

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALUM ÇAMURLARI NIN YOĞUNLAŞTIRILMASI VE
SUSUZLAŞTIRILMASINDA KİMYASAL
ŞARTLANDIRMANIN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mh. Banu SİZİRİCİ

Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği

Program: Çevre Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Lütfi AKÇA

MAYIS 2002

ÖNSÖZ

Çamur susuzlaştırma, çamur yönetiminin en pahalı ve en az anlaşılan bileşenidir. Çünkü arıtma sonrası oluşan çamurların bertaraf edilmesi gerekir. Oluşan atık çamurlarının ekonomik ve sağlıklı olarak bertaraf edilmesi için yeterince kuru olması gerekir. Bu çalışmanın amacı alum çamurlarının susuzlaştırılması için en uygun polielektrolit cinsi ve dozunun bulunmasıdır.

Prof. Dr. Lütfi Akça danışmanlığında yürüttüğüm bu çalışmada, değerli bilgileri ve bitmek bilmeyen sabrı ile bana yol gösterip desteğini hiç eksiltmediği sevgili hocama teşekkür ederim

Ayrıca sabırla ve inançla daima yanımda olup beni destekleyen aileme, tezin her aşamasında bana yardımcı olup manevi desteği ile moral veren İbrahim Yıldız'a , numuneler konusunda yardımcı olan İSKİ Kağıthane Su Arıtma Tesisleri İşletme Müdürü Zeki Güngör ve işletme personeline ve deneysel çalışmalarda yardımcı olan İTÜ Maden Fakültesinden Prof. Dr. Mehmet Sabri Çelik'e teşekkür ederim

Banu SIZIRICI
Mayıs, 2002

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
TABLO LİSTESİ	V
ŞEKİL LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
SUMMARY	X
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu	1
1.2 Amaç ve Kapsam	2
2. SU ARITMA TESİSİ ATIKLARI	3
2.1 Atık Tipi	3
2.2 Su Arıtma Tesisi Çamuru Kaynakları	4
Ve Tipleri	
2.2.1 Alum Çamuru Ve Özellikleri	5
2.3 Çamur Özellikleri	8
2.4 Çamurun Fiziksel Özellikleri	8
2.4.1 Konsantrasyon	8
2.4.2 Özgül Ağırlık	9
2.4.3 Çökelme Özellikleri	9
2.4.4 Partikül Yüzey Yüğü	10
2.4.5 Su Dağılımı	10
2.4.6 Akışkanlık	12
2.4.7 Reolojik Özellikler	12
2.5 Kimyasal Özellikler	14
2.5.1 Isıl Değer	14
2.5.2 Gübre Değeri	15
2.5.3 Besin Değeri	15
2.5.4 Çamur Partiküllerinin	15
Elektiriksel Yükleri	
2.6 Biyolojik Özellikler	16
2.7 Alum Çamurunun Fiziksel Karakteri	16
3. ÇAMUR ŞARTLANDIRMA	17
3.1 Şartlandırma Tanım	17
3.2 Çamur Şartlandırmasını Etkileyen	18
Faktörler	
3.2.1 Partikül Boyutu	19
3.2.2 Karıştırma Şiddeti Ve Süresi	20
3.2.3 Katı Madde Miktarı	23
3.2.4 pH Ve Alkalinite	23
3.2.5 Katyonların Etkisi	24
3.2.6 Bağlı Su Miktarının Önemi	25

