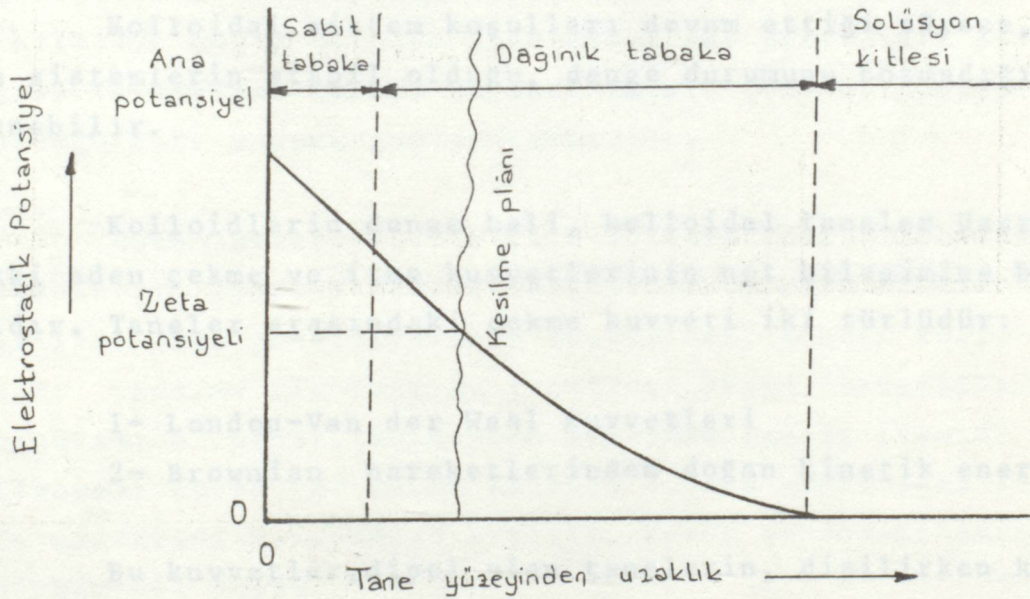
Kolloidal tane üzerindeki ana yük, solüsyonda bulunan ters yükteki iyonları kendisine çeker. Eğer tanenin ana yükü fazla ise çevreden fazla miktarda karşıt iyon çeker ve böylece tane yoğun karşıt iyonlar tabakası ile kaplanmış olur. Bu şekilde de tanenin elektrik yükü kısmen dengelenir. İlk ve yoğun karşıt iyonlar tabakasına "sabit tabaka" veya "stern tabakası" denilmektedir. Stern tabakası da yine aynı türden fakat, daha az sayıdaki iyonların oluşturduğu az yoğun bir tabaka ile çevrilir. Bu ikinci karşıt iyonlar tabakasına da "dağınık tabaka" veya "Gouy tabakası" denir. Gouy tabakasındaki iyon konsantrasyonu Stern tabakasına bitişik olan kısımda fazla, solüsyon kitlesiyle birleştiği yerde ise azdır. Stern ve Gouy tabakalarının her ikisine birden çift tabaka denir.

Şekil 3.2'de ana yükü negatif olan kolloidal bir taneyi saran çift tabaka şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Negatif ana yüklü bir koloidal tane çevresindeki çift tabakanın şematik görünüşü.

Kasyon ve anyonlar arasındaki konsantrasyon farkından dolayı, tane çevresinde elektrostatik bir alan oluşturur. Eğer solüsyon kitlesindeki potansiyele sıfır denirse, çift tabaka kalınlığına, tane-ye doğru gittikçe potansiyel artar. Çift tabakanın herhangi bir noktasındaki potansiyel, solüsyon kitlesindeki birim yükün tane yüzeyine getirilmesi için harcanan iş ile ölçülür. Elektrik yüklü kolloidal bir tanenin üzerindeki, elektrostatik alan derinliğince mevcut potansiyel miktarları şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Elektrik yüklü kolloidal hidrofilik bir taneyi saran elektrostatik alan kalınlığına potansiyel değişimi

"Kesilme plâni"ndaki potansiyel özel bir öneme sahiptir. Bu plânın içinde kalan solüsyon taneye yapışık gibidir ve sürekli tane ile birlikte hareket eder. Oysa, dağınık tabakanın kesilme plâni dışında kalan kısmı tane ile birlikte hareket etmez. Hidrofobik kolloidal tanelerde, kesilme plâni sabit tabaka dış yüzüne çok yakındır; hidrofilik kolloidal tanelerde ise kesilme plâni zarf suyu dış yüzü üzerine gelmektedir. Kesilme plâni zarf suyu dış yüzü üzerine gelmektedir. Kesilme plâni üzerindeki potansiyele zeta potansiyeli denir. Kolloidal tanenin gösterdiği elektrokinetik özellikler çoğunlukla zeta potansiyeline bağlıdır.

3.5. KOLLOİDAL STABİLİTE

Kolloidal sistem koşulları devam ettiği sürece, bu sistemlerin stabil olduğu, denge durumunu bozmadığı söylenebilir.

Kolloidlerin denge hali, kolloidal taneler üzerine etki eden çekme ve itme kuvvetlerinin net bileşimine bağlıdır. Taneler arasındaki çekme kuvveti iki türdür:

- 1- London-Van der Waal kuvvetleri
- 2- Brownian hareketlerinden doğan kinetik enerji,

Bu kuvvetler, dipol olan tanelerin, dizilirken kendi aralarındaki karşılıklı etkilerinden doğmaktadır. Hidrofobik bir sistemdeki itme kuvvetleri sadece zeta potansiyelinden oluşmaktadır. Taneler üzerindeki zeta potansiyelleri yüksek ise birbirlerini kuvvetle iterler. Hidrofolik tanelerin dengesi ise yalnız zeta potansiyeline

bağlı değildir; bu taneleri saran zarf suyu tanelerin birleşmesine karşı elâstik bir engel etkisi yapmaktadır. Kolloidal tanelerin su kitlesinden ayrışmasını sağlamak için itme kuvvetlerini küçülterek, itme ve çekme kuvvetlerinin bileşkesini, Brownian hareketinin temsil ettiği kinetik enerji düzeyinin altına düşürmek gerekir. Böylece taneler birbiri ile kavuşup birleşerek, kolayca çökelebilen daha büyük taneler, pıhtı ve yumak haline gelirler.

Sonuca gidebilmek için itme kuvvetlerinin yani, zeta potansiyelinin düşürülmesi gerekmektedir. Bu ise pH ayarlanması ve karşıt iyonlar veya kolloidler verilmeyle gerçekleştirilebilir. Kolloidal sistemin pH'sı izoelektrik noktaya doğru ayarlandığı zaman kolloid tane üzerindeki zeta potansiyeli düşmektedir. Zira, izoelektrik nokta da tane üzerindeki ana yük sıfır olmakta ve böylece taneyi saracak karşıt iyonların oluşturduğu çift tabaka gelişmemektedir.

Zeta potansiyeli kolloid sisteme karşıt iyonlar veya karşıt iyonlar içeren kolloidler vererek de indirilir. Zeta potansiyelinin düşürülmesi sonucu kolloidler yardımı ile yapılan pıhtılaştırmaya "karşılıklı koagülasyon" denir. Solüsyona sonradan karşıt iyonlar eklenmesi Stern tabaka ve dağınık tabaka üzerindeki iyon miktarını birdenbire artırır. Bunun sonucunda zeta potansiyeli düşer.

3.6. KOLLOİD STABİLİTESİNE İYONLARIN ETKİSİ

Esas olarak eklenen tuzlar stabiliteye iki şekilde etki edebilirler. Bunlar parçacıkların etrafındaki

diffüze tabakaya ve kolloid stabilitesini kontrol eden elektriksel potansiyel üzerine spesifik etkide bulunabilirler. Bu etkiler tümüyle ayrı değildir. Fakat ayrı ayrı incelenmesi daha uygundur.

3.6.1. ÇİFT TABAKA SIKIŞMASI

Yüklü bir kolloidal parçacık etrafındaki elektriksel potansiyelin Gooy-Chapman yaklaşımı ile verildiği kabul edilmektedir. Buna göre, yüzey potansiyeli " ψ_0 " stern düzlemdeki potansiyel " ψ_d " olarak alınmaktadır. ψ 's'nin düşük değerleri için, taneciğe bitişik çözeltideki potansiyel stern düzleminden itibaren üstel olarak azalmaktadır. Düz bir yüzey için azalan potansiyel; (3)

$$Y(x) = Y_d \exp(-xX) \dots \quad (3.1)$$

eşitliğidir.

Burada;

X: Stern düzleminden uzaklık

x: Debyel-Hückel karşılıklı uzunluk parametresidir.

x parametresi 25°C da sulu çözeltiler için aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$x = 3.29 \times 10^9 (\sum c_i z_i^2)^{1/2} \text{ m}^{-1} \dots \quad (3.2)$$

Burada;

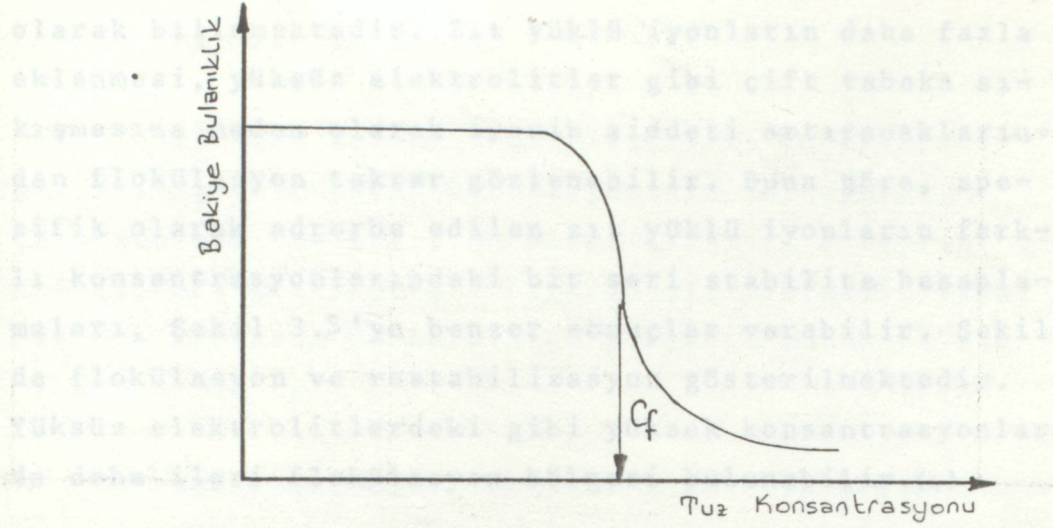
c_i : i iyonunun molar konsantrasyonu

z_i : i iyonunun yüküdür.

$1/x$, hızı yöneten karakteristik bir uzunluktur. Bu uzunluk diffüze tabakanın kalınlığı olarak adlandırılmaktadır ve yüklü parçacıklar arasında etkili elektriksel kuvvetlerin büyüklüğünü kontrol etmektedir. Yüklü parçacıklar arasında hesaplanan itme kuvveti yapılan kabullere bağlıdır. Fakat bütün teorik ifadeler itme kuvvetinin $1/x$ değerlerine bağlı olduğunu göstermiştir. Eğer bu değer iyonik şiddetin artırılması ile azaltılırsa, elektriksel itme Van der Waals çekmesinin üstün gelmesi için yeteri kadar düşürülebilir. Böylece parçacıkların yumaklaşmasına izin verilir. Prensipte, bu tür destabilizasyon kolloidal dağılıma yeteri miktarda herhangi bir elektrolit eklenmesiyle sağlanabilir.

Pratikte, stabil bir süspansiyondan, yumaklaşan süspansiyona geçiş elektrolit konsantrasyonunun oldukça dar bir aralığında olmaktadır. Verilen bir tuz için "kritik flokülasyon konsantrasyonu" bulmak oldukça kolaydır. En basit teknik, aynı konsantrasyonda kolloidal parçacık içeren, fakat artan miktarda elektrolit içeren bir seri tüp hazırlamaktır. Bir süre sonra bu örnekte kritik tuz konsantrasyonunun üstünde yumaklar görülür. Şekil 3.4.'de böyle bir deneyin sonuçları verilmiştir. Buradan kritik yumaklaşma konsantrasyonu gösterildiği şekilde bulunabilir.

Yüksüz elektrolitler için kritik flokülasyon konsantrasyonları, çözelti konsantrasyonu ve parçacık büyüklüğünden bağımsız olmalıdır.



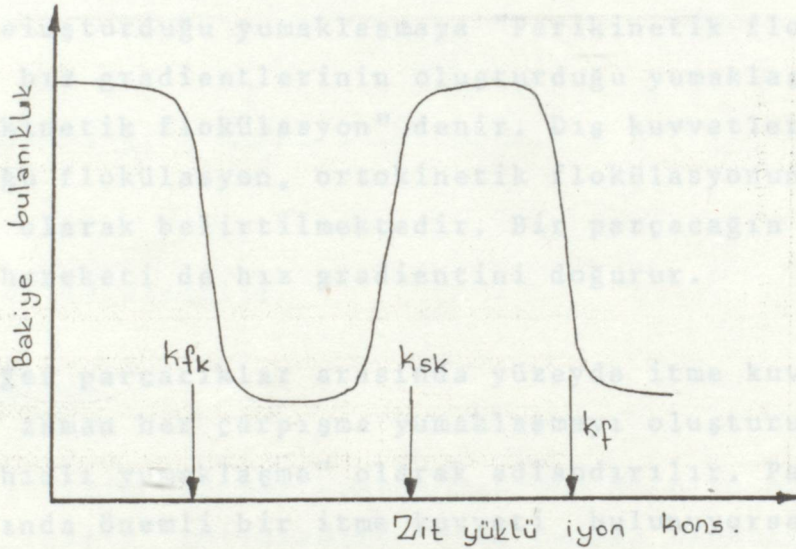
Şekil 3.4. Yüksüz elektrolitlerin kolloid stabilitesi-
ne etkisi

3.6.2. ADSORBSİYON FLOKÜLASYONU

Zıt yüklü iyonların kolloidal parçacıklar üzerine adsorbe edilmesiyle parçacık yükü azaltılır ve flokülasyon oluşabilir. Bu tür flokülasyon "adsorbsiyon flokülasyonu" olarak adlandırılmaktadır. Elektrostatik olmayan yapının etkileşmelerinden de spesifik adsorbsiyon oluşur. Elektrostatik olmayan özellikler, hidrofobik bağlanma, Van der Waals kuvvetleridir. Spesifik adsorbsiyon da, zıt yüklü iyonların daha fazla adsorbsiyon ile parçacık yükü tersine çevrilebilir ve yüzey potansiyeli parçacıkların restabilizasyonuna neden olabilecek ölçüde yüksek olabilir.

Flokülasyon ve restabilizasyonu oluşturmak için, spesifik olarak adsorbe olan zıt yüklü iyonların gerekli olan konsantrasyonları, kritik flokülasyon konsantrasyonu " k_{fk} " ve kritik stabilizasyon konsantrasyonu " k_{sk} "

olarak bilinmektedir. Zıt yüklü iyonların daha fazla eklenmesi, yüksüz elektrolitler gibi çift tabaka sıkışmasına neden olarak iyonik şiddeti artıracaklarından flokülasyon tekrar gözlenebilir. Buna göre, spesifik olarak adsorbe edilen zıt yüklü iyonların farklı konsantrasyonlarındaki bir seri stabilite hesaplamaları, Şekil 3.5'ya benzer sonuçlar verebilir. Şekilde flokülasyon ve restabilizasyon gösterilmektedir. Yüksüz elektrolitlerdeki gibi yüksek konsantrasyonlarda daha ileri flokülasyon bölgesi bulunabilir.(4)



Şekil 3.5. Spesifik olarak adsorbe olan zıt yüklü iyonların kolloid stabilitesine etkileri

Adsorbsiyon flokülasyonun çok önemli bir özelliği de kritik flokülasyon konsantrasyonun ve kritik stabilizasyon konsantrasyonunun parçacık konsantrasyonuna bağlı olmasıdır. Bu konsantrasyonlar tümüyle zıt yüklü iyonların adsorbsiyonu için gerekli parçacıkların toplam yüzey alanına bağlıdır.(5)

3.7. HIZ TEORİLERİ

Bir sıvı içindeki parçacıkların yumaklaşması parçacıkların relatif hareketlerinin oluşturduğu çarpışmalara bağlıdır. Bu kısmi hareket, Brownian hareketi, hız gradientleri doğuran sıvı hareketi veya bir dış kuvvetin neden olduğu parçacık hareketi ile oluşturulabilir.

Yumaklaşma hızı, relatif hareketin neden olduğu çarpışma frekansı ile bulunabilir. Brownian hareketinin oluşturduğu yumaklaşmaya "Perikinetik flokülasyon", hız gradientlerinin oluşturduğu yumaklaşmaya da "Ortakinetik flokülasyon" denir. Dış kuvvetlerin neden olduğu flokülasyon, ortokinetik flokülasyonun özel bir hali olarak belirtilmektedir. Bir parçacığın sıvıya göre hareketi de hız gradientini doğurur.

Eğer parçacıklar arasında yüzeyde itme kuvveti yoksa, o zaman her çarpışma yumaklaşmayı oluşturur ve proses "hızlı yumaklaşma" olarak adlandırılır. Parçacıklar arasında önemli bir itme kuvveti bulunuyorsa, çarpışmaların yalnız bir bölümü yumaklaşmayı oluşturur. Bu proses ise yavaş yumaklaşma olarak adlandırılır.