3.2.7	Yüzey Aktif Maddelerin Etkisi	25
3.2.8	Çift Polielektrolit Kullanımının	26
Etkisi		
4.	ÇAMUR ŞARTLANDIRMA YONTEMLERİ	28
4.1	Inorganik Kimyasal Şartlandırma	28
4.1.1.	Kireç	28
4.1.2	Demir Klorür	29
4.2	Organik Kimyasal Şartlandırma	30
4.2.1	Polimer Kimyası	30
4.3	Polimerik Flokulantların Etkileri	31
4.3.1	Polimerlerin Yapısı	32
4.3.2	Köprülenme (Polimerlerin	32
Adsorbsiyonu)		
4.3.3	Köprülenme İle Flokülasyon	32
4.3.4	Yük Nötralizasyonu	34
4.3.5	Elektrostatik Yama Mekanizması	34
4.3.6	Polimer Kompleks Oluşumu	35
4.3.7	Serbest Polimer İle Flokülasyon	36
4.3.8	Polimer Flokülasyonunun Kinetik	36
Yönleri		
4.3.9	Floklaşma, Tortulaşma Ve Birleşme	36
4.3.10	Flokların Dayanıklılığı	37
4.4	Polimer Reaksiyonları	38
4.5	Çamur Susuzlaştırılabilirliğinin	41
Ölçüm Yöntemleri		
4.5.1	Kapiler Emme Süresi Deneyi (KES)	41
4.5.2	Ozgül Direnç (SRF) Deneyi	42
4.5.3	Buchner Hunisi Filtrasyon Deneyi	43
4.5.4	Filtre Süresi	44
4.5.5	Elektriksel Çift Tabaka Ve Zeta	45
Potansiyeli		
4.5.5.1	Zeta Potansiyeli	46
4.6.	Polimer Türleri Ve Sistem	48
Beslenmesi		
4.6.1	Kuru Polimerler	48
4.6.2	Sıvı Polimerler	49
5	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	51
5.1	Kağıthane Su Arıtma Sistemi	51
5.2	Deney Malzemeleri Ve Yöntemler	52
5.3	Deney Bulguları	55
5.4	FeCl ₃ Ve Ca(OH) ₂ 'ın Çökelmeye Etkisi	56
5.5	Farklı Polielektrolit Dozlarının	57
Susuzlaştırmaya Etkisi		
5.6	Optimum Şartlandırıcı Dozunun	59
Belirlenmesi		
5.7	Çökelme Özelliklerinin İncelenmesi	62
5.8	Zeta Potansiyeli Ve KES Arasındaki	65
İlişki		
6.	SONUÇLAR	67

KAYNAKLAR	69
EKLER	71
ÖZGEÇMİŞ	83

TABLO LİSTESİ

<u>No</u> Tablo		<u>Sayfa</u>
2. 1	Alum Çamurunun Özellikleri	7

Tablo 2.2	Alum Çamuru Karakteristikleri	7
Tablo 2.3	Arıtma Çamurları Ve Ticari Gübrelerdeki Nütrient Seviyelerinin Karşılaştırılması	15
Tablo 3.1	Alum Çamurunda KES - Gt Değişimine Ait Bazı Kombinasyonlar	22
Tablo 5.1	Arıtma Tesisinin Kapasitesi	51
Tablo 5.2	Çamur Karakterizasyonu	55
Tablo 5.3	Ham Çamur Numunelerine Uygulanacak $FeCl_3$ + Kireç Dozaj Ve Çözelti Hacimleri	56
Tablo 5.4	$FeCl_3$ + Kireç'le Şartlandırılan Çamurun Çökme Hızları	57
Tablo 5.5	Ham Çamur Numunesine Uygulanan Polimer Dozajları Ve Çözelti Hacimleri	58
Tablo 5.6	Kullanılan Polielektrolitler	58
Tablo 5.7	Polimer Dozu Ve KES Değişimi	58
Tablo 5.8	Numunelere Uygulanan Polimer Dozajları Ve Çözelti Hacimleri	60
Tablo 5.9	Uygulanan Polimer Dozu Ve Özgül Direnç Değerleri	60
Tablo 6.10	Polimer Dozu Ve Elde Edilen KES Değerleri	61