3.7.1. PERİKİNETİK FLOKÜLASYON

Rastgele hareketler olarak nitelendirebileceğimiz Brownian hareketleri, sıvının termal enerjisi tarafından oluşturulmaktadır. Başlangıçta bir parçacığı sabit olarak kabul edip, kollektöre göre diğer parçacıkların Brownian hareketince oluşturulan difüzyon hızını hesaplamak

yararlıdır. Parçacıklar kollektöre bağlandığı süspansiyondan uzaklaştıkları için, kollektörün çevresinde bir konsantrasyon gradienti oluşur. Kararlı halde konsantrasyonlar zamana bağlı değildir ($dNi/dt=0$)

Bir küresel parçacık için 2. Fick yasası kullanılarak,

$$\frac{dNi}{dt} = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} (r^2 D_i \frac{dNi}{dr}) \dots (3.3)$$

$$\frac{dNi}{dt} = D_i \left(\frac{d^2 Ni}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dNi}{dr} \right) = 0 \dots (3.4)$$

eşitliklerine ulaşılır.

Burada;

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

D_i : "i" parçacıklarının difüzyon katsayısıdır.

Bu eşitlik için sınır koşulları;

$r = R_{ij}$ 'de $N=0$ 'dır.

Yani, $R_{ij} = r_i + r_j$ ile gösterilen j kollektörünün yüzeyinde, sıvının konsantrasyonu sıfırdır.

$r = \infty$ 'da $N_i = N_0$ 'dır.

Büyük bir uzaklıkta, parçacık konsantrasyonu değişmemekte ve orjinal değerinde sabit kalmaktadır. 0 zaman (3.4) eşitliğinin çözümü;

$$\frac{N_i}{N_o} = 1 - \frac{R_{ij}}{r} \quad (3.5)$$

$$\frac{dN_i}{dr} = \frac{N_o R_{ij}}{r^2} \quad (3.6)$$

halini alır.

Bu eşitlikler, yerel konsantrasyonu ve konsantrasyon gradientini radyal uzaklığın fonksiyonu (r) olarak vermektedir.

Diffüze olan parçacıkların hızı, 1. Fick yasası ile verilmektedir.

$$\frac{dN}{dt} = 4 \pi R_{ij}^2 D_i \frac{dN_i}{dr} \quad (3.7)$$

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

$r=R_{ij}$ olduğunda (3.6) eşitliği, (3.7) eşitliğinde yerine konarak,

$$\frac{dN}{dt} = 4 \pi R_{ij} D_i N_o \quad (3.8)$$

eşitliğine ulaşılır.

Kollektörün kendisi de Brownian hareketinin etkisi altında olduğundan etkili difüzyon katsayısı,

$$D_{ij} = D_i + D_j \text{ 'dir} (3.9)$$

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

$$\frac{dN_{ij}}{dt} = 4\pi R_{ij} D_{ij} N_i N_j (3.10)$$

şeklindedir.

Eğer $k=i+j$ alınırsa, $N_k=N_{ij}$ olur. Başlangıçta tüm parçacıklar aynı ve agregatlar küresel olarak kabul edilirse o zaman (3.10) eşitliği, başlangıçta monodisperse olan bir sistemde "k" parçacıklarının oluşum hızı için adapte edilebilir:

$$\frac{dN_k}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{k-1} 4\pi R_{ij} D_{ij} N_i N_j - N_k \sum_{i=1}^{\infty} 4\pi R_{ik} D_{ik} N_i (3.11)$$

Birinci terim, $i-j$ çarpışmaları ile oluşan "k" parçacıklarının oluşum hızını, ikinci terim, diğer

parçacıkların çarpışması ile yok olan "k" parçacıklarının yok olma hızını vermektedir. Her çarpışma iki kez sayılacağından, 1/2 faktörü bir kez "i" parçacığı ve bir kez de "j" parçacığı için birinci terime uygulanmaktadır.

Bir "i" parçacığı için Stokes-Einstein eşitliği-ne göre difüzyon katsayısı D_i ,

$$D_i = \frac{K_B T}{6 \pi r_i \mu} \quad (3.12)$$

dir.

Burada;

K_B : Boltzmann sabiti

T : Mutlak sıcaklık

μ : Sıvının dinamik viskozitesi'dir.

(3.12) eşitliğinden difüzyon katsayısının parçacık yarıçapı ile ters orantılı olduğu görülmektedir.

Buna göre, R_{ij} ve D_{ij} , ilk monodisperse parçacıklarının difüzyon katsayısı cinsinden yazılabilir.

$$R_{ij} D_{ij} = (r_i + r_j) (D_i + D_j)$$

$$R_{ij} D_{ij} = (r_i + r_j) D_i \cdot r_i \left(\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_j} \right) \quad (3.13)$$

"i" ve "j" parçacıklarının büyüklüğü eşit ise (3.13) eşitliği, .

$$R_{ij}.D_{ij} = 4D_1r_1 \dots \dots \dots (3.14)$$

halini alır.

Eşitlik (3.14), $1 < i/j < 2$ için iyi bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Aynı büyüklükte olmayan kürelerin çarpışmaları eşit büyüklükteki kürelerden daha sık olmaktadır. (3.14) eşitliği (3.11) eşitliğinde yerine koyulur ve toplanırsa, parçacıkların toplam sayısını veren eşitlik;

$$\frac{d \sum_{k=1}^{\infty} N_k}{dt} = 8 D_1 r_1 \left[\sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} N_i N_{j-2} \dots \dots (3.15) \right. \\ \left. \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} N_i N_k \right]$$

halini alır.

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

$$\frac{d \sum_{k=1}^{\infty} N_k}{dt} = -8 \pi D_1 r_1 \left[\sum_{k=1}^{\infty} N_k \right]^2 \dots \dots (3.16)$$

Negatif işaret parçacıklarının toplam sayısının flokülasyon sırasında azaldığını göstermektedir.

$$\begin{aligned} t=0'da \quad N_k &= N_0 \\ t=t'de \quad \sum_{k=1}^{\infty} N_k &= N_t' \text{ dir.} \end{aligned}$$

(3.16) eşitliği, ikinci derece eşitliğidir.

$$\frac{dN_k}{dt} = -8\pi D_1 r_1 N_t^2 \quad \dots \dots \dots (3.17)$$

(3.17) eşitliği integre edilebilir.

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN_t}{N_t^2} = -8\pi D_1 r_1 \int_0^t dt \quad \dots \dots \dots (3.18)$$

$$N_t = \frac{N_0}{1+8\pi D_1 r_1 N_0 t} \quad \dots \dots \dots (3.19)$$

$N_t = \frac{N_0}{2}$ olduğunda mevcut parçacıkların sayısı perikinetik flokülasyonla yarıya indirilmiştir. O zaman (3.19) eşitliği yarılanma süresi için aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

$$t_{1/2} = \frac{1}{8\pi D_1 r_1 N_0} \dots \dots \dots (3.20)$$

D_1 'in değeri (3.20) eşitliğinde yazılırsa;

$$t_{1/2} = \frac{3\mu}{4 K_B T N_0} \dots \dots \dots (3.21)$$

dir. Ve (3.19) eşitliği,

$$\frac{N_t}{N_0} = \frac{1}{1 + t/t_{1/2}} \dots \dots \dots (3.22)$$

25° C'da sudaki kolloidal parçacıklar için yarılanma süresi; $t_{1/2} = 1.63 \times 10^{17} / N_0$ 'dır. N_0 ; m³'deki parçacıkların sayısıdır. Bu yarılanma süresi parçacığın büyüklüğünden bağımsızdır (3.11) ve (3.14) eşitliklerinin integrasyonu ile her tür agregatın konsantrasyonu zamanın fonksiyonu olarak hesaplanabilir:

$$\frac{N_1}{N_0} = \frac{1}{(1 + t/t_{1/2})^2} \dots \dots \dots (3.23.a)$$

$$\frac{N_2}{N_0} = \frac{(t/t_{1/2})^2}{(1+t/t_{1/2})^3} \dots \dots \dots (3.23 b)$$

$$\frac{N_k}{N_0} = \frac{(t + t_{1/2})^{k-1}}{(1 + t/t_{1/2})^{k+1}} \dots \dots \dots (3.23 c)$$

3.7.2. ORTOKİNETİK FLOKÜLASYON

Perikinetik flokülasyon olayında parçacıklar arasında çarpışmayı sağlayabilmek için sıvıda kayma hareketinin olması gerekir. Bu da hız gradientlerinin oluşturulması ile sağlanır. Parçacıkların çevresindeki sıvının hareketiyle çarpışma oluşturulur. Bu şekilde oluşan yumak agregasyon işlemine "ortokinetik flokülasyon" denir.

Sıvıda ki hız gradienti ne kadar büyükse, belli bir zamandaki parçacıklar arası çarpışmalarda o kadar fazla olacaktır. Bununla birlikte, hız gradientleri ne kadar büyükse, büyük yumakların sürekli kırılmasından dolayı yumakların boyutları küçülür. Bu nedenle verilen bir hız gradienti için yumak parçacıklarının daha fazla büyüemeyeceği sınırlı bir yumaklaşma süresi olmalıdır. Hız gradientinin daha düşük olması halinde, optimum yumak büyüklüğüne ulaşabilmek için gerekli zaman daha fazladır. Ama sonuçta oluşan yumak daha büyüktür.

Flokülasyon kinetiğinin basit teorisi sabit bir hız gradientini veren uniform sıvı kayma düzleminde çıkarılabilir. Böyle sabit hız gradientlerini pratikte başarmak zordur. Sonuç olarak teori, türbülent akım koşullarında oluşturulan hız gradientlerine uygulanmak üzere genişletilmek zorundadır.

3.7.2.1. ÜNİFORM KAYMA ALANI

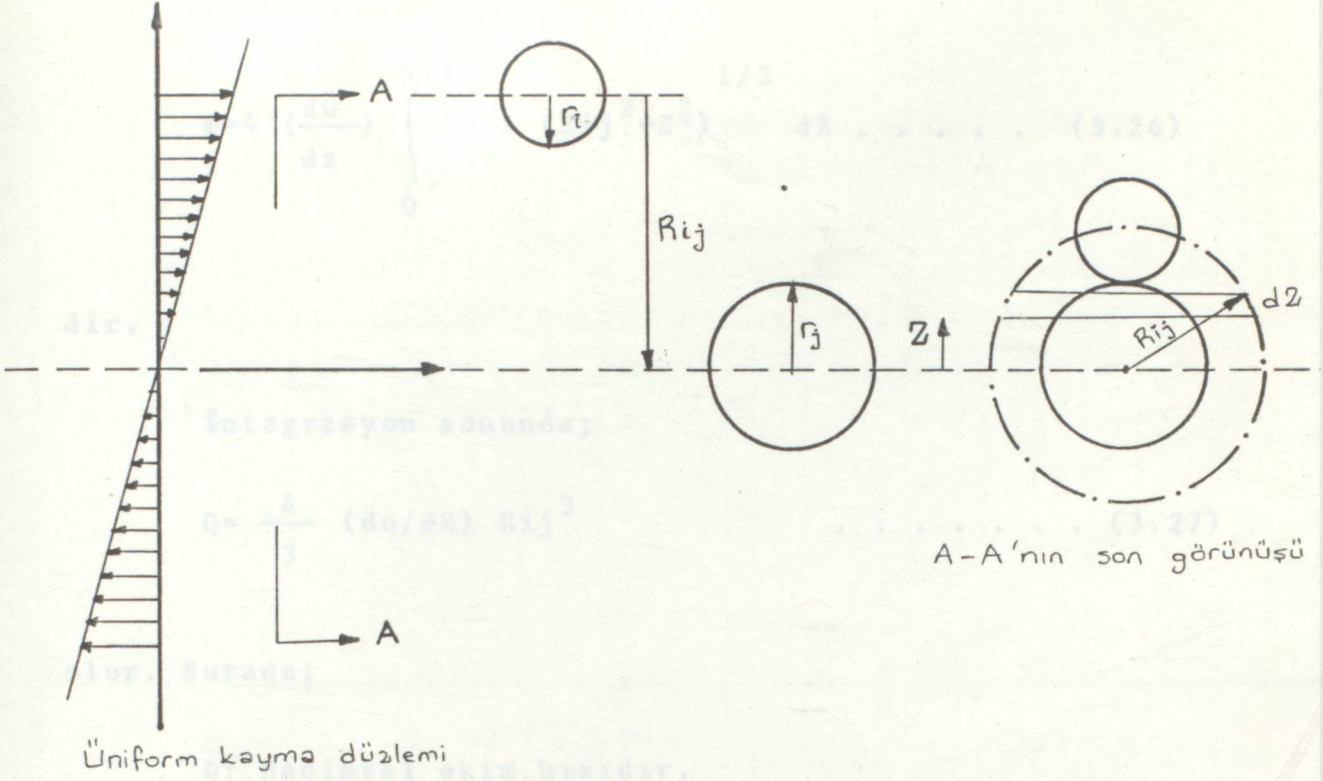
Çarpışmaları relatif hareketler oluşturduğuna göre bu durumda bir "j" parçacığını kollektör olarak almak yararlıdır. Kollektör, sabit hız gradientine sahiptir.

Parçacıkların varolmasıyla üniform kayma düzleminin bozulmadığını, bundan dolayı "i" parçacıklarının yolunun aynı yönde olduğu kabul edilmektedir. Arp ve Mason tarafından geliştirilen yeni teori, parçacıkların akım çizgilerinin eğik olduğunu kabul etmektedir. (6)

Şekil (3.6)'ye göre merkez çizgisinin üstündeki "i" parçacıkları x yönünde hareket etmektedir. Eğer bu parçacıkların merkezleri yarı silindir yarıçapı R_{ij} 'nin içine düşerse ($R_{ij}=r_i+r_j$) bunlar, "j" parçacığı ile çarpışacaklardır ve "j" parçacığına göre hızları x düzleminde olan Z uzaklığına bağlı olup $Z \left(\frac{du}{dz} \right)$ 'e eşittir.

Element akımı = Alan x hız'dır.

olur. Negatif x yönünde de, altındaki yarı silindire aynı akım vardır. Buna göre j'ye göre toplam sıvı akımı:



Şekil 3.6. Ortokinetik flokülasyonun şematik gösterilişi

$$d\Theta = 2 (R_{ij}^2 - Z^2)^{1/2} dZ \cdot Z \left(\frac{du}{dZ} \right) \dots \dots \dots (3.24)$$

Üstdeki yarı-silindirde toplam akım, j'ye göre:

$$\Theta_{1/2} = 2 \left(\frac{du}{dZ} \right) \int_0^{R_{ij}} Z (R_{ij}^2 - Z^2)^{1/2} dZ \dots \dots \dots (3.25)$$

olur. Negatif x yönünde de, altındaki yarı silindirde aynı akım vardır. Buna göre j'ye göre toplam sıvı akımı;

$$Q = 4 \left(\frac{du}{dz} \right) \int_0^{R_{ij}} Z (R_{ij}^2 - Z^2)^{1/2} dZ \dots \dots \dots (3.26)$$

dir.

İntegrasyon sonunda;

$$Q = \frac{4}{3} \left(\frac{du}{dZ} \right) R_{ij}^3 \dots \dots \dots (3.27)$$

olur. Burada;

Q: Hacimsel akım hızıdır.

$(dV/dt)N_i$; birim hacimdeki parçacıkların sayısı olduğundan, "i" parçacıklarının "j" parçacıkları ile çarpışma hızı,

$$N_i \frac{dv}{dt} = \frac{4}{3} N_i \left(\frac{du}{dZ} \right) R_{ij}^3 \dots \dots \dots (3.28)$$

dir. Eğer, birim hacimde N_j tane "j" parçacığı varsa o zaman çarpışma sayısı dN_{ij}/dt ;

$$\frac{dN_{ij}}{dt} = N_i N_j \frac{dv}{dt} = \frac{4}{3} N_i N_j \left(\frac{du}{dZ} \right) R_{ij}^3 \dots \dots \dots (3.29)$$

halini alır. Agregatların büyüklüğünün değişim hızı, çarpışmalardan dolayı agregatların açığa çıkması ile ve

onların diğer parçacıklarla çarpışmaları sonucu yok olmalarıyla verilmektedir.

$$\frac{dN_k}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{\substack{i=1 \\ j=k-i}}^{i=k-1} \frac{4}{3} N_i N_j \left(\frac{du}{dZ} \right) R_{ij}^3 \quad (3.30)$$

$$N_k \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4}{3} N_i \left(\frac{du}{dZ} \right) R_{ik}^3 \quad \dots \quad (3.30)$$

Hız gradienti (du/dZ) genellikle G sembolü ile verilmektedir.

Çarpışma yarıçapı R_{ij} , ilk parçacıkların yarıçapı r_1 'e bağlı olabilir. Tanıma göre, birleşme kabulüde yapılırsa, bir "i" parçacığının V_i hacmi, primer parçacığın hacminin i katıdır. r_i , yarıçaplı bir parçacığın hacmi;

$$V_i = i \frac{4}{3} \pi r_1^3 = \frac{4}{3} \pi r_i^3 \quad \dots \quad (3.31)$$

dir.

şeklinde ifade edilir.

$$ir_1^3 = r_i^3$$

Negatif işaret parçacıkların toplam sayısının floku-
lasyon $R_{ij} = r_i + r_j$ olduğunu göstermektedir.

$$R_{ij}^3 = r_1^3 (i^{1/3} + j^{1/3})^3 \quad \dots \dots \dots (3.32)$$

(3.32) eşitliğini kullanarak ve $G = \frac{du}{dz}$ koyarak (3.30) eşitliği parçacıkların toplam sayısı için toplanabilir.

$$\frac{d}{dt} \sum_{k=1}^{\infty} N_k = \frac{16}{3} Gr_1^3 \dots \dots \dots (3.35)$$

$$\left[\sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} N_i N_j (i^{1/3} + j^{1/3})^3 - 2 \sum_{i=j}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} N_i N_k (i^{1/3} + k^{1/3})^3 \right] \dots \dots (3.33)$$

Olabilen tüm kombinasyonlar gözönünde bulundurulduğunda, "k" parçacıkları da "i" ve "j" parçacıklarını tüm bölgede içereceğinden ve eğer $i \approx j$ ise;

$$\frac{d}{dt} \sum_{k=1}^{\infty} N_k = \frac{16 Gr_1^3}{3} \left[\sum_{k=1}^{\infty} N_k^2 k^{-2} - \sum_{k=1}^{\infty} N_k^2 k \right]$$

$$= - \frac{16 Gr_1^3}{3} \sum_{k=1}^{\infty} N_k^2 k \quad \dots \dots \dots (3.34)$$

şeklinde ifade edilir.

Negatif işaret parçacıkların toplam sayısının flokülasyon sırasında azaldığını göstermektedir.

Başlangıçta, monodispers bir süspansiyon için $t=0$ 'da $k=1$ ve $N_k=N_0$ olur. (3.34) eşitliği basit ikinci derece eşitliğine dönüşür.

$$-\frac{dN_1}{dt} = \frac{16}{3} Gr_1^3 N_0^2 \dots \dots \dots (3.35)$$

Limit büyüklük bir "p" parçacığı olarak belirtilebilir ve (3.33), (3.34) eşitliklerinin toplamaları $i=1$, $j=1$ ve $k=1$ 'den p 'ye gitmektedir, t süresinde;

$$\sum_{k=1}^p N_k = N_t \text{ ' dir.}$$

(3.34) eşitliği;

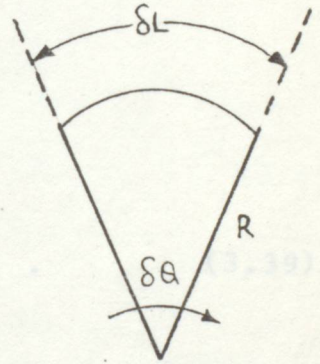
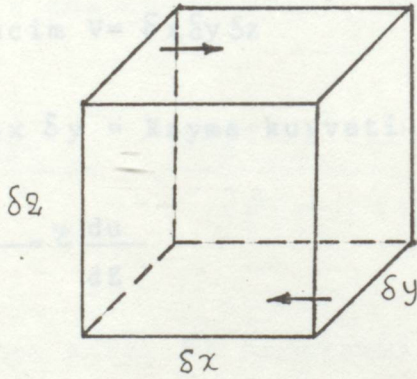
$$-\frac{dN_t}{dt} = \frac{16}{3} Gr_1^3 \sum_{k=1}^p N_k^2 \dots \dots \dots (3.36)$$

halini alır.(3.36) eşitliğindeki toplam terim, Harris tarafından dört şekilde verilmiş olan bir boyut dağılım fonksiyonudur. Bunlar; boyutları sınırlı ve sınırsız agregatların, primer parçacıkların sayısı içindir.(7)

3.7.2.2. ÜNİFORM OLMAYAN KAYMA ALANI

Üniform olmayan kayma alanındaki G 'nin değeri du/dZ ile gösterilemez. G 'yi tanımlamak için genel olarak kabul edilen yaklaşım Canap ve Steni tarafından yapılan yaklaşımdır. Bu yaklaşım G 'yi üniform olmayan kayma akışı ile birim sıvı hacmine dağıtılan güç cinsinden hesaplamaktadır. (8)

Kaymayla karşı karşıya kalan küçük bir sıvı elementini ($\delta x, \delta y, \delta z$ kübü) göz önüne alalım. Bu elementin kayma gerilimi τ 'dur. Kaymada bu kübe burulma işi yapılmaktadır.



Şekil 3.7.. Üniform olmayan kayma alanında G 'nin çıkarılması

$$\text{Güç} = \frac{\dot{L}}{\text{Zaman}} = \text{tork} \times \text{açısal hızı}$$

Küçük bir dönme için;

$$\delta Q = \frac{\delta L}{R}$$

dir.

$$\text{Açısal hız} = \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{R} \frac{dl}{dt} = \frac{u}{R} = \text{Hız gradienti} \dots (3.37)$$

Güç $P = \text{tork} + \text{hız gradienti}$

$$= (\tau \delta x \delta y) \delta z \times \frac{du}{dz} \dots \dots (3.38)$$

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

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

$$\frac{P}{V} = \tau \frac{du}{dz} \dots \dots (3.39)$$

Newton tipi bir akışkan için, $\tau = \mu \frac{du}{dz}$ 'dir.

Burada μ , dinamik viskozitedir.

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

$$\frac{du}{dz} = G = \left(\frac{P}{v\mu} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (3.40)$$

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

3.7.3. PERİKİNETİK VE ORTOKİNETİK HIZLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

(3.12) eşitliği ile verilen Stokes-Einstein difüzyon fonksiyonu (3.17)'deki perikinetik hız eşitliğinde yerine koyulursa, flokülasyon hızının parçacık büyüklüğünden bağımsız olduğu görülmektedir. (P, işareti perikinetiği göstermektedir).

$$P \left(\frac{dNt}{dt} \right) = - \frac{4K_B T Nt^2}{3\mu} \dots \dots \dots (3.41)$$

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

Ortokinetik yumaklaşma hız eşitliği (3.34) ile verilmektedir. (0, işareti ortokinetiği göstermektedir)

$$O\left(\frac{dN_t}{dt}\right) = - \frac{16 Gr_1^3}{3} \sum_{k=1}^P N_k k^2 \dots \dots \dots (3.34)$$

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

$$\frac{O(dN_t/dt)}{P(dN_t/dt)} = \frac{4G \mu r_1^3}{K_B T} \sum \frac{N_k^2 k}{N_t^2} \dots \dots \dots (3.42)$$

dır.

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

$$\frac{O(dN_t/dt)}{P(dN_t/dt)} = \frac{4G \mu r_1^3}{K_B T} \dots \dots \dots (3.43)$$

Ortokinetik hız, perikinetik hıza eşit olduğu zaman,

$$r_1 = \left(\frac{K_{BT}}{4G \mu} \right)^{1/3} \dots \dots \dots (3.44)$$

olur.

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

3.7.4. YAVAŞ YUMAKLAŞMA

Hız teorilerinin gelişiminde, her çarpışmanın agregasyonla sonuçlandığı kabul edilmiştir. Bu kabule göre parçacıkların tümü stabilize olmaktadır; bununla birlikte süspansiyonlar halâ kısmen kararlı halde olabilir ve çarpışmaların yalnız bir kesri etkilidir. Bu kesir α değeri ile gösterilebilir ve $\alpha=1$ 'de hızlı yumaklaşma oluşur. Perikinetik eşitlik (3.17) o zaman şu hale gelir=

$$-\frac{dNt}{dt} = 8\alpha D_1 r_1 Nt^2 \quad \dots \dots (3.45)$$

Parçacıkların süspansiyonunun kısmî stabilitesine elektriksel çift tabaka ve Van der Waals kuvvetleri nedeniyle mevcut olan bir enerji engeli neden olmaktadır. Bu engel, Fuchs tarafından verilen α ifadesinin elde edilmesini sağlamaktadır.(9)

Bu ifade potansiyel enerji fonksiyonunun "S" uzaklığına göre integrasyonu ile elde edilmiştir.

$$\frac{1}{\alpha} = 2 \int_2^{\infty} \exp(V_s/K_B T) \frac{dS}{S^2} \quad \dots \dots (3.46)$$

$$S = \frac{2d}{(r_i + r_j)} \dots \dots \dots (3.47)$$

Hız teorileri daha ileri derecelerdeki flokülasyonla doğrudan uygulanamaz. Çünkü bu durumlarda kararlı ve Parçacıklar arası uzaklık "d" olduğunda, parçacıkların potansiyel etkileşme enerjisi "V_s" dir. Enerji engelini düşürmede ve böylece α 'yı l'e doğru artırmada elektrolitlerin etkileri Gregory tarafından verilmiştir. (10)

Yumaklaşma hızını azaltan diğer bir etken sıvı ve parçacıklar arasındaki filmin incelmesidir. Bu film laminar koşullar 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 temasdan kaçarlar. Van de ven ve Mason tarafından yapılan yayında eşit parçacıklı bir kısım çiftlerin nasıl oluşabildikleri gösterilmiştir. Bu çiftler, ikinci minimum enerjide tutularak birbirinin çevresinde dönmektedirler veya sürekli bir teması sağlamadan önce birkaç kez dönebilirler. Araştırmacıların buldukları sonuçlar Brownian hareketi ihmal edildiğinde, seyreltik küresel süspansiyonların düşük ve yüksek sıvı kayma gradientlerinde kararsız olduklarını fakat 8-radaki değerlerde kararlı olduğunu göstermiştir. (11)

3.5.1.1. COULTER COUNTER

Coulter Counter, tüm dünyada sıvıların ve katıların 10⁻⁶ litre kontrol laboratuvarlarında bulunması için çok kullanılan

3.8. DENEYSEL YÖNTEMLER

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 ve bozmaya yeterli hidrodinamik ve genel kuvvetlerle karşı karşıya kalabilirler. Böylece doğal olarak yüzen parçacıkların dışında çökelme oluşacak ve polikinetik teori kesin olmayacaktır.

Flokülasyon hızını araştırmak için iki yaklaşımda bulunabilir:

a) Zamanın fonksiyonu olarak mevcut parçacıkların sayısını bulmak,

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

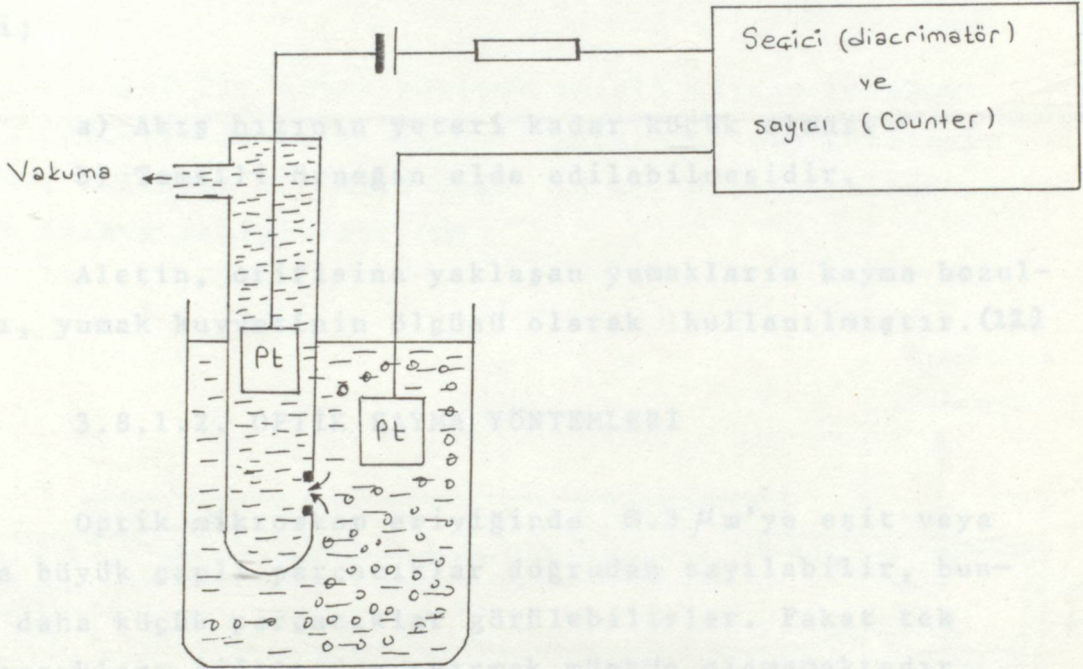
3.8.1. PARÇACIK SAYMA YÖNTEMLERİ

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

3.8.1.1. COULTER COUNTER

Coulter Counter, tüm dünyada araştırma ve kalite kontrol laboratuvarlarında bulunan, en çok kullanılan

parçacık boyut analizi aletlerinden biridir. Bu alet bir orifise karşı bir elektrolitin elektrik rezistansının ölçülmesi yoluyla çalışmaktadır. Ölçülen parçacıklar orifis içinden pompalanan elektrolitte süspanselindedir. Deneyler sırasında orifis akımı sabit tutulmaktadır. Coulter Counter'in esas yapısı Şekil (3.8)'da görülmektedir.



Şekil 3.8. Coulter Counter'in sematik gösterimi

Flokülasyon çalışmaları için, Coulter Counter'de parçacıklar 1 μ m çapından daha küçük olursa aletin radyo sinyali "hidrodinamik odaklama" ile gelişmiş olduğundan sinyaller uygun olarak ayarlanır. Flokülasyon

proseslerinin ilk çalışmalarında tek ve çift tanecikler arasını ayırmak gerekmektedir. Coulter - Counterin bir karakteristiği de orifise bitişik çok türbilent rejimde bulunmasıdır. Türbilent rejim, incelenen yumakların bozulmasına neden olabilir.

Coulter Counter kesikli çalışan bir alettir. Karıştırılan bir kaba yerleştirilen bu alet, dispersiyonları saymaktadır. Sürekli sistemin kullanılmamasının nedeni;

- a) Akış hızının yeteri kadar küçük olması
- b) Temsili örneğin elde edilebilmesidir.

Aletin, orifisine yaklaşan yumakların kayma bozulması, yumak kuvvetinin ölçüsü olarak kullanılmıştır. (12)

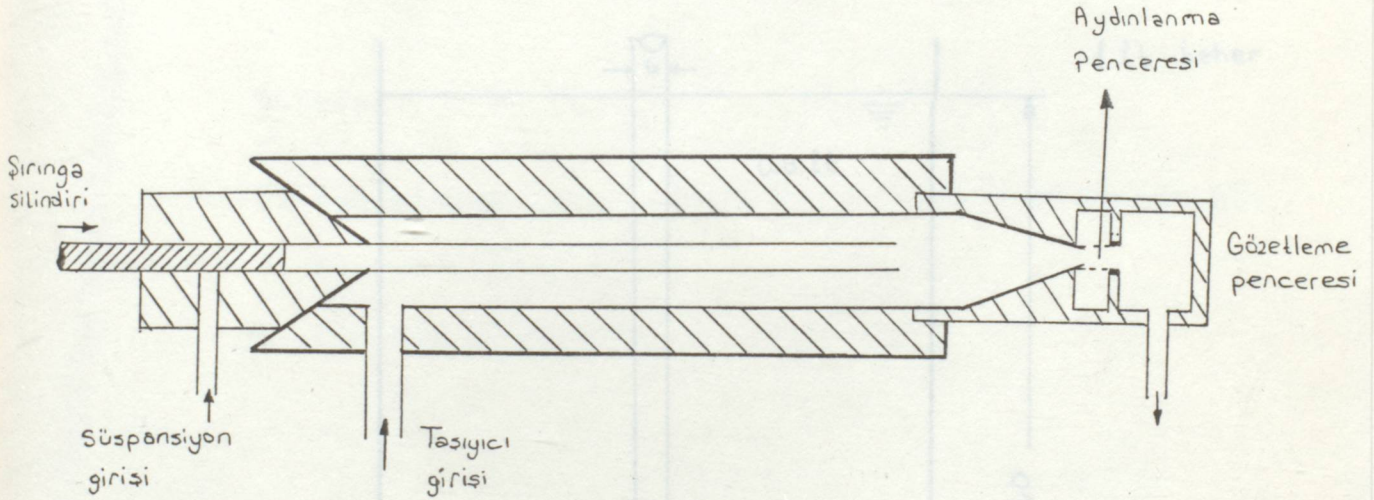
3.8.1.2. OPTİK SAYMA YÖNTEMLERİ

Optik mikroskop eriyiğinde $0.3 \mu\text{m}$ 'ye eşit veya daha büyük çaplı parçacıklar doğrudan sayılabilir, bundan daha küçük parçacıklar görülebilirler. Fakat tek parçacıkları çiftlerden ayırmak mümkün olamamaktadır. Mikroskop altındaki parçacıklar ışığın saçılması ile daha kolay olarak görülmektedir.

Süspanse parçacıkları saymak için uygun bir yol kan hücreleri sayımı için orjinal olarak dizayn edilen haemoeytometer kullanmaktır. Bu alet sabit derinlikte bir hücreden oluşmakta ve bilinen alanın kareleri ile ölçüm yapılmaktadır. Akışkandaki bu taneciklerin konsantrasyonu, karelerin bilinen sayısı üzerine parçacıkların

sayısının sayılması ile hesaplanabilir. Fakat mutlak tanecik sayısını bulmak mümkün değildir. Mikroskopik parçacıklar için benzer relatif sayımlar elektron mikroskobu kullanarak yapılabilir. Tüm mikroskop yöntemlerinde kesin sonuçlar elde edilememektedir. Çünkü numunenin hazırlanması sırasında yumaklar kırılmaktadır. Elektron mikroskobu için numunelerin hazırlanmasında parçacıkların dağılımının bir örneğini hazırlamak çok güçtür.