ŞEKİL LİSTESİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1	Karıştırma Süresi Ve Polimer Dozajının Alum Çamurlarının Şartlandırılması Üzerindeki Etkisi	21
Şekil 4.1	A) Köprülenme Flokülasyonu B) Adsorblanmış Polimerle Restabilizasyon	33
Şekil 4.2	Eloktrostatik Yama Modelinde Adsorblanmış Katyonik Polimerle Negatif Yüklü Partikülün Etkileşimi	35
Şekil 4.3	Kapiler Emme Süresi Deney Düzeneklerinin Genel Yapısı	42
Şekil 4.4	Buchner Hunisi Filtrasyonu Deney Düzenekleri	44
Şekil 4.5	Negatif Yüklü Partiküllerin Etrafındaki Tabakalar	45
Şekil 4.6	Partiküllere Etki Eden İtme - Çekme Kuvvetleri	46
Şekil 4.7	Zeta Potansiyel - Elektriksel Çift Tabaka	47
Şekil 4.8	Kuru Polimer Hazırlama Sisteminin Genel Görünüşü	49
Şekil 4.9	Sıvı Polimer Hazırlama Sisteminin Genel Görünüşü	49
Şekil 5.1	Jar Test Aleti	53
Şekil 5.2	Zeta Potansiyeli Ölçüm Aleti	55
Şekil 5.3	FeCl ₃ + Kireç İle Şartlandırılan Ham Çamurun Kes Değişimi	57
Şekil 5.4	Farklı Polimerlerin Çeşitli Dozlarında KES Değişimi	59
Şekil 5.5	Polielektrolitle Şartlandırılmış Çamurun KES Değişimi	61
Şekil 5.6	Polimer Dozu Ve KES Değişimi	62
Şekil 5.7	Ham Su Numunesi İçin Çökelme Hızı - Konsantrasyon İlişkisi	63
Şekil 5.8	Ham Çamur İçin Akı Eğrisi	63
Şekil 5.9	Polielektrolit İlaveli Çamurun Çökelme Hızı - Konsantrasyon İlişkisi	64
Şekil 5.10	Polielektrolitle Şartlandırılmış Çamurun Akı Eğrisi	64
Şekil 5.11	Polimer Dozu - Zeta Potansiyeli Ve KES Arasındaki İlişki	66
Şekil EKI	Kağıthane İçme Suyu Arıtma Tesis Mevcut Akım Şeması	71
Şekil	Ham Çamur Şartlandırılmış Çamurun Çökelme	72

Ek2	Hızları	
Şekil	Ham Çamurun Özgül Direnç Değerleri	81
Ek3		

SEMBOL LİSTESİ

S	: Üretilen Çamur Miktarı
Q	: Debi
Al	: Alüminyum Dozu
SS	: Ham Sudaki Askıda Katı Madde
A	: İlave Edilen Kimyasal Madde Miktarı
C	: Çamur Konsantrasyonu
SVI	: Çamur Hacim İndeksi
τ	: Kayma Gerilmesi
τ_y	: İlk Kayma Gerilmesi
KES	: Kapiler Emme Süresi
R	: Özgül Direnç
A	: Filtre Kağıdı Alanı
P	: Vakum Basıncı
μ	: Dinamik Viskozite
V	: Süzüntü Hacmi
W	: Keki Toplam Katı Madde Ağırlığı
b	: T/V'ye Karşılık Gelen Doğrunun Eğimi
c	: Keki Toplam Katı Madde Ağırlığı / Süzüntü Hacmi
ε	: Zeta Potansiyeli
U	: Elektroforetik Mobilite
η	: Viskozite
ϵ	: Dielektrik Sabiti

ÖZET

Arıtma sonrası oluşan çamurların bertaraf edilmesi gerekir. Bu uzaklaştırma işleminin sağlıklı ve en ekonomik şartlarla gerçekleştirilmesi için çamurun mümkün olduğunca kuru olması gerekir. Çamur susuzlaştırma, çamur yönetiminin en pahalı ve en az anlaşılan bileşenidir.

Atık çamurlar içerisinde alum çamurları en zor susuzlaştırılanları olarak tanınır ve mekanik yollarla susuzlaştırılmasında kimyasal şartlandırıcılar kullanılır. Alum çamurlarının şartlandırılmasında kullanılan kimyasal maddeler kireç, demir (III) klorür gibi inorganik maddeler yada polielektrolitler gibi organik maddelerdir. Son yıllarda, polielektrolitler çamur şartlandırmada en çok tercih edilen kimyasallar olmuştur. Polielektrolitlerle şartlandırmada iki mekanizma hakimdir; yük nötralizasyonu ve partiküller arası köprülenmedir.

Çamur susuzlaştırma maliyetinin önemli bir kısmını kimyasal madde masrafları oluşturur. Bu nedenle şartlandırma için en uygun kimyasal madde ve dozun tespit edilmesi büyük önem taşır. En uygun doz araştırılırken çamur susuzlaşabilirliğinin test edilmesinde bir çok yöntem kullanılır. Bunlar arasında Kapiler Emme Süresi, Özgül Direnç testleri uzun zamandır kullanılan ve kabul görmüş testler arasındadır.