Diğer bir sayma yöntemi akışlı ultramikroskop-tur. Parçacıklar ancak Tyndall saçılması ile görülmektedir. McFadyen ve Smith Şekil (3.19) da belirtilen aleti dizayn etmişlerdir (13)



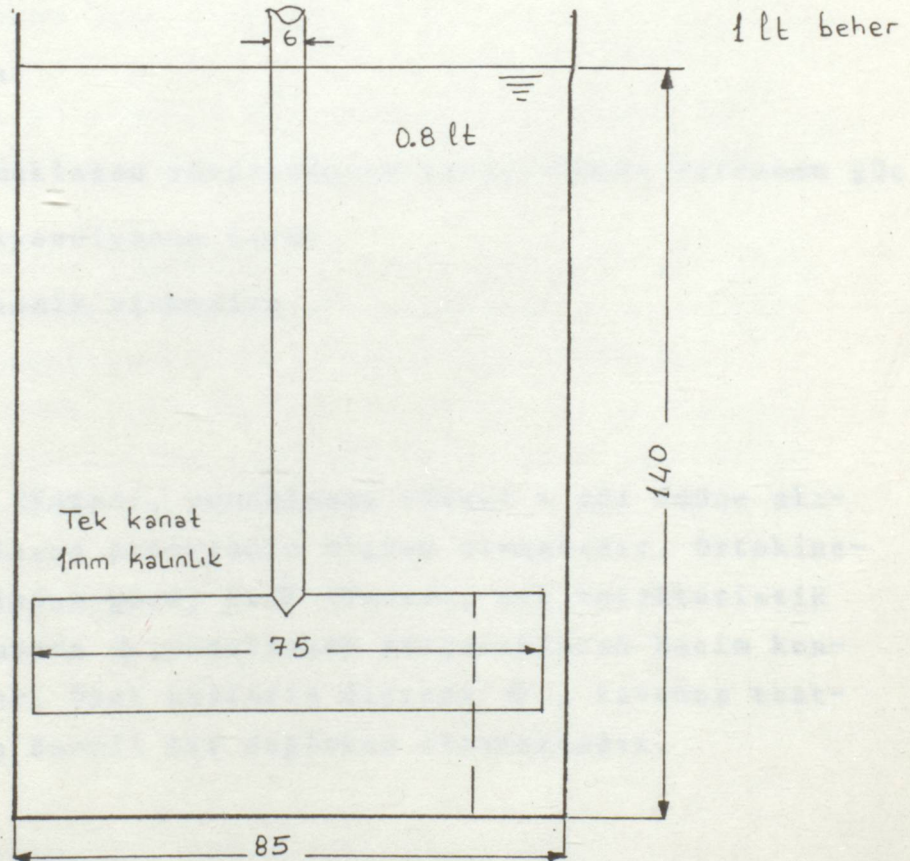
Şekil 3.19 Akımlı ultramikroskop

Bu alet 0.2-1.9 μ m den daha büyük çaplı monodispers parçacıkların ve polidispers karbon siyahının gözlenmesinde kullanılmıştır.

3.8.2. JAR TESTİ

Mikroskopla sayma teknikleri , ya karanlık yer aydınlatması ya da elektron mikroskobu örneklerinin hazırlanmasını gerektirmektedir. Coulter-counter aletiyle yapılan ölçümlere de yalnız yaklaşık 0.7 μ 'dan aşağı çaplarda güvenilmektedir.

Jar testi aletlerinin çoğu birbirine benzemesine karşın, mevcut standart dizaynı veya standart prosedürü yoktur. Karıştırıcının ve beherin tipik bir dizaynı Şekil (3.10)'de gösterilmektedir.



Şekil 3.10 Tipik bir Jar testi karıştırıcısı

Tipik işletme koşulları aşağıda verilmiştir:

Hızlı karıştırma	120 dev/dak	1 dak .
Yavaş karıştırma	40 dev/dak	15 dak.
Çökelme	0 dev/dak	10 dak.

Kavanoz aletlerinin dizaynı ve işletilmesinde değişmelerin olmasından dolayı, karşılaştırmanın esası "ortalama hız gradienti" olabilir (14).

$$G = \left(\frac{P}{V \mu} \right)^{1/2} \quad (3.48)$$

Burada:

P: Yumaklaşan süspansiyonu karıştırmada harcanan güç

V: Süspansiyonun hacmi

μ : Dinamik viskozite

dir. Boyutsuz G.t ifadesi, yumaklaşma süresi t göz önüne alınırsa, yumaklaşma prosesinin ölçüsü olmaktadır. Ortokinetik hız teorisine göre, $Gt\phi$ ifadesi, çok karakteristik olacaktır. Burada ϕ , yumaklaşan parçacıkların hacim konsantrasyonudur. Özel hallerin dışında ϕ , kavanoz testleri arasında önemli bir değişken olmamaktadır.

Karıştırıcı kanattan suya aktarılan gücü hesaplamak için iki yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi, karıştırıcı shaftı üzerinde duyarlı bir torkmetre gerektirmektedir.

O zaman;

$$P = Tq.W \quad . . . (3.49)$$

dir.

Burada;

Tq : Ölçülen tork

W : Dönme hızı (rad/sn)

Bhole, bu tekniği kullanarak Şekil (3.10)'da gösterilen kanatlı karıştırıcıyı kalibre etmiştir (15).

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

$$P = C_d A_p \rho (V_p - V)^3/2 \quad (3.50)$$

Burada;

A_p : Karıştırma yönüne dik kanat alanı

V_p : Ortalama karıştırıcı hızı

V : Karıştırıcı hareketi yönünde ortalama süspansiyon hızı

dır.

G, aşağıdaki denklemle verilmektedir.

$$G = \left[\frac{C_d A_p \rho (V_p - V)^3}{2 V \mu} \right]^{1/2} \quad \dots (3.51)$$

Eşitlik (3.51)'de hesaplanması güç olan iki terim sürüklenme katsayısı "Cd" ve süspansiyon hızı "V" dir. Cd değerinin birçok yayınlarda 0.9-2.0 arasında olduğu kabul edilmiştir.

4. SENTETİK ELYAFLARIN, SEYRELTİK SÜSYANSİYONLARIN FİLTRASYONUNDA KULLANIMI

Sentetik elyaflar, ayırma proseslerinde ayırıcı zar veya filtre olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu elyafların yapısı, ince dağılmış katılar ile sıvıları ayırmaya uygundur. İşlem, endüstride ve işletmelerde yaygın olarak kullanılır. (26)

Filtrasyon proseslerinin ortak özelliği, geçirgen zar veya filtrenin, katı ve dağılmış fazı tutarken akışkanın geçmesine izin vermesidir. Bu fiziksel işlem ya akışkanın süzülmesi sırasında filtre yüzeyinde partiküllerin çökeltilmesiyle ya da partiküllerin ortam içinde tutulmasıyla yapılmaktadır. Her iki durumda da akışkanın geçebilmesi için filtre, gözenekli olmalıdır. Yüzeyel filtrasyon mekanizması, süspansiyondaki partiküllerin zarın yüzey gözeneklerinden daha büyük olması halinde kullanılır. Bu mekanizma, yüzeyde pasta oluşumuna neden olur. Partiküller yüzey deliklerinden daha küçükse filtre ortamından partiküllerin nüfuzu oluşacaktır. Partiküllerin ortamda tutulması için, ya ayrı liflerin yüzeyde bulundurulması ya da partiküllerin çapının gözenek boyutlarıyla aynı olması gereklidir.

Ayırma işlemi için, uygun aralıkta gözenek boyutları elde edildiğinden ($0.1 < dp < 30 \mu$) sentetik elyaflar önemlidir. Filtrasyonda yaygın olarak kullanılan materyaller, polimer veya cam elyafından yapılmaktadır. Bunlar polyester, polipropilen ve polimer tabakası ile kaplanmış malzemelerdir. Şekil 14.1)'de polyester elyafı ile kaplanmış bir kesitin fotomikrografı görülmektedir.



Sekil 4.1. Akışa dik alanda sentetik elyaf filtrenin bir kesitinin fotomikrografı

İmalat işlerinde, elyaf tabakaları verilen kalınlık-
daki bir materyal geliştirilerek elde edilir. Tabaka-
lar, lif şebekesi veya gelişigüzel bir düzen halinde
şekillendirilmiştir. Herbir lif farklı çapa sahip o-
labilir. Üretim yöntemi ortamda ilginç özellikler o-
luşturur. Örneğin; kesitler paralel ve dik alınmışsa
bu kesitlerin serbest alanda akış konumu genelde

aynı olmayacaktır. Bu kesitlerin yapısı, ortam anisotrop olduğundan farklıdır. Filtrasyonda akış her zaman lif tabakalarına dik yönde oluşmaktadır. Şekil (4.1)'de gösterilen materyal, tipik bir sentetik elyaf materyalidir.

Lifler, X-Y konumlarında uzanır. Oluşan materyal, X-Z veya Y-Z konumlarında düşey yönde kesme direncine karşı az dayanıklı olacaktır. Düzlemsel yapıyı yenmek bazı materyallerde tabakalar arasındaki liflerin yerini değiştirerek kısmen yok edilmektedir. Bu, materyal arasına iğneler itilerek yapılmaktadır. Filtrasyonda kullanılan sentetik elyafların yapısının, filtrasyon olayının tanımlandığı herhangi bir girişimden önce gözenekli ortamın kantitatif bir tanımının gerekliliği durumu birçok araştırmacı tarafından gözlemlenmiştir. Silindirik filamentler ile partiküllerin tutulması tüm aerosol filtrasyon teorisinin temelini oluşturur. Düzenli örgülerde, (Häppel) daireselde, (Hasimoto) üç açılı da (Fuchs) kademelendirilmiş hücreler önerilmiştir. Sentetik materyallerin kantitatif tanımı için Kirsch ve Fuchs (19) tarafından "fan model" düzenlemesi yapılmıştır. Bu ortam içinde, lif tabakalarının olduğu gözlenmiştir. Diğer tabaka paralel liflere birleştirilerek, tabakalar arasındaki liflerin üç açılı durumunun gelişigüzel olduğu belirlenmiştir.

Piekaar ve Clarenburg (20) tarafından sentetik ortamın belirli bir tabakasında gelişigüzel filamentlerin ağ oluşturması, gerçekçi bir yaklaşım olarak kabul edilmiştir. 1982'de Rollin, sentetik ortamın tanımı için bir model önermiş ve bunu partikül filtrasyonuna

uygulamıştır . Araştırmacıların geliştirdiği modelde akışa paralel yönde alınmış sentetik materyallerin . enine kesitleri belirlenmiştir. Daha sonra lif kesitlerinin Y-Z yönünde gelişigüzel dağıldığı ve filtrasyon sırasında partiküllerin, bu kesitlerde gösterilen lifler arasında oluşan yararlı boşluklarda tutulabildiklerinden elyafta alıkonabildikleri açıklanmıştır. Bu açıklamalardan yararlanarak, maksimum gözenek çapları saptanmış ve filtre performansının yorumu yapılmıştır (21).

Rollin ve diğer araştırmacıların kabul ettiği yaklaşım ilginçtir. Akışa paralel düzlemde partikül ayrımı için elyaflar arasında oluşturulmuş gözenekler, incelenen bölgede partikül filtrasyonu için baskın mekanizmadır. Sentetik elyafların enine kesiti üzerine benzetim şekilleri de temel kabullerdir.

Modelin gelişiminde iki temel kabul yapılmıştır. Bunlar:

1) Lifler aynı çapa sahiptir, buna karşın genelde böyle değildir.

2) Liflerin kesitleri daireseldir. Bu, akışa dik düzlemdeki paralel lifler aracılığıyla gözlenmiştir.

2. kabul kesindir ve modelin fiziksel anlamını sınırlar. Bütün pratik durumlarda sentetik elyafların akışa dik yapısının belirlenmesi, liflerin gelişigüzel bir düzenini gerektirecektir.

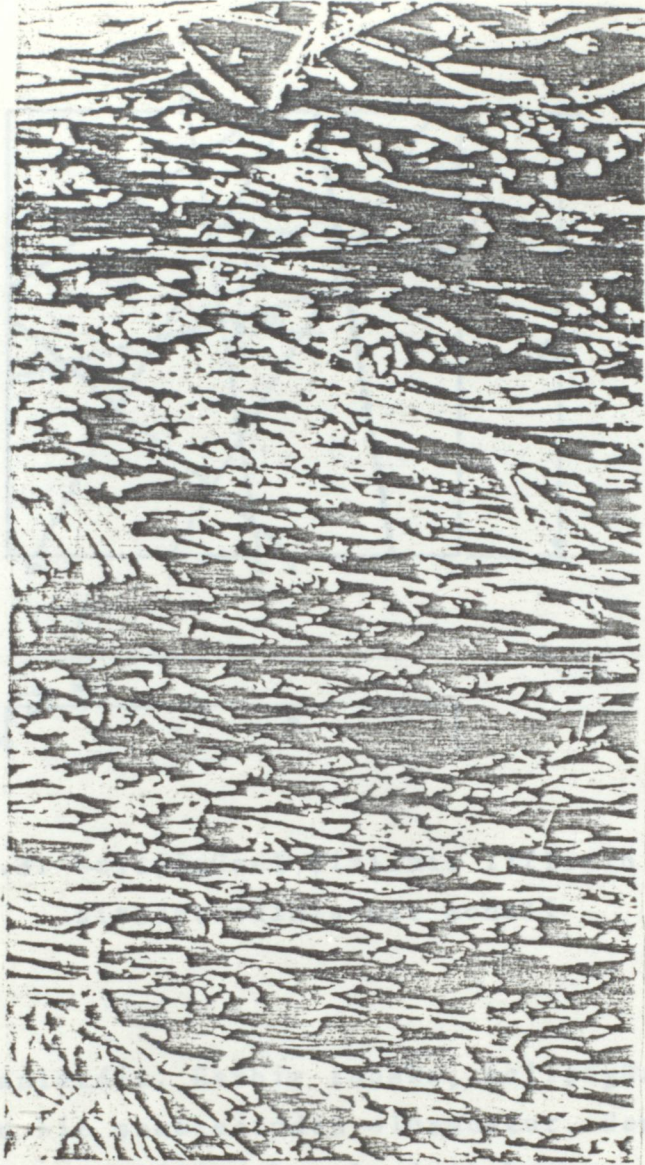
4.1. FİLTRASYONDA SENTETİK İŞLENMEMİŞ ELYAF- LAR İÇİN MODEL

Sentetik elyafların simulasyonunda kartezyen koordinatlar, gelişigüzel dizilmiş lifler x-y düzleminde ve sıvıların akışı Z yönünde olacak biçimde kullanılacaktır. Modelde; sentetik elyaflar akışa dik yöndeki eksenlerde yayılmış liflerden oluşmuştur. Liflerin silindirik olduğu gözlenmiştir ama elyaf, farklı çaplardaki ayrı liflerin birleşmesinden oluşabilir. Elyafın, tabakalar halinde ayrılabilir olduğu varsayılırsa, her tabakanının gelişigüzel dizilmiş liflerden oluştuğu kabul edilebilir. Lifler rijit çubuklar değildir, esnektir. Bu yüzden biri veya ikisi birbiri üzerine tabaka yapısını sürdürerek bağlanabilir. Sentetik polyester materyalinin kesitinin elektron mikrogaf görüntüsü Şekil (4.2)'de gösterilmiştir.

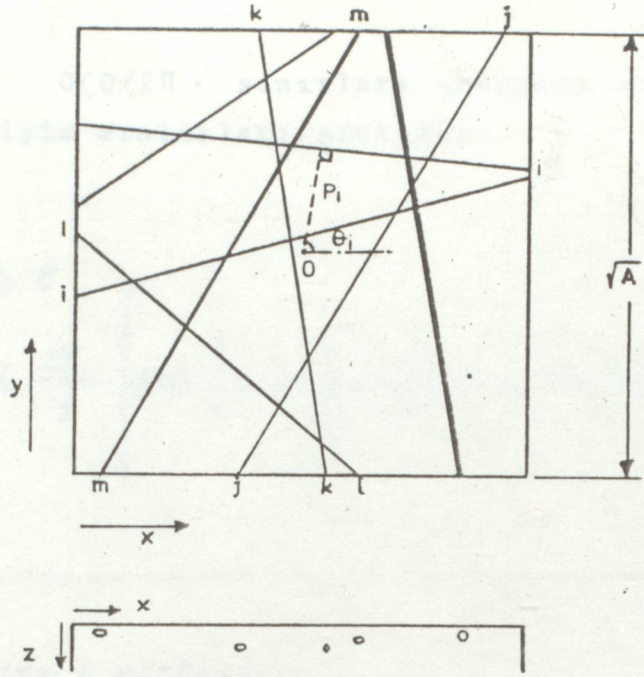
Sentetik materyallerin yapısına uygun geometrik benzetim geliştirmek mümkündür.

Elyaflar bükülebilirler, tabakanın maksimum kalınlığı, tabakayı tamamlayan liflerin maksimum çapının yaklaşık iki katı olacaktır.

Şekil (4.3)'de bu tabakanın $y=0$ 'da alınmış bir kesiti gösterilmiştir. Elyaf kesitleri elips olarak görünecektir, her bir elipsin büyük eksen, tabakadaki elyafların eğimine bağlı olmasına karşın, küçük eksenler elyafın çapına eşittir. Örnek, sekiz liften yapılmıştır. Lifler arasındaki aralıklar akışkanın akabildiği düzensiz



Şekil 4.2. Akışa paralel alanda sentetik elyaf
filtrenin bir kesitinin elektron mik-
rografı



Şekil 4.3. Gelişigüzel dizilmiş liflerin basitleştirilmiş bir modeli

durumdaki çokgenlerdir. Herbir tabaka, gelişigüzel dizilmiş liflerin bir şebekesinden oluşmuştur. Benzetim alanında yer alan bu lifin eksenlerinin konumu şöyledir:

$$x \cos \theta_i + y \sin \theta_i = P_i \quad \dots (4.1)$$

Dairesel bir alan, $0 < x < 1$, $0 < y < 1$ aralığında alınmıştır. P_i ve Q_i parametrelerinin değeri gelişigüzel seçilmiştir.

Burada

$Q_i, \quad 0 < Q < 2\pi$ sınırları arasında değişmektedir.

P_i 'nin değişim aralıkları şöyledir:

$$P_i \gg 0$$

$$P_i \ll \frac{\sqrt{2}}{2} \left[\text{ABS} \left\{ \text{Cos} \left[\left(Q - \frac{\pi}{4} \right) (2 \times \text{INT} \frac{(n+1)}{2} - 1) \right] \cdot (-1)^n \right\} \right]$$

..... (4.2)

$$n = \text{INT} (Q / (\pi/4) + 1)$$

Burada,

$\text{INT} (m)$: Tamsayı

$\text{ABS}(j)$: j 'nin mutlak değeri

dir.