Bu çalışmada İSKİ Kağıthane İçme suyu Arıtma Tesisi durultucularından alınan alum çamurunun çökeltme özellikleri ve farklı kimyasal şartlandırıcılarla susuzlaştırma özellikleri incelenmiştir. Deneyler sonucunda optimum susuzlaştırma verimini ve dozunu veren şartlandırıcı bulunmaya çalışılmıştır. Verim ve doz tahmininde KES, Özgül Direnç ve Zeta Potansiyeli değerlerine bakılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucu optimum sonucu veren polielektrolitin Orta anyonik polielektrolit (0.6 mgPE/gr AKM için KES 23.53) olduğu bulunmuştur. İçme suyu durultucu dip savağından alınan

alum çamuru numunesi farklı konsantrasyonlara ayrılarak. anyonik polielektrolitle şartlandırılmıştır. Şartlandırılan çamurların çökelme hızları değerlendirilerek katı madde akısı - konsantrasyon eğrileri elde edilmiştir. Bu eğriler çamur yoğunlaştırıcıların boyutlandırılmasında kullanılabilir.

SUMMARY

After treatment, the remaining sludge should be disposed. In order to dispose the sludge safely and economically, it should contain the least amount of water. Sludge dewatering is the most expensive and the least understood part of wastewater treatment.

Among waste water sludges, alum sludge have long been recognised as difficult to dewater and are often conditioned with chemical conditioner to dewatering with mechanical treatment. The chemical substances used in alum sludge conditioning are inorganic compounds as Iron(III)chloride and organic compounds as polyelectrolytes. In recent years, polyelectrolytes have been preferred as a main chemical substance in sludge conditioning. There are two main mechanism of polyelectrolytes in sludge dewatering. First is charge neutralization and second is formation of interparticular bridging.

The critical part of sludge dewatering with polymer conditioning is determining the amount of polymer because overdosing increases the cost and decreases dewatering. Testing of conditioning with different substances for best dewatering quality is carried out by many methods. Among these methods Capillary Suction Time and Specific Resistance to Filtration methods are accepted and used largely.

The aim of this study is finding most suitable polymer product, optimum dose of polymer and conditioning method

for alum sludge derived from the ÝSKÝ Potable Water Treatment. After experiments the optimum dewatering yields and optimum dose of suitable chemical are tried to be determined. Percent yield and dose estimations are based on CST, SRF and zeta potential yields. The experiments show that medium anionic polyelectrolytes (for 0.6 mgPE/gr SS CST 23.53 sec.) are the most suitable conditioner for conditioning of alum sludge. Alum sludge samples derived from clarifier was separated into different concentrations part and it was conditioned with anionic polyelectrolyte. The rates of precipitated sludge conditioned with polyelectrolyte are evaluated, as a result sludge flux versus concentration lines are obtained. These lines can be used for construction of sludge thickener.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Konu

Arıtımda etkili bir sıvı katı ayırımını sağlamak günümüzde hala bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlar arasında çamur susuzlaştırma en pahalı ve en az anlaşılan işlemdir. Arıtma sonrası oluşan çamurların uzaklaştırılması işleminin sağlıklı ve en ekonomik şartlarla gerçekleştirilmesi için çamurun mümkün olduğunca kuru olması gerekir. Arıtma çamurları arasında alum çamurları, susuzlaştırılması en zor çamurlardır ve susuzlaştırılmasında kimyasal şartlandırıcılar kullanılır. Kullanılan kimyasal maddeler kireç, demir (III) klorür gibi inorganik maddeler yada polielektrolitler gibi organik maddelerdir.

Susuzlaştırma deneylerinde yapılan testler genellikle, Özgül direnç, Kapiler Emme Süresi (KES) ve Zeta Potansiyeli deneyleridir. Bu deney sonuçlarıyla kullanılan kimyasal madde dozajı karşılaştırılarak optimum kimyasal madde dozajı belirlenmeye çalışılır. Özgül direnç susuzlaştırma için kullanılan en yaygın yöntemdir. Özgül direnç, Buchner hunisi düzeneği kullanılarak ölçülür. Christensen ve Dick (1985) verileri bilgisayarda depolayarak bu yöntemin güvenilirliğini arttırmışlardır. KES testi çamurun susuzlaştırılması için kullanılan bir diğer ölçüm yöntemidir. Özgül direnç ve KES testlerindeki amaç, çamurun filtre edilebilirliğinin değerlendirilmesidir. Özgül direnç ve K.E.S ölçümleri, eklenen polimer dozu ile optimum polimer dozajı belirlenebilir.