Lif çapı seçilmiştir. Dağılım fonksiyonu biliniyorsa simulasyondaki her bir lifin çapı tanımlanmış olacaktır. Bir lif partikülünün çapı, merkezi limit teoremi ile hesaplanabilir.

$$d_i = \bar{d}_f + \frac{\sigma_f \left[\sum_{j=1}^{j=1} r_j - M/2 \right]}{\sqrt{M/12}} \quad \text{.....(4.3)}$$

Burada;

σ_f : Lif çapı standart sapması, M : Kütüphane sayısı, r_j : Kütüphane hacmi, d_i : Kütüphane çapı, $\bar{d}_f$: Kütüphane çapı ortalaması, $M/12$: Kütüphane çapı ortalaması.

Burada

$\bar{d}_f$: Ortalama lif çapı

σ_f : Standart sapma

d_i : Bir lif partikülünün çapı

r_j : 0.1 ve M tamsayısı arasında düzgün olarak dağıtılmış gelişigüzel bir sayı ($M \gg 12$)

dır.

Tabakadaki lifin toplam uzunluğu, L ile verilmiştir.

$$L = \sum_{i=1}^{i=n} l_i \quad \dots \quad (4.4)$$

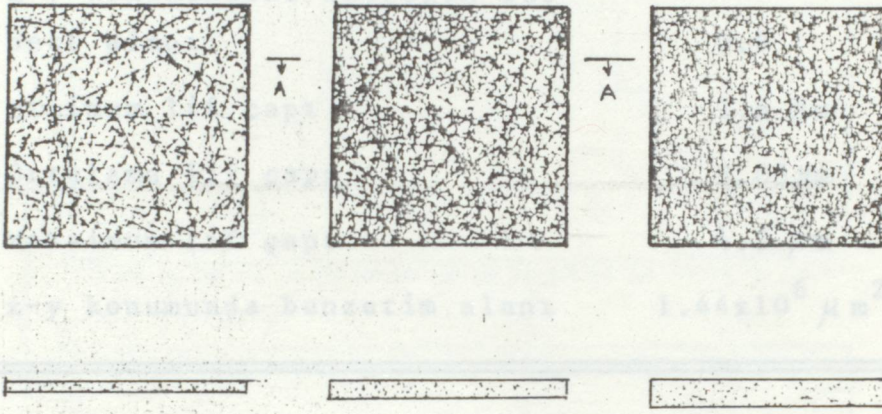
Tabakadaki lifin kütlesi, W_k :

$$W_k = \rho \sum_i \frac{\pi l_i d_i^2}{4} \quad \dots \quad (4.5)$$

Burada;

ρ : Lif malzemesinin mutlak yoğunluğudur. Malzemenin makroskopik özelliklerinden dolayı, kütle yoğunluğu, serbest hacim, istenen tabaka sayısı hesaplanabilmekte ve çok tabakalı bir elyafın simulasyonu tamamlanmaktadır.

Yapının analizine girebilmek için, gözenek boyutu, alan, hidrolik çap, çevre, şekil ve malzemede ki her bir tabakanın durumu belirlenmelidir. Algoritma hesabının ayrıntıları 1983'te Abdel-Ghani tarafından anlatılmıştır. (22) Çok katlı bir elyafın simülasyonlarının örnekleri Şekil (4.4)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Lif tabakalarının bilgisayar benzetimleri, her tabaka için AA durumunda alınmış kesitler

Simülasyona uygun ayrıntılar tablo 4.1'de verilmiştir.

Şekil (4.5) e benzer kesitlerin analizlerinin sonuçları Şekil (4.6) ve (4.7)'de gösterilmektedir. Şekil (4.6)a'da, lif kesitlerinin küçük eksenlerinin dağılımı gösterilmektedir. e, eliptik kesitlerin dış merkezliliğidir. Ortalama değer $e = 0.787$ 'dir.

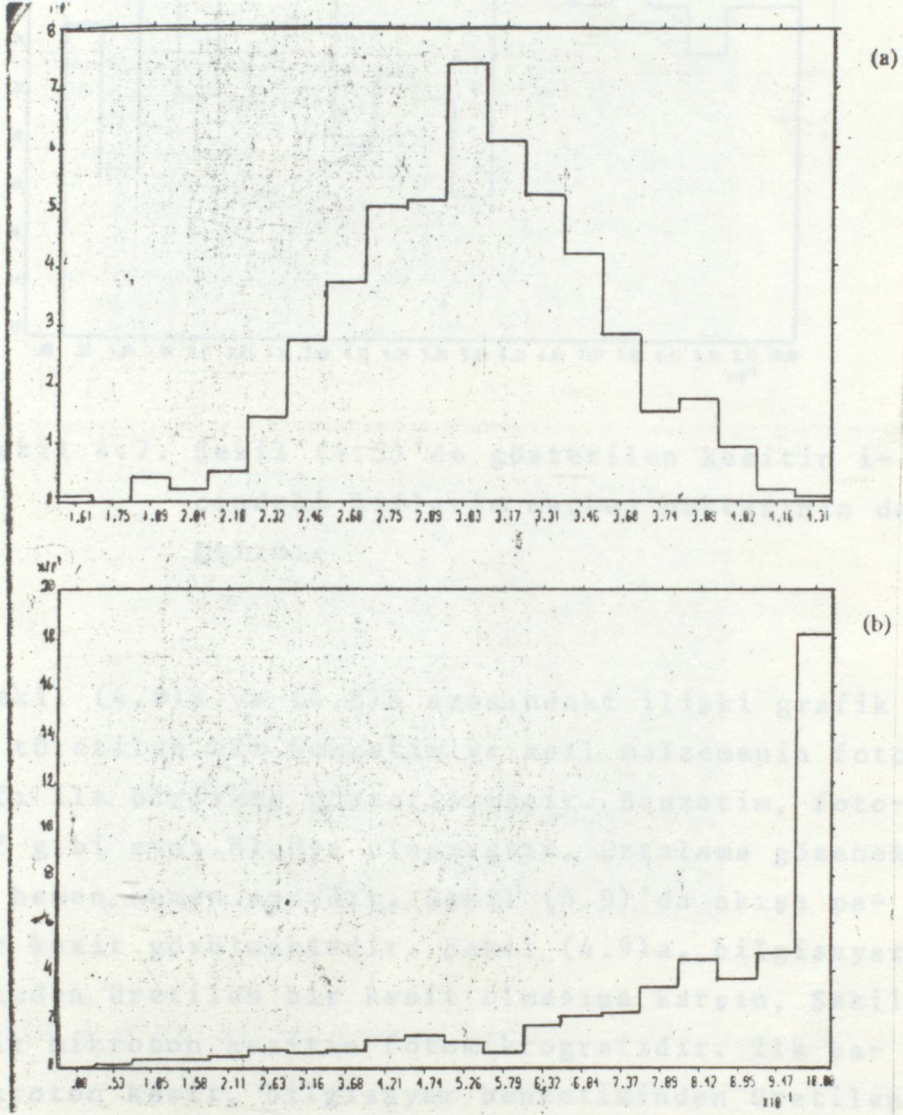
Tablo 4.1. Şekil {4.4}'de gösterilen malzeme için simülasyonda kullanılan lif parametrelerinin ayrıntıları

Lifin serbest hacmi	0.96
x-y konumundaki altlığın serbest alanı	0.9
Minimum lif çapı	1.8 μm
Ortalama lif çapı	3.05 μm
Maksimum lif çapı	4.3 μm
x-y konumunda benzetim alanı	$1.44 \times 10^6 \mu\text{m}^2$

Şekil (4.7)'de kesitdeki liflerin merkezinin x eksenindeki dağılımı çizilmiştir. Ortalama değer $\bar{x} = 0.504$ 'dir. Bu şekil, yalnız enine kesitli liflerin gelişigüzel dağılımını göstermektedir.

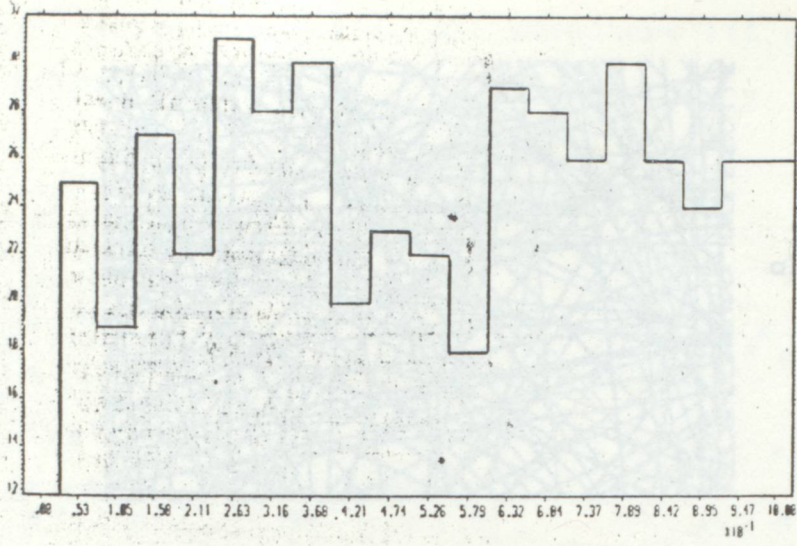


Şekil 4.5. Lif tabakalarına dik konumdaki bir lif kesitinin bilgisayar benzetimi



Şekil (4.6). Şekil (4.5)'deki eliptik lif kesitlerinin analizi.

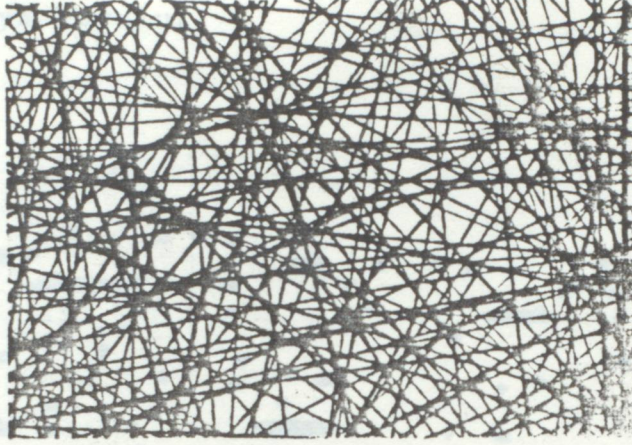
(4.6) a, küçük eksenlerin uzunluğunun dağılımını, (4.6)b dış merkezliliğin dağılımını göstermektedir.



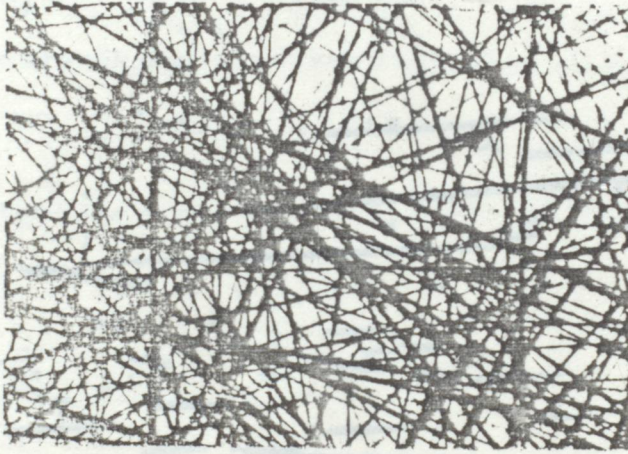
Şekil 4.7. Şekil (4.5)'de gösterilen kesitin içindeki liflerin merkez noktasının dağılımı.

Şekil (4.8)a ve (4.8)b arasındaki ilişki grafik üzerinde türetilen bir benzetim ve asıl malzemenin fotomikrografı ile birlikte gösterilmiştir. Benzetim, fotomikrograf gibi aynı ölçüye ulaşmıştır. Ortalama gözenek alanları hemen hemen aynıdır. Şekil (4.9)'da akışa paralel bir kesit görülmektedir. Şekil (4.9)a, bilgisayar benzetiminden üretilen bir kesit olmasına karşın, Şekil (4.9)b bir mikroton kesitin fotomikrografıdır. İlk başta mikroton kesit, bilgisayar benzetiminden üretilen kesitten farklı görünebilir. Fotomikrografda asıl liflerin birkaçının kesitleri, çizgiler halinde görünür ve bunlar benzetimde de tahmin edildiği gibi eliptik kesitler değildir.

Mikroten kesitlerden elde edilen fotoğraflarda, yalnız kesit detaylara değil, alt yüzeydeki lif gösterimini de orta



a)



b)

Şekil 4.8 Sentetik poliester lif malzemesi ile bu malzemenin bilgisayar benzetimi arasındaki kıyaslama

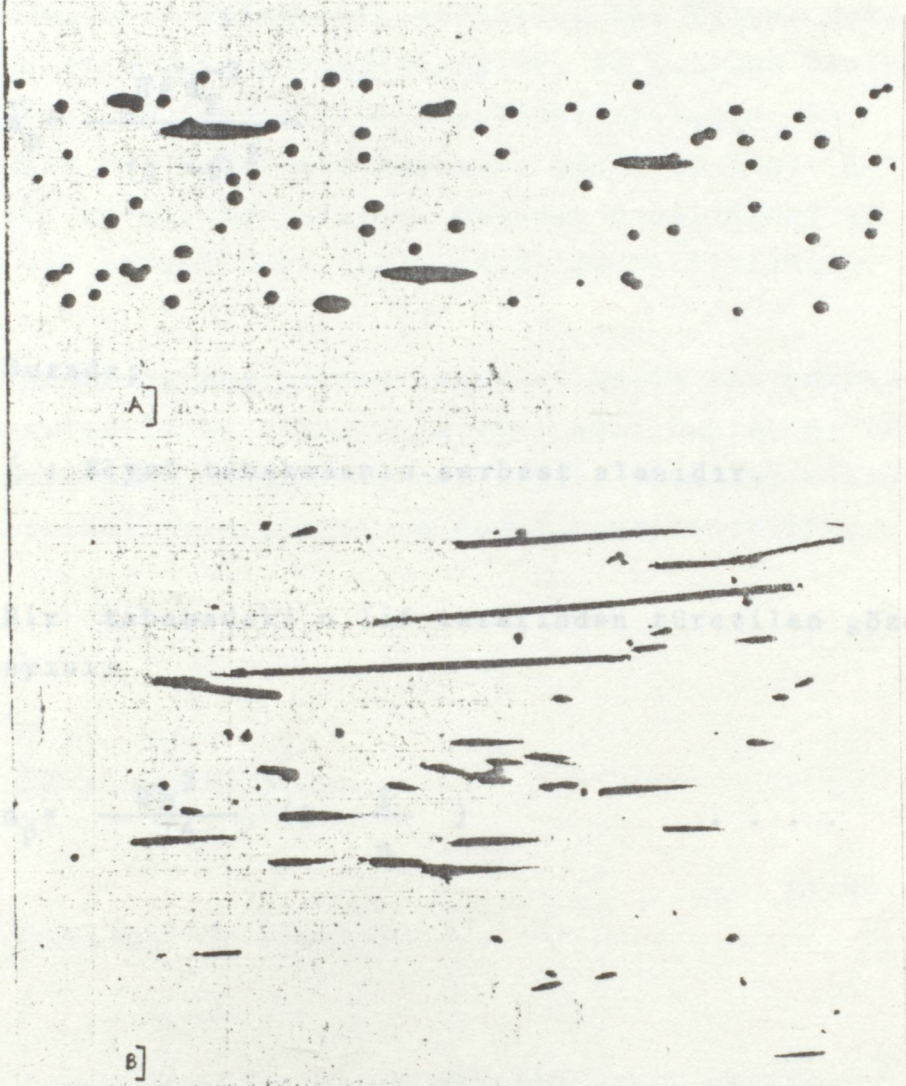
(4.8)a, bilgisayar benzetimini (4.8)b, lif tabakalarına paralel konumda alınmış bir modelin mikrografını gösterir.

Şekil 4.9. Lif tabakalarına dik konumda alınan poliester malzemenin kesitinin, bir bilgisayar benzetimi ile karşılaştırılması,

Şekil (4.9)a: Bilgisayar benzetimi

Şekil (4.9)b: Asıl malzemenin kesiti

Mikroton kesitlerden elde edilen fotoğraflarda, yalnız kesit detayları değil, alt yüzeydeki lif gösterimi de ortaya koyulur.



Şekil 4.9. Lif tabakalarına dik konumda alınmış poliestер malzemenin kesitinin, bir bilgisayar benzetimi ile karşılaştırılması,

Şekil (4.9)a: Bilgisayar benzetimi

Şekil (4.9)b: Asıl malzemenin kesiti

Gözenek şeklinin görünümü ve alan dağılımları Abdel-Ghani (23) tarafından bulunmuştur. Ortalama delik alanı $\bar{a}_p$ şu eşitlikten hesaplanabilir:

$$\bar{a}_p = \frac{\pi \epsilon d_f^{-2}}{(1 - \epsilon)^2} \quad \dots \dots (4.6)$$

Burada;

ϵ : Elyaf tabakasının serbest alanıdır.

Bir tabakadaki n lif tarafından türetilen gözeneklerin sayısı:

$$n_p = \frac{\pi n^2}{16} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad \dots \dots (4.7)$$

dir.

Bu eşitlikler, süspansiyondaki partiküllerin boyutları ile ortalama gözenek boyutlarını karşılaştırmakta kullanılabilir.

4.2. SEYRELTİK SÜSPANSİYONLARIN AYRILMASI İÇİN SONUÇLAR

Sentetik işlenmemiş polyester bir filtre malzemesi benzetim için gözlemlenmiştir. Bu malzeme kartuş filtrelerde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemenin bir modelinin yapısını gösteren kesit Şekil (4.2) de gösterilmiştir. Ortamın özellikleri ve benzetimin ayrıntıları Tablo (4.2)'de verilmiştir.

Modelden hesaplanan sonuçlar küçük bir partikülün ayrıştırıldığı ortamın (x,y,z) asıl noktasını verir. Hesapların yinelenmesiyle, her tabaka için çok miktardaki partiküllerin sayısı ve hacmi hesaplanabilir.

$$\frac{V_c}{V_o} = \frac{\sum_i D_i^3 j}{\sum_i D_i^3 o} \quad \dots (4.8)$$

$$D_{xi}'y_i' > d_{xi}'y_i'$$

j tabakasından geçen partiküllerin hacmi:

$$\frac{V_E}{V_o} = \frac{i D_i^3 ij}{i D_i^3 io} \quad \dots (4.9)$$

$$D_{xi}'y_i' < d_{xi}'y_{ii}'$$

Tablo 4.2. Şekil 4.2'de gösterilen sentetik elyafın ortalam özellikleri ve benzetim ayrıntıları

	Model 1	Model 2	Model 3
Filtrenin serbest hacmi	0.920	0.914	0.937
Ortalama elyaf çapı	3.05	18.6	32.2
Minimum elyaf çapı	1.8	3.1	15.0
Maksimum elyaf çapı	4.3	33.0	48.0
Serbest alan	0.80	0.80	0.85
Benzetim alanı (μm) ²	1.44×10^5	5.04×10^7	2.756×10^8
Tabakadaki ortalama lif sayısı	98	89	103
Tabakadaki ortalama gözenek sayısı	1866	1540	2060
Ortalama delik alanı (μm) ²	5.845×10^2	2.173×10^4	1.23×10^6
Tabakadaki liflerin ortalama uzunluğu	9.5×10^4	5.397×10^5	1.288×10^6

dir. V_e ;

$$\frac{V_c}{V_o} = 1 - \frac{V_E}{V_o}$$

... (4.10)

olur.

Giren partiküllerin koşullarındaki sonuçlar Şekil (4.10) ve Şekil (4.11)'de gösterilmiştir. Şekil (4.10), üç farklı ortalama partikül çapları ($\bar{D}_p$) için sonuçları gösterir. Değerler ortalama partikül çapının 0.5-1.0 arasında değişen ortalama gözenek çapına oranı olarak seçilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki eşitlikle gösterilmiştir.

$$\frac{V_E}{V_o} = e^{-BZ} \quad \dots (4.11)$$

Burada;

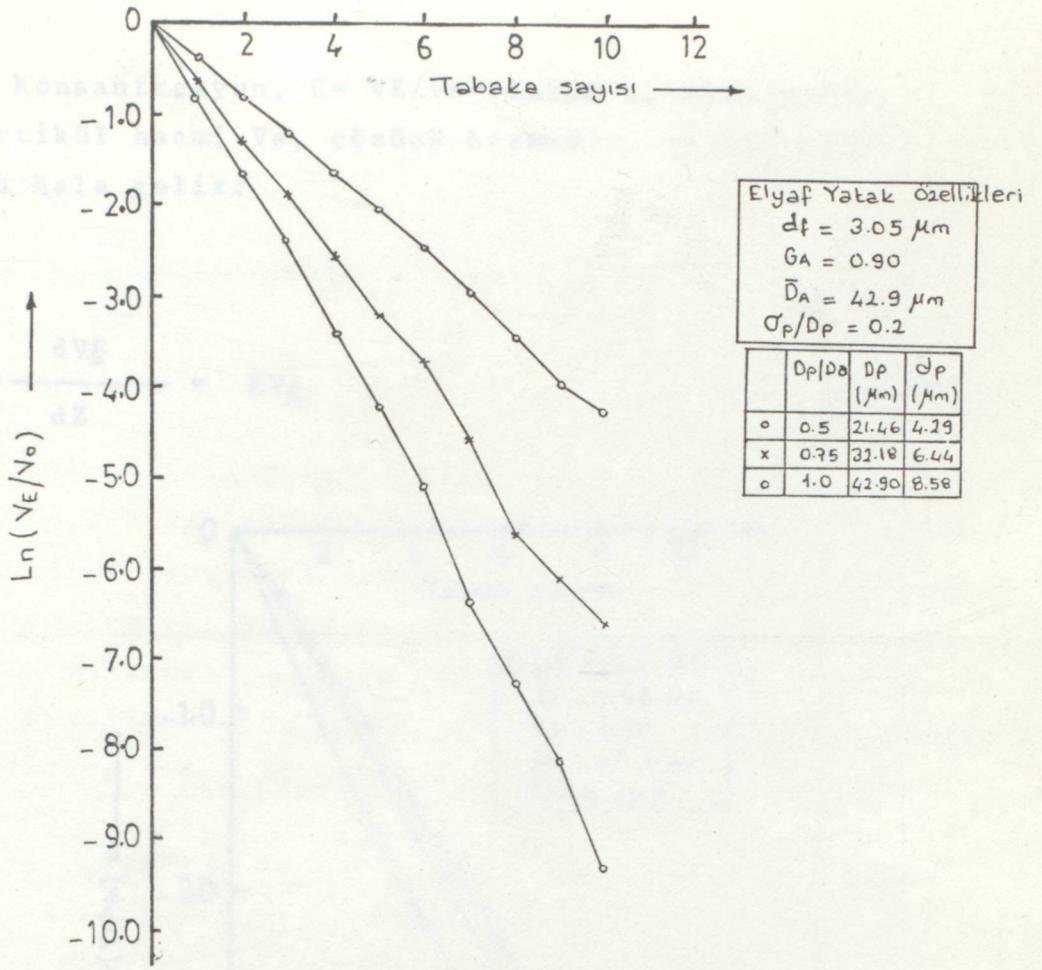
Z: Boyutsuz derinlik

$$Z = \frac{n\Delta Z}{L} \quad \dots (4.12)$$

Burada;

n : Tabaka kalınlığı

ΔZ : Ortalama tabaka kalınlığıdır.



Şekil 4.10. Sentetik filtre dokumasında partikül nüfuzunun ortalama partikül çapına etkisi

Bu eşitlik, derin yatak filtrasyon teorisini destekleyen ampirik eşitliğe benzerdir. Filtrenin herhangi bir noktasındaki konsantrasyonda eşitlik değişir.

$$-\frac{dc}{dz} = KC \quad \dots \dots (4.13)$$

Veya boyutsuz derinlik Z terimi:

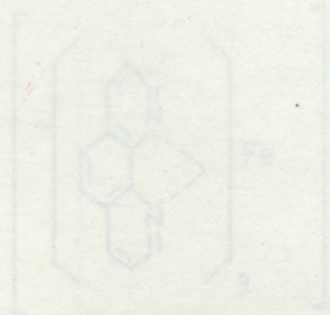
$$-\frac{dV_E}{dZ} = K_1 V_E \quad \dots (4.15)$$

dir. (4.11) ve (4.15) eşitlikleri özdeş oldukları halde eşitlik (4.11) karıştırma modelinden çıkar. Şekil (4.10) da gösterilen sonuçları kontrol etmek yararlıdır. Bu sonuçlar verilen bir ortam içinde giren partikül boyutunun artışının etkisini gösterir. Partikül çapı dağılımının değişim oranı sabittir. Ortalama tane boyutu, grafiğin eğimini artırır, $-K_1$, düşürür.

$\bar{D}_p$, ortalama partikül çapı, d_p , ortalama gözenek çapıdır ve değeri 0.5'dir. Bu durum için $\bar{D}_p$ artar, ortam içine partikül girişi azalır. Şekil (4.11)'de kantitatif sonuçlar gösterilmiştir.

5.1.1. - 10 ORTO FENANTROLİNİN TAYINI

1.10 Orto fenantrolin, Fe^{2+} ile ziddetli oranj-kırmızı renkli, çözünebilen kromofor ve spektrofotometrik ölçümlere uygun, aşağıda yapıları verilen bir kompleks oluşturur. (13)



5- DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

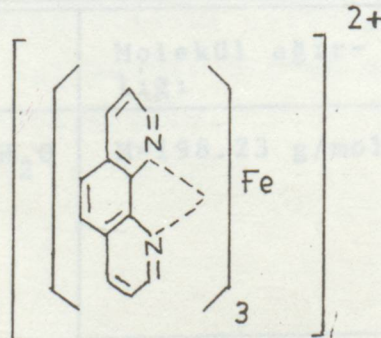
Deneysel çalışmalarda Fe^{3+} iyonlarının sıcakta ($60^{\circ}C$) ve kendi pH'ında poliakrilik esaslı reaktif çözeltisi ve membran amaçlı özel elyafla giderimi incelenmiştir. Başlangıçta ve yapılan deneyler sonunda demir miktarı tayini fenantrolin yöntemle gerçekleştirilmiştir.

5.1. FENANTROLİN YÖNTEM

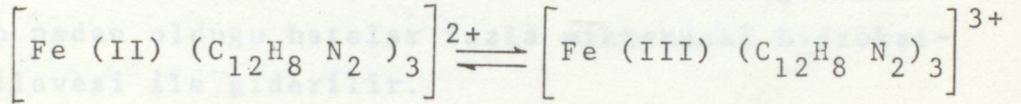
Çözeltide bulunan demir, asit ve hidroksilamin ile kaynatılarak Fe^{2+} hale indirgenir ve pH=3.2-3.3'te 1.10 orto fenantrolin ile muamele edilir. 3 molekül fenantrolin çelat bir Fe^{2+} atomu ile oranj-kırmızı bir kompleks oluşturur. (24)

5.1.1. 1.10 ORTO FENANTROLİNİN YAPISI

1.10 Orto fenantrolin, Fe^{2+} ile şiddetli oranj-kırmızı renkli, çözünebilir kolorimetrik ve spektrofotometrik ölçümlere uygun, aşağıda yapısı yazılan bir kompleks oluşturur. (25)



Bu kompleks hidroklorür halinde suda kolayca çözünür ve diğer Fe^{2+} reaktiflerine oranla çok uygundur. Çünkü nispeten asitli çözeltilerde kullanmak olanağı vardır. Fe^{3+} 'nin bu reaksiyona bir etkisi yoktur. Böylece diğer yöntemlerle yapılamayan, Fe^{3+} yanında Fe^{2+} 'nin aranması ve tayini yapılabilir. Bundan başka orto fenantrolinin Fe^{2+} ile oluşturduğu kompleks (ferroin) uygun bir redoks indikatörü olup aşağıdaki denge gereğince;



şiddetli kırmızıdan soluk maviye renk değişimi gösterir. Bu özellikten yararlanarak oksidimetrede kesin bitim noktası tayini yapılabilir.

Deneyssel çalışmalarda kullanılan 1.10 orto fenantrolin (monohidrat) Merck firması tarafından üretilmiş olup genel özellikleri tablo (5.1)'de belirtilmiştir.

Tablo 5.1. 1.10 orto fenantrolinin (monohidrat) genel özellikleri

Formül	Molekül ağırlığı	Renk	Çözünürlük
$\text{C}_{12}\text{H}_8 \text{ N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	M=198.23 g/mol	Beyaz (toz kristal)	Suda kolay çözünür. Alkolde çözünür.

5.1.2. BOZUCU ETKİ YAPAN MADDELER

Bozucu maddeler arasında kuvvetli oksitleyiciler, siyanür, nitrit ve fosfatlar, krom, çinko sayılabilir. Eğer bu maddelerin miktarı demir konsantrasyonundan on kez daha fazla ise bozucu etki oluşturlar. Bunun yanında kobalt ve bakırın 5 mg/lt'den fazlası ve nikelin 2mg/lt'den fazlası bozucu etki yapar. Bizmut, kadmiyum, civa, molibdat ve gümüş gibi maddeler ferantrolinle çökerler.

Yüksek konsantrasyonda kuvvetli yükseltgen maddelerin neden olduğu hatalar fazla miktardaki hidroksilamin ilavesi ile giderilir.

5.1.3. SAPTANAN MİNİMUM KONSANTRASYON

0.02 mg/lt ve 4mg/lt arasında demir iyonları doğrudan doğruya saptanabilir. Yüksek konsantrasyondakiler ise seyreltilerek tayin edilebilir. 510 nm'de ve 1 cm'lik hücrelerle spektrofotometrede tayin edilen miktar 50 µg'dır.

5.1.4 KULLANILAN CİHAZ

Shimadzu marka dijital çift ışınli spektrofotometre (u.v - 150) kullanarak 510 nm dalga boyunda 1 cm'lik hücrelerle çalışılmıştır.

5.1.5. KULLANILAN ÇÖZELTİLER

A- Derişik Hidroklorik asit

B- Hidroksilamin çözeltisi

100 ml saf suda 10 gr. $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ çözülür.

C- Sodyum asetat tampon çözeltisi:

350 gr sodyum asetat ($\text{NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 500 ml saf suda çözülür ve 1 lt'ye tamamlanır. 100 ml saf su içine 2 ml derişik HCl ilâve edilir ve asitli suyun pH'ı 3.2-3.3 olacak şekilde ayarlanır.

D- Stok Demir Çözeltisi:

20 ml derişik H_2SO_4 , 50 ml saf suya yavaşça eklenir ve 1.404 gr. $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ hazırlanan karışımda çözülür. Bu çözelti üzerine sürekli açık pembe renk oluşana dek damla damla 0.1 N KMnO_4 damlatılır. Saf suyla 1 lt'ye tamamlanır ve karıştırılır (1 ml=250 μg Fe)

5.1.6. KALİBRASYON EĞRİSİNİN ÇİZİLMESİ:

1 mg/lt, 2 mg/lt, 3 mg/lt, 4 mg/lt, 5 mg/lt derişimlerinde diziler hazırlanır. 100 ml'lik balon jojelere belirlenen derişimleri sağlayacak şekilde stok demir çözeltileri koyulduktan sonra aşağıdaki işlem sırası izlenir. Her birine;

- a) 1 ml hidroksil amin çözeltisi,
- b) 1 ml sodyum asetat tampon çözeltisi
- c) 75 ml hacme dek saf su
- d) 10 ml fenantrolin çözeltisi

eklenerek tüm diziler 100 ml'ye seyreltilir. Yukarda belirtilen işlemler sonunda, maksimum rengin tam olarak gelişmesi için 10-15 dakika beklenir. Daha sonra 1 cm'lik hücrelerle 510 nm dalga boyunda her bir çözeltinin absorbans değerleri okunarak kalibrasyon eğrisi Grafik 5.1'de görüldüğü gibi çizilir.

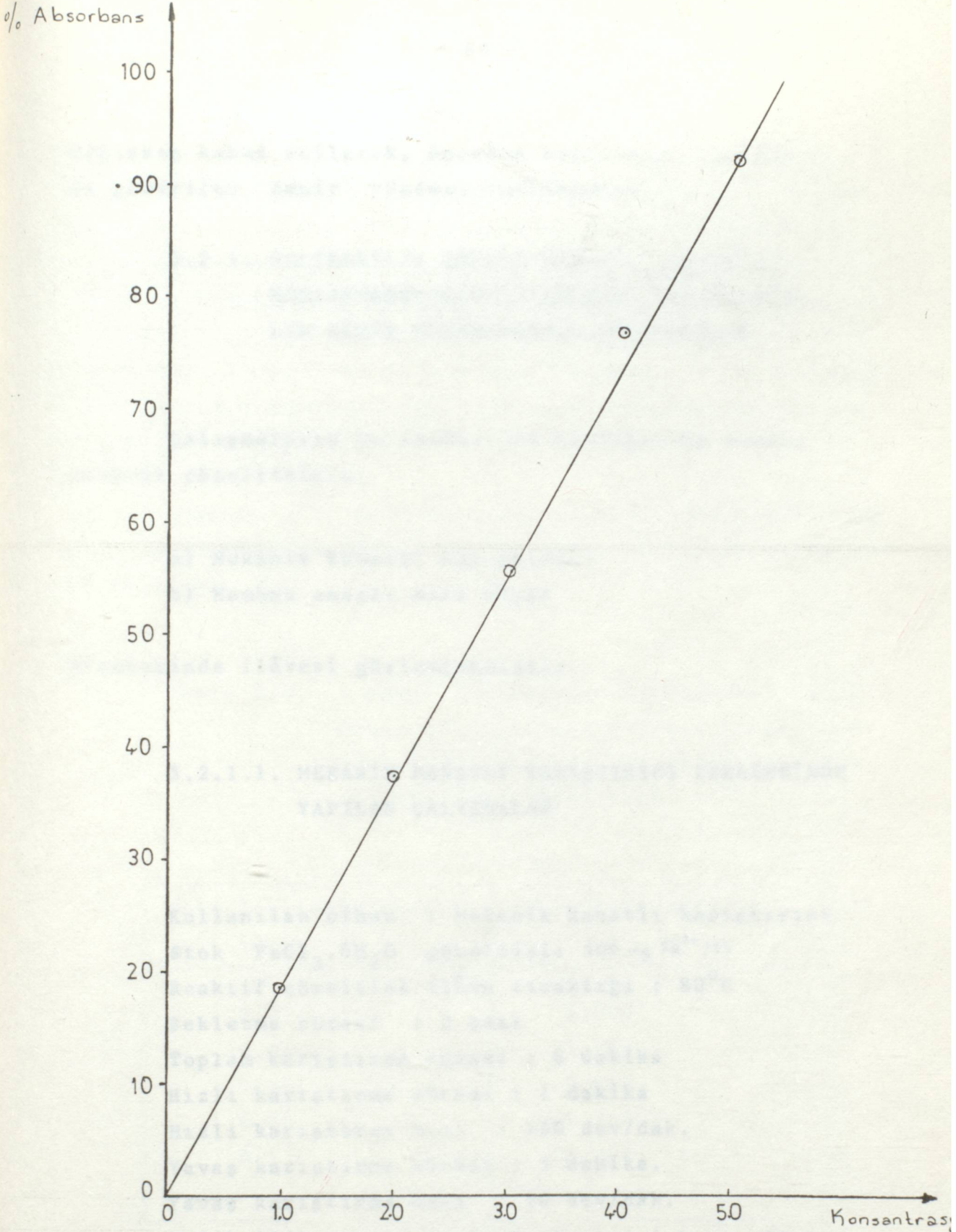
5.1.7. Fe^{3+} İYONLARININ TAYİNİ

Numuneden 50 ml alınarak erlenmayere koyulur. 2 ml derişik HCl ve 1 ml hidroksilamin çözeltisi eklenir. Kaynama taşı koyup, kaynayana dek ısıtılır, tüm demirin çözünmesi sağlanır ve hacim 15-20 ml kalana dek kaynatmaya devam edilir. Çözelti oda sıcaklığına soğutulur. 100 ml'lik balon jojeye alınarak 10 ml amonyum asetat tampon çözeltisi ve 2 ml fenantrolin çözeltisi eklenir. Saf su ile seyreltilip karıştırılarak rengin gelişimi için 10-15 dakika beklenir. Daha sonra absorbans ölçülerek konsantrasyona geçilir.