Çamur çökelme özellikleri çamur çökelme deneyleri ile belirlenir. Bu deneyler sonucu elde edilen katı madde akısı - konsantrasyonu grafiklerinden çamur için akı eğrisi oluşturulur. Bu eğriler temel alınarak yoğunlaştırıcı tasarım yapılabilir.

1.2 Amaç Ve Kapsam

Bu çalışmada, alum çamurlarının çökelme hızı, katı madde konsantrasyonu, çamur hacim indeksi bulanıklık değerleri ölçülerek çamurun fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Alum çamurlarının yüksek bağlı su muhtevaları mekanik olarak susuzlaştırılabilirliklerini azaltır. Bu nedenle bu çamurların susuzlaştırılmasında kimyasal şartlandırma kullanılır. Bu çalışmada alum çamurunun farklı kimyasal maddelerle susuzlaştırılması sağlanarak optimum verimi ve dozu veren kimyasal madde bulunmaya çalışılmıştır. Kireç + demir(III) klorür çözeltisi ve farklı yükteki polielektrolitlerle çamur şartlandırılmıştır. Çamur şartlandırmada anyonik, katyonik ve naniyonik polielektrolitler kullanılmıştır. Bu kimyasal maddelerin susuzlaştırmadaki verimliliği KES ve Özgül Direnç deneyleri ile ölçülmüştür. Kimyasal madde dozuna, göre elde edilen değerler grafikler haline getirilmiş ve optimum doz bulunmuştur. Çamurun şartlandırılmadan ve optimum dozu veren kimyasal madde ile şartlandırıldıktan sonra çökelme hızı verileri oluşturulmuştur. Su arıtma tesislerinin çamur yoğunlaştırıcılarının tasarımında bu veriler esas alınabilir.

BÖLÜM2

SU ARITMA TESİSİ ATIKLARI

Su arıtma tesislerinden çıkan çamurlar 4 farklı şekilde sınıflandırılabilir.

- Atık tipine göre
- Atık miktarına göre
- Fiziksel özelliklerine ve susuzlaştırılabilir karakteristیکlerine göre
- Kimyasal özelliklerine miktarına göre

2.1 Atık Tipi

Su arıtma tesislerine uygulanan fiziksel veya kimyasal işlemlere bağlı olarak üretilen farklı karakterdeki çamurlar şu şekilde gruplandırılabilir.

Katı / Sıvı Fazlı Atıklar

- Alümin çamurları
- Demir çamurları
- Poli mer çamurları
- Yumuşatma çamurları
- Geri yıkama ünitesi
- Granül aktif karbon veya toz aktif karbon sistemleri uzaklaştırma atıkları
- Yavaş kumfiltreleri
- Demir ve Mangany giderim tesisi çamurları

Sıvı Fazlı Atıklar

- İyon değıştirme rejenerasyon tuzlu suları
- Aktif alümin rejenerasyon atıkları

- Ters osmoz atıkları

Gaz Fazlı Atıklar

- Gazların hava ile sıyrılmasıyla oluşan atıklar

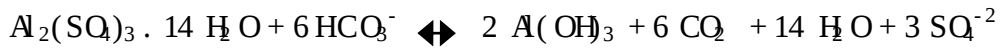
2.2 Su Arıtma Tesisleri Çamuru Kaynakları ve Tipleri

Su arıtma tesisleri çamurları, hamrudaki istenmeyen unsurlar olan, kum, çözünmüş organikler, asılı maddeler, sertlik yapan iyonlar, bakteri ve diğer daha başka partikülleri gidermek için gerekli prosesler sonucu oluşmaktadır. En çok kullanılan bu arıtma prosesleri sonucunda oluşan çamurlar 4 ana grupta toplanır.