5.2. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda,

- Poliakrilik esaslı reaktif çözeltisi konsantrasyonu,
- Yapay demir çözeltisi konsantrasyonu.



Grafik 5.1. Demir tayini için kalibrasyon eğrisi

değişken kabul edilerek, önceden belirlenen koşullar-
da giderilen demir yüzdesi incelenmiştir.

5.2.1. POLİAKRİLİK ESASLI REAKTİF ÇÖZELTİSİ
KONSANTRASYONUNUN DEĞİŞİMİ İLE GİDERİ-
LEN DEMİR YÜZDELERİNİN İNCELENMESİ
Çalışmaların bu aşamasında poliakrilik esaslı
reaktif çözeltisinin;

- a) Mekanik kanatlı karıştırıcı
- b) Membran amaçlı özel elyaf

beraberinde ilâvesi gözlemlenmiştir.

5.2.1.1. MEKANİK KANATLI KARIŞTIRICI BERABERİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Kullanılan cihaz : Mekanik kanatlı karıştırıcı
Stok $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ çözeltisi: 200 mg Fe^{3+}/lt
Reaktif çözeltisi ilâve sıcaklığı : 80°C
Bekletme süresi : 2 saat
Toplam karıştırma süresi : 6 dakika
Hızlı karıştırma süresi : 1 dakika
Hızlı karıştırma hızı : 150 dev/dak.
Yavaş karıştırma süresi : 5 dakika.
Yavaş karıştırma hızı : 50 dev/dak.
Polikrilik esaslı reaktif çözeltisi kons: %2.5

Her deney serisi için 1 mg Fe^{3+} /lt, 2 mg Fe^{3+} /lt, 3mg Fe^{3+} /lt, 4 mg Fe^{3+} /lt, 5 mg Fe^{3+} /lt konsantrasyonlarında yapay çözeltiler hazırlanmıştır. Belirtilen konsantrasyonlardaki yapay demir çözeltileri başlangıç parametrelerinde görüldüğü gibi 80°C sıcaklığa getirilerek her birine 0.02; 0.04; 0.06; 0.08; 0.1 ml reaktif çözeltisi eklenmiştir. Karıştırma ve bekletme işlemleri sonunda yapay çözeltilerden örnekler alınarak spektrofotometrik olarak demir tayini yapılmıştır.

Aşağıda görülen tablolarda reaktif çözeltisinin değişen konsantrasyonlarına karşın giderilen demir yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 5.2. 1 mg Fe^{3+} /lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltileriyle giderilen demir yüzdeleri

Polielektrolit hacmi (ml)	Giderilen demir %
0.02	0.000
0.04	7.531
0.06	8.849
0.08	14.832
0.1	21.548

Tablo 5.3. $2\text{mgFe}^{3+}/\text{lt}$ konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltile-riyle giderilen demir yüzdeleri

Polielektrolit hacmi (ml)	Giderilen demir %
0.02	1.052
0.04	0.000
0.06	9.470
0.08	60.000
0.1	4.210

Tablo 5.4. $3\text{mgFe}^{3+}/\text{lt}$ konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltile-riyle giderilen demir yüzdeleri

Polielektrolit hacmi (ml)	Giderilen demir %
0.02	0.000
0.04	63.636
0.06	17.575
0.08	15.151
0.1	8.888

Tablo 5.5 4 mgFe³⁺/lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde, değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltile-riyle giderilen demir yüzdeleri

Polielektrolit hacmi (ml)	Giderilen demir %
0.02	11.111
0.04	4.444
0.06	2.222
0.08	2.222
0.1	11.111

Tablo 5.6. 5 mgFe³⁺/lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde, değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltileleriyle gi-derilen demir yüzdeleri

Polielektrolit hacmi (ml)	Giderilen demir %
0.02	0
0.04	0
0.06	0
0.08	0
0.1	0

Tablolardaki sonuçların grafiğe aktarılmış hali grafik (5.2)'de görülmektedir.

5.2.1.2. MEMBRAN AMAÇLI ÖZEL ELYAF BERABERİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Başlangıçta belirlenen parametreler şöyle sıralanabilir.

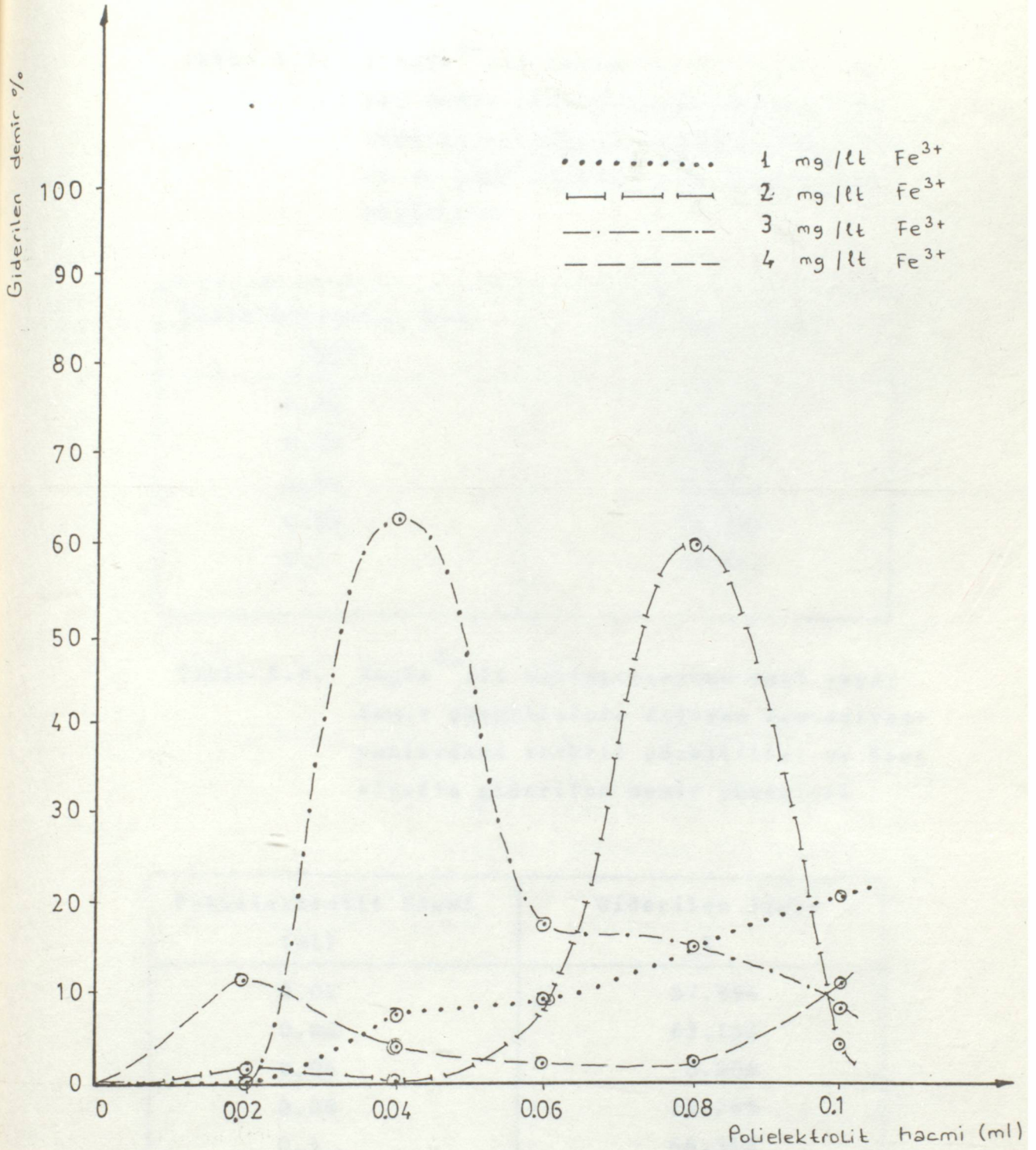
Poliakrilik esaslı reaktif çözeltisi konsantrasyonu : %2.5

İlave edilen özel elyaf miktarı: 4 g /lt yapay çözelti

Reaktif çözeltisi ve özel elyaf ilâve sıcaklığı : 80°C

Bekletme süresi : 2 saat

5.2.1.1'de belirtilen konsantrasyonlarda hazırlanan yapay demir çözeltileri 80°C sıcaklığı getirilerek herbirine tablolarda belirtilen miktarlarda reaktif çözeltisi ve başlangıçta belirlenen miktarda özel elyaf eklenmiştir. Bekletme işleminden sonra yapılan analizler sonucunda bulunan giderilen demir yüzdeleri tablolar halinde aşağıda verilmiştir.



Grafik 5.2. Sabit konsantrasyondaki yapay demir çözeltilerine mekanik karıştırıcı beraberinde, farklı konsantrasyonlarda poliakrilik esaslı reaktif ilâve siyle giderilen demir yüzdeleri

Tablo 5.7. 1 mgFe³⁺/lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltile-ri ve özel elyafla giderilen demir yüzdeleri

Polielektrolit hacmi (ml)	Giderilen demir %
0.02	40.230
0.04	41.736
0.06	23.054
0.08	40.230
0.1	56.673

Tablo 5.8. 2mgFe³⁺/lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltile-ri ve özel elyafla giderilen demir yüzdeleri

Polielektrolit hacmi (ml)	Giderilen demir %
0.02	57.894
0.04	63.157
0.06	0.000
0.08	15.789
0.1	66.315

Tablo 5.9. 3 mgFe³⁺/lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltile-ri ve özel elyafla giderilen demir yüzdeleri

Polielektrolit hacmi (ml)	Giderilen demir %
0.02	94.074
0.04	51.515
0.06	29.696
0.08	24.848
0.1	86.666

Tablo 5.10. 4mgFe³⁺/l konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltile-ri ve özel elyafla giderilen demir yüzdeleri

Polielektrolit hacmi (ml)	Giderilen demir %
0.02	56.444
0.04	74.222
0.06	73.333
0.08	50.666
0.1	73.333

Tablo 5.11. 5 mgFe³⁺/lt konsantrasyonundaki yapay demir çözeltisinde değişen konsantrasyonlardaki reaktif çözeltileri ve özel elyafla giderilen demir yüzdeleri

Polielektrolit hacmi (ml)	Giderilen demir %
0.02	52.830
0.04	54.716
0.06	47.169
0.08	54.716
0.1	50.943

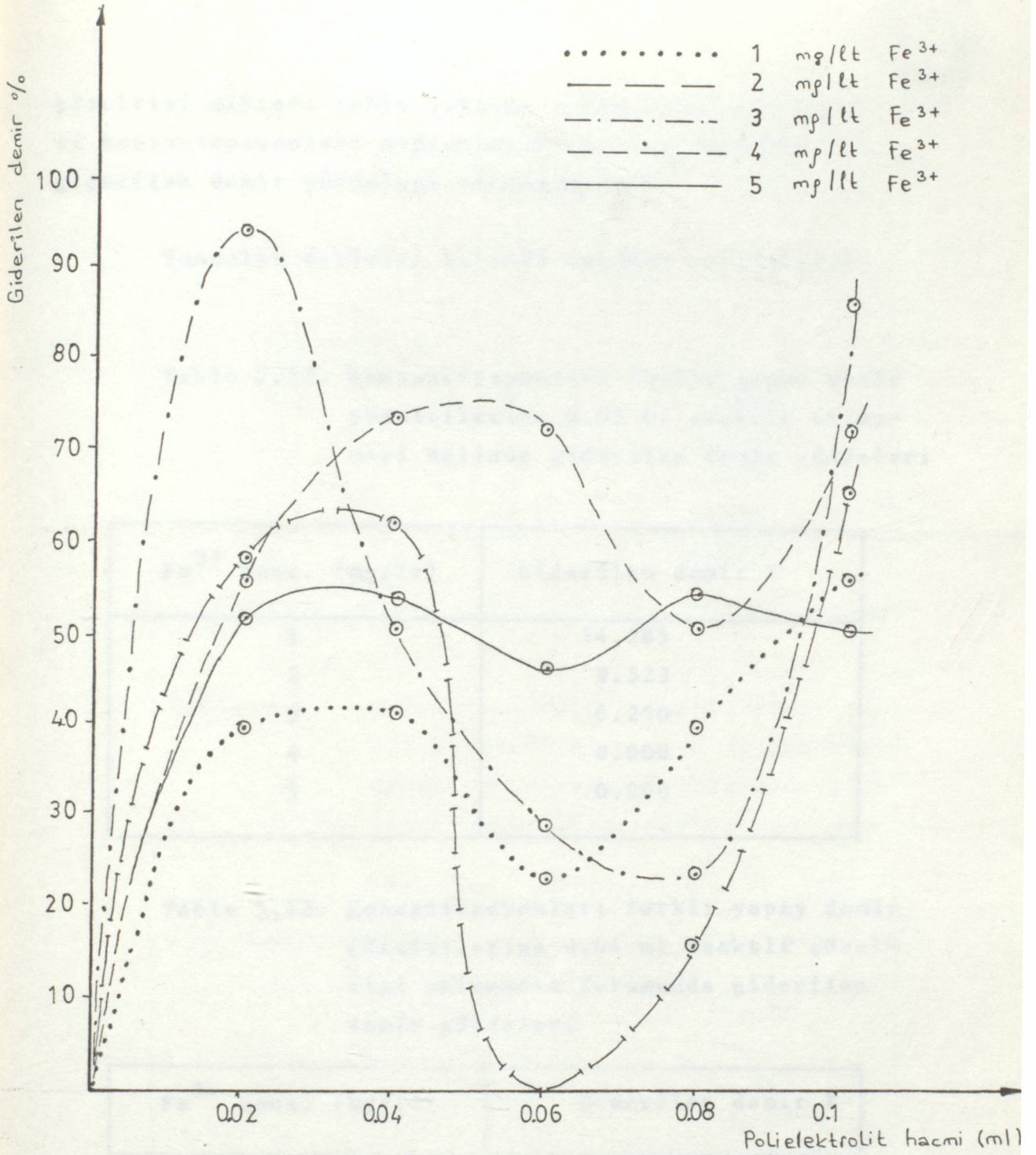
Tablolardaki sonuçların grafiğe aktarılmış hali grafik (5.3)'dedir.

5.2.2 YAPAY DEMİR ÇÖZELTİLERİNİN KONSANTRASYON DEĞİŞİMLERİYLE, GİDERİLEN DEMİR YÜZDELERİNİN İNCELENMESİ

Bu amaçla yapılan çalışmalar da yine iki şekilde yürütülmüştür.

5.2.2.1. MEKANİK KANATLI KARIŞTIRICI BERABERİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Seçilen başlangıç parametreleri 5.2.1.1'de belirtildiği gibidir. Bu kez poliakrilik esaslı reaktif



Grafik 5.3. Sabit konsantrasyondaki yapay demir çözeltilerine özel elyaf beraberinde farklı konsantrasyonlarda poliakrilik esaslı reaktif ilâvesiyle giderilen demir yüzdeleri

çözeltisi miktarı sabit tutulup yapay demir çözeltisi konsantrasyonları değiştirilerek aynı yöntemle giderilen demir yüzdeleri incelenmiştir.