- 1- Kişyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan çamurlar. Bunlar yüzeysel sulardaki bulanıklık, rengi, bakteri-algtürlerini, bazı organik bileşenleri demir ve/veya manganyok etmek için kullanılan alüminyumve demir tozlu gibi kişyasalların oksitlenip çöktürülmesi sonucu oluşan çökeltim havuzu çamuru ve filtre geri atıklarıdır.
- 2- Sudaki Ca ve Mg gibi sertlik yapıcı unsurları gidermek için kullanılan yumuşatıcılardan kaynaklanan yumuşatma atıklarıdır. Bu amaçla en çok kireç, NaOHsoda kullanılmaktadır ve bu işlemler sonucunda çamurun işlenmesine etki edebilecek düzeyde eser inorganikleri de içeren çökeltim havuzu ve filtre atıkları oluşmaktadır.
- 3- İnorganik maddelerin uzaklaştırıldığı tesislerden oluşan çamurlardır. Bunların içerdiği metalleri (Ar, Cd, Pb, Hg, Ag, Ra) giderebilmek için en ekonomik sayılabilecek çözüm olarak kireçle yumuşatma, iyon değiştirme, adsorbsiyon, ters osmoz, elektrodializ yöntemleri uygulanabilir.
- 4- Uçucu bileşiklerin arıtıldığı tesislerden gelen gaz fazlı çamurlar. Yüzeysel su arıtma birimlerinden gelen çamurların bileşimi, ham su kalitesinde görülen değişimlere paralel olarak günlük, mevsimlik, senelik olarak farklılık gösterir. Aynı ham su kaynağını kullanan arıtma tesislerinin çamurları, uygulanan proses, kullanılan kişyasallara ve miktarlarına göre önemli farklılıklar gösterebilmektedir.

2.2.1 Alümin Çamuru ve Özellikleri

Ham suda önemli oranda bir organik kirlilik yok ise, koagülasyon çamurları biyolojik olarak inerte olup pH nötr civarlarında kalır. Alüminyum ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$) su ile reaksiyonu sonucu oluşan alüminyum hidroksitli ($Al(OH)_3$) çamurun yapısı jelatini ve gerilmelere karşı dirençsizdir. Yani dışarıdan olabilecek bir hareket etkisiyle bu çamurun viskozitesi azalarak, flok yapıları da bozulmaktadır (thixotropik özellik). Alüminyum için bağlı su %40 kadardır, bu yüzden %20'den fazla katı muhtevalı alüminyum hidroksit floklarının, mekanik olarak susuzlaştırılması zordur (Vesilind 1980). Düşük basınçlı mekanik cihazları; vakum filtreler, santrifüjler, belt presler çamurdaki serbest suyu alabilirler fakat hidrojen bağlı suyu alamazlar. Pratikte susuzlaştırma ile ancak %45-50 katı konsantrasyonuna ulaşılır. Jelatini ve zayıf sıkışabilir yapıdaki alüminyum çamuru mekanik susuzlaştırma öncesi %0.5-2 oranlarında katı konsantrasyonlarındadır. Alüminyum su ile reaksiyonu şu şekildedir.



Alüminyum hidroksit türlerinin moleküler ağırlığı 132'dir ve yaklaşık 1 mg/L alümin eklenmiş bir suda 0.44 mg/L inorganik alümin katısı oluşturur. Bulanıklığın giderilmesi için koagülasyonda ilave edilen alümin sonucu oluşacak çamur miktarı:

$$S = Q \cdot (0.44 A + SS + A)$$

S: Üretilen çamur miktarı (gr/gün)

Q: Debi (m³/gün)

A: Alümin dozu %7.1 Al_2O_3 (gr/m³)

SS: Ham sudaki askıda katı madde (gr/m³)

A: Poli mer, aktif karbon vs gibi ilave edilen kimyasallar (gr/m³)

İçme sularında önemli bir sorun AKM'dir. Bu nedenle AKM analizi yapılır. Bu analizde 0,45 µm'luk filtre kağıdı kullanılır. Bir çok ham suyun KMS'i 5 mg/L civarındadır. Su filtrelenir ve 103 °C'de filtre kağıdı kurutulur ve AKM miktarı hesaplanır. Bir diğer önemli sorun renktir. AKM için 0,45 µm'de filtreleme yapılırken renkte ölçülebilir.