Sonuçlar tablolar halinde aşağıda verilmiştir:

Tablo 5.12. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.02 ml reaktif eklenmesi halinde giderilen demir yüzdeleri

Fe^{3+} kons. (mg/lt)	Giderilen demir %
1	14.285
2	9.523
3	6.250
4	0.000
5	0.000

Tablo 5.13. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.04 ml reaktif çözeltisi eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri

Fe^{3+} kons. (mg/lt)	Giderilen demir %
1	18.367
2	4.761
3	9.375
4	7.317
5	3.846

Tablo 5.14. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.06 ml reaktif çözeltisi eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri

Fe ³⁺ kons (mg/lt)	Giderilen demir %
1	2.040
2	0.000
3	0.000
4	0.000
5	0.000

Tablo 5.15. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.08 ml reaktif çözeltisi eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri

Fe ³⁺ kons. (mg/lt)	Giderilen demir %
1	18.367
2	20.952
3	3.125
4	0.000
5	0.000

Tablo 5.16. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.1 ml reaktif çözeltisi eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri

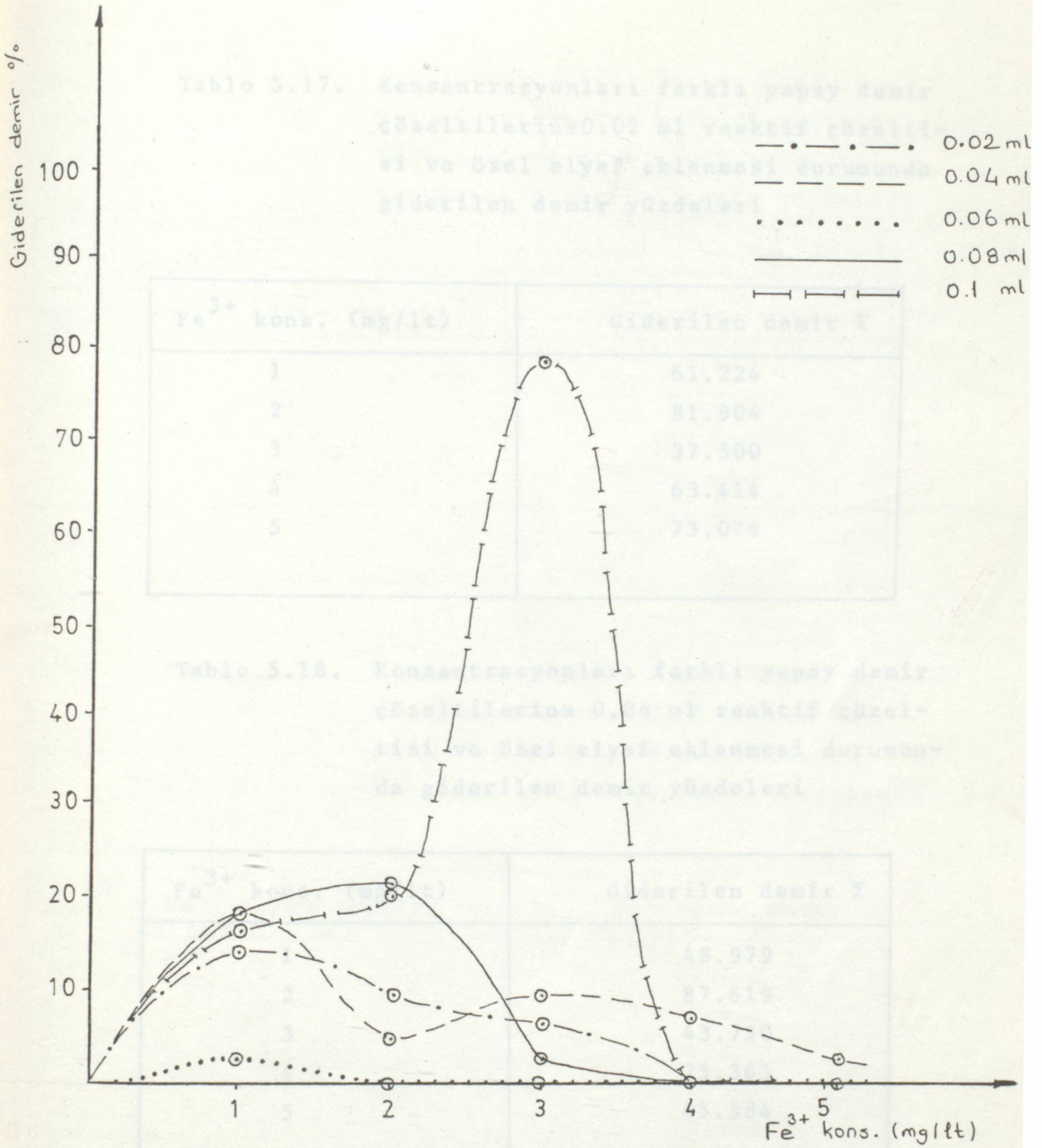
Fe ³⁺ kons. (mg/lt)	Giderilen demir %
1	16.326
2	19.047
3	78.750
4	0.000
5	0.000

Tablolardaki sonuçlar grafik (5.4)'e aktarılmıştır.

5.2.2.2. MEMBRAN AMAÇLI ELYAF BERABERİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Başlangıçta seçilen parametreler ve işlem sırası 5.2.1.2'de belirtildiği gibidir. Ancak işlemler farklı konsantrasyonlardaki bir seri yapay demir çözeltisine sabit miktarlarda reaktif çözeltisi ve özel elyaf ilâvesiyle yürütülmüştür. Sonuçlar tablolar halinde aşağıda görülmektedir.

Grafik 5.4. Farklı konsantrasyonlardaki yapay demir çözeltilerine mekanik konsantrasyonda poliakrilik eseli reaktif ilâvesiyle giderilen demir yüzdeleri.



Grafik 5.4. Farklı konsantrasyonlardaki yapay demir çözeltilerinin mekanik kanatlı karıştırıcı beraberinde sabit konsantrasyonda poliakrilik esaslı reaktif ilâvesiyle giderilen demir yüzdeleri.

Tablo 5.17. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.02 ml reaktif çözeltisi ve özel elyaf eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri

Fe ³⁺ kons. (mg/lt)	Giderilen demir %
1	61.224
2	81.904
3	37.500
4	63.414
5	73.076

Tablo 5.18. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.04 ml reaktif çözeltisi ve özel elyaf eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri

Fe ³⁺ kons. (mg/lt)	Giderilen demir %
1	48.979
2	87.619
3	43.750
4	75.365
5	65.384

Tablo 5.19. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.06 ml reaktif çözeltisi ve özel elyaf eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri

Fe ³⁺ kons. (mg/lt)	Giderilen demir %
1	57.142
2	67.619
3	78.125
4	51.219
5	65.384

Tablo 5.20. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.08 ml reaktif çözeltisi ve özel elyaf eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdeleri

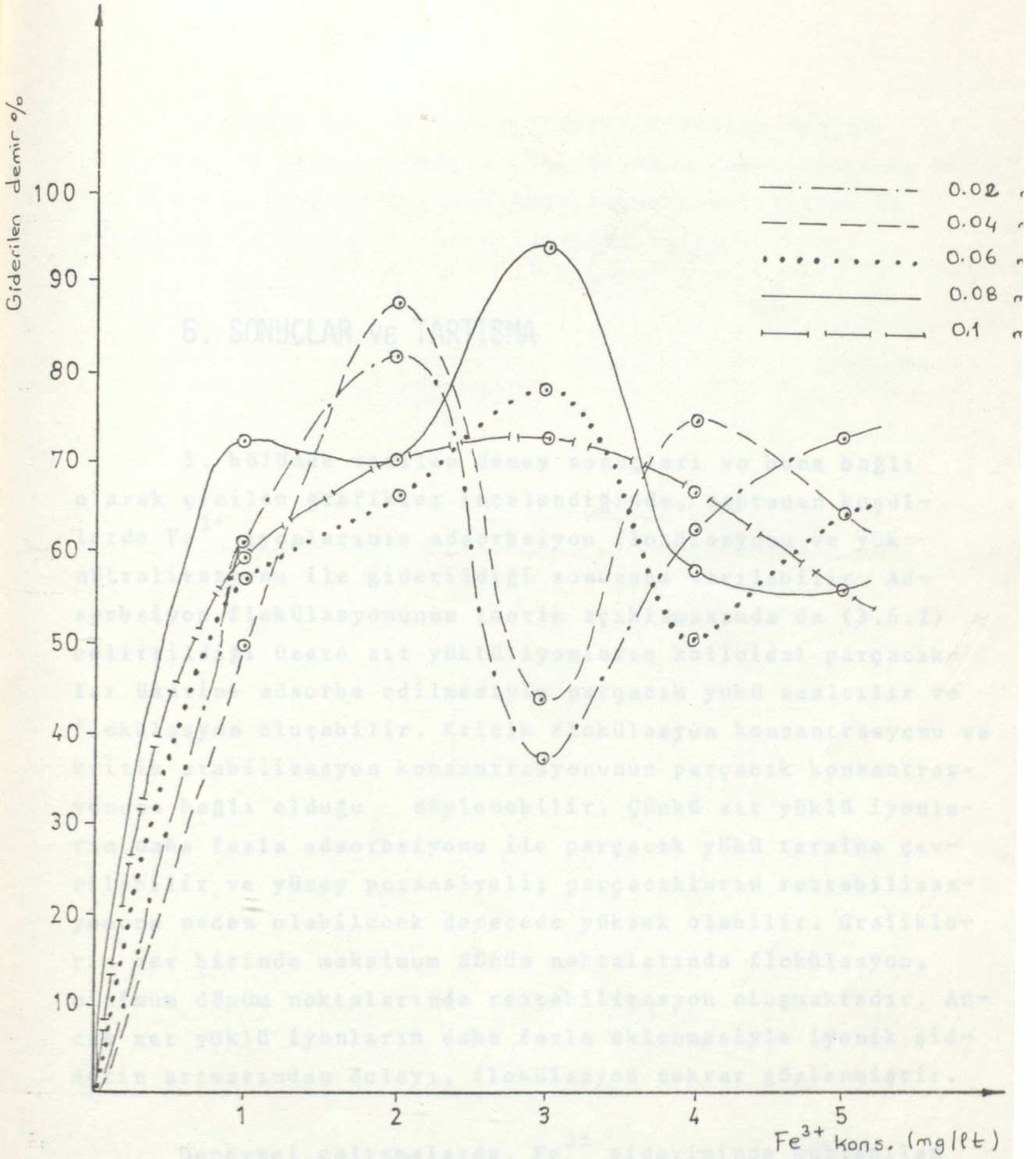
Fe ³⁺ kons. (mg/lt)	Giderilen demir %
1	73.469
2	70.476
3	94.375
4	58.536
5	55.769

Tablo 5.21. Konsantrasyonları farklı yapay demir çözeltilerine 0.1 ml. reaktif çözeltisi ve özel elyaf eklenmesi durumunda giderilen demir yüzdele-ri.

Fe ³⁺ kons. (mg/lt)	Giderilen demir %
1	59.183
2	69.523
3	73.750
4	67.804
5	56.923

Tablolara ilişkin grafik aşağıda gösterilmiştir.

Grafik 5.5. Farklı konsantrasyonlardaki yapay demir çözeltilerine özel elyaf herabesinde sabit konsantrasyonda poliskrilik çansis reaktif ilavesiyle giderilen demir yüzdeleleri



Grafik 5.5. Farklı konsantrasyonlardaki yapay demir çözeltilerine özel elyaf beraberrinde sabit konsantrasyonda poliakrilik esaslı reaktif ilâvesiyle giderilen demir yüzdeleri

Deneyisel çalışmalar poliakrilik esaslı reaktif çözeltilisi ve membran amaçlı özel elyafın kinetiğinin de incelenmesi yönünde sürdürülürse enverimiyel olarak da uygulanabilecek pilot tesis de yapılabilir.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5. bölümde verilen deney sonuçları ve buna bağlı olarak çizilen grafikler incelendiğinde, saptanan koşullarda Fe^{3+} iyonlarının adsorbsiyon flokülasyonu ve yük nötralizasyonu ile giderildiği sonucuna varılabilir. Adsorbsiyon flokülasyonunun teorik açıklamasında da (3.6.2) belirtildiği üzere zıt yüklü iyonların kolloidal parçacıklar üzerine adsorbe edilmesiyle parçacık yükü azaltılır ve flokülasyon oluşabilir. Kritik flokülasyon konsantrasyonu ve kritik stabilizasyon konsantrasyonunun parçacık konsantrasyonuna bağlı olduğu söylenebilir. Çünkü zıt yüklü iyonların daha fazla adsorbsiyonu ile parçacık yükü tersine çevrilebilir ve yüzey potansiyeli; parçacıkların restabilizasyonuna neden olabilecek derecede yüksek olabilir. Grafiklerin her birinde maksimum dönüm noktalarında flokülasyon, minimum dönüm noktalarında restabilizasyon oluşmaktadır. Ancak zıt yüklü iyonların daha fazla eklenmesiyle iyonik şiddetin artmasından dolayı, flokülasyon tekrar gözlenmiştir.

Deneyisel çalışmalarda, Fe^{3+} gideriminde kullanılan poliakrilik esaslı reaktif çözeltisi ve membran amaçlı özel elyaf, kolloid sisteme karşıt iyonlar vererek zeta potansiyelini düşürmüştür.

Deneysel çalışmalar poliakrilik esaslı reaktif
çözültisi ve membran amaçlı özel elyafın kinetiğinin de
incelenmesi yönünde sürdürülürse endüstriyel olarak da
uygulanabilecek pilot tesise ulaşılabilir.

KAYNAKLAR

1. Çelhan, M. Aşeged, F., "Polimerizasyon, Plazma
plastik inşaat malzemeleri A. S. yayını, Cilt 1,
252, 342, 1970.
2. Çelhan, M. Aşeged, F., "Polimerizasyon, Plazma
plastik inşaat malzemeleri A. S. yayını, Cilt 1,
92, 103, 1970.
3. Vessey, E.J.W. and Overbeek, J. Th. G., "Theory of
the Stability of Lyophobic Colloids, Elsevier,
Amsterdam, 1952.
4. Jones, R.G., Wicks, G.E. and Wylie, T.G., "Charge
reversal - regulation of colloidal dispersion by
hydrolysis of metal ions, J. Colloid Interface Sci.,
59, 381, 1977.
5. Olson, W. and O'Hall, E.L., "Controlled synthesis of
polymerization II, Synthesis of polymers,
in, Water Wks. Assn., 60, 1967.
6. Orr, P.A. and Mason, E.G., "Controlled synthesis
of hard spheres in single phase flow, J. Chem.
16, 1769, 1976.
7. Harris, R.S., Kaufman, E.J. and Weiss, E.L.,
"Synthetic flocculation in water purification, J.
San. Eng. Div., Proc. Am. Soc. Civ. Engrs.,
82(SAB), 61, 1956.

8. Camp, T.R. and Stein, P.C., "Velocity gradients and internal work in fluid motion, J. Boston Soc. Civ. Engrs., 30, 219, 1943.
9. Fuchs, N., "Über die Stabilität und Aufladung der Aerosole, Z. Physik, 89, 736, 1934.
10. Gregory, J., Flocculation Kinetics. Chapter 7 in Monograph in Colloid Science Series, Academic Press, to be published.

KAYNAKÇA

11. Van de Ven, T.G.M. and Mason, S.G., "The microrheology of colloidal dispersions, IV, Pairs of interacting particles, J. Colloid Interface Sci., 60, 1, 1977.
1. Gölhan, M. Aksoğan, S., "Suların Arıtılması, Pimaş plâstik inşaat malzemeleri A.Ş. yayınları, Cilt 2, 292, 349, 1970.
12. Verwey, E.J.W. and Overbeek, J.Th. G., "Theory of the Stability of Lyophobic Colloids, Elsevier, Amsterdam, 1948.
2. Gölhan, M. Aksoğan, S., "Suların Arıtılması, Pimaş plâstik inşaat malzemeleri A.Ş. yayınları, Cilt 1, 92, 103, 1970.
13. James, R.O., Wiese, G.R. and Healy, T.W., "Charge reversal Coagulation of colloidal dispersion by hydrolysable metal ions, J. Colloid Interface Sci., 59, 381, 1977.
3. Stumm, W. and O'Melia, S.R., "Chemical aspects of coagulation II, Stoichiometry of coagulation, J. Am. Water Wks Assn. 60, 514, 1968.
14. Arp, P.A. and Mason, S.G., "Orthokinetic collisions of hard spheres in simple shear flow, Can. J. Chem., 54, 3769, 1976.
4. Harris, H.S., Kaufmann, W.J. and Krone R.B., "Orthokinetic flocculation in water purification, J. San. Eng. Div., Proc. Am. Soc. Civ. Engrs., 92(SA6), 95, 1966.

8. Comp, T.R. and Stein, P.C., "Velocity gradients and internal work in fluid motion, J. Boston Soc. Civ. Engrs. 30, 219, 1943.
9. Fuchs, N., "Uber die Stabilitat and Aufladung der Aerosole, Z, Physik, 89, 736, 1934.
10. Gregory, J., "Flocculation Kinetics. Chapter 7 in Monograph in Colloid Science Series, Academic Press, to be published, 1977/1978.
11. Van de Ven, T.G.M. and Mason, S.G., "The microrheology of colloidal dispersions, IV. Pairs of interacting spheres in shear flow, J. Coll. Interface. Sci. 57, 505, 1976.
12. Lloyd, P.J., Scarlett, B., Sinclair, I., Proc. Conf. on Part. Size Analysis, Society of Analytical Chemistry, London, 1970.
13. McFadyen, P. and Smith, A.L., "J. Colloid Interface Sci., 45, 573, 1973.
14. Ives, K.J. "The Scientific Basis of Flocculation, 37-61, 1978.
15. Bhole, A.G., "Hydrodynamics of Flocculation in Water Treatment, Ph. D. Thesis University of London, 1970.
16. Happel, J. and H. Brenner "Low Reynolds Number Hydrodynamics", Prentice-Hall Engelwood Cliffs, N. Y., 1965.
17. Hasimoto, H., J. Fluid, Mech. 5, 317, 1959.
18. Fuchs, N.A. and I.B. Stechkind, Ann Occup, Hyg, 6, 27, 1963.
19. Kirsch, A.A., and N.A. Fuchs, Ann. Occup. Hyg. 11, 299, 1968.
20. Piekaar, H.W. and L.A. Clarenburg, Chem. Eng. Sci. 22, 1391, 1967.

21. Rollin, A.L., R. Denis, L. Estaque and J. Masounare. Can. Chem. Eng. 60,226, 1982.
22. Abdel-Ghani, M.S., Ph. D. Thesis University of Manchester, 1983.
23. Abdel-Ghani, M.S., and G.A. Davies, Chem Eng. Sci. 40, No. 1, 117, 1985.
24. Standart Methods., "For the Examination of Water and Wastewater.", Apha-Awwa, WPCF, 14 th Edition, 208-213, 1975.
25. Erdem, B. Baykut, F., "Analitik Kimya, 67, 68, 1978.
26. Wilkinson, E.T., Davies, G.A. "A Stochastic Model for the Filtration of Dilute Suspensions Using Non-woven cloths", Can. J. Chem., 63, 891, 1985.
27. Büyükkoca, E. Ergincan, N., "Proses sularında sıcakta ve kendi pH'ında Fe^{3+} iyonlarının uzaklaştırılması", Çevre'86 Sempozyumu., İzmir, 1986.

ÖZGEÇMİŞ

1962 yılında Kemah'ta doğdu. İlk, orta ve Lise öğrenimini Alanya'da tamamladı. 1980 yılında Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümünde yüksek öğrenimine başladı ve 1984'de mezun oldu. Aynı yıl Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği ana bilim dalında yüksek lisansa başladı.