Toplam çamur ağırlığının (koagülant çamurlardaki) tahmini için koagülant kütle dengesi kullanılır. Bu metod koagülantın tutulup saklanmasına bağlıdır. Koagülasyon esnasında eklenen madde önemlidir. İlk adımda koagülantın alümin

içeriği analiz edilir. Alüminyum yaklaşık %0,1 kuru ağırlığı alüminyumdur. Çamur serisi, geri yıkama atıkları ve çıkış suyu örneği toplanır ve alüminyum analiz edilir. Katının pH'ı 12'ye düşürülerek 10-15 dak bekltilir. Örnekle filtrelir ve filtradaki alüminyum analiz edilir. Bu metotda, alüminyum hidroksit çözme eğilimindedir. Ayrılan çamurun asidik hale getirilmesinin kısmi, hidroksit çamurundaki AKM 140 °C'deki etüvde tespit edilir. Böylece çamurun toplam miktarı tahmin edilir.

Çamur miktarını belirlemede bir başka yöntem alan tamlamasıdır. Havuzlardaki çamur belli zaman aralıklarında toplanır. Çamurun AKM'si belirlenir. AKM ile havuzdaki çamur hacmi üretilen çamur miktarını verir. Bir çok deney çamurdaki alüminyum hidroksit yüksek miktarlarında, polimer ihtiyacının arttığını göstermiştir.

$$S = 86,4 \times Q(2Ca + 2,6Mg + 0,44Al + 2,9Fe + SS + A)$$

$$S = \text{Üretilen çamur miktarı kg/gün}$$

$$Ca = \text{CaCO}_3 \text{ olarak Ca sertliği (mg/L)}$$

$$Mg = \text{CaCO}_3 \text{ olarak Mg sertliği (mg/L)}$$

$$Fe = \text{Fe dozu (mg/L)}$$

$$Al = \text{Al dozu } 17,1 \% \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ (mg/L)}$$

$$Q = \text{Debi m}^3/\text{gün}$$

$$SS = \text{Ham su AKM}$$

$$A = \text{Diğer eklenenler mg/L}$$

$$86,4 \text{ İngiliz birimiyle kullanılan bir sabittir}$$

Çöktürme havuzu ve durultma havuzlarındaki çamur hacmi ve kütlesi ham su kalitesi, arıtma metodu ve çamur çekme metoduna bağlıdır. Havuz içindeki çamur periyodik olarak temizlendiğinde, çamur dipte yoğunlaşıp sıkışır. Daha yoğun partiküller katmanlar halinde dibeye çöker ve hidroksit ve daha hafif partiküller üstte kalır. Bu yüzden tensili çamur numunesi almak çok önemlidir. Çamur çok iyi karıştırılmalıdır. Çıkış suyu kalitesi standardı, giderilen KM oranına bağlıdır. Koagülant olarak alüminyum ya da demir kullanılarak üretilen çamurun KM konsantrasyonu %0,1 ila 1 arasında değişir. Çamur hacmi ham su debisinin %01- 3'ü arasında değişir.

Yumuşatma çamurları kullanılan $\text{CaCO}_3 / \text{Mg}(\text{OH})$ oranının bir fonksiyonu olarak daha konsantredir. Geleneksel çöktürme havuzlarında ulaşılan K M konsantrasyonu %2-4 arasında değişirken çamur battaniyeli durultucularda çamur konsantrasyonu %15'e ulaşır. Çamur hacmi içme suyu debisinin %0,5-5 arasında değişir. Bu atık hacmini hesaplamak için genelde geri yıkama suları kullanılır. Bu sular mevsimsel ve günlük olarak değişim gösterir. İki yada üç filtrenin geri yıkama suları dengelenen ve yoğunlaştırıcı biriminin dizaynında önemli bir yere sahiptir. İçme sularında kullanılan filtreler GAC filtreler, Precoat filtreler, Yavaş kum filtrelerdir.

Amerika'da Gven ve Spink tarafından bir çok su arıtma tesisinde yapılan çalışmalar sonucu alüminyumların özellikleri aşağıdaki tablodaki gibi özetlenmiştir.

Tablo 2.1 Alüminyum Çamuru Özellikleri (Gven ve Spink 1982)

Parametre	Konsantrasyon
Toplam Katı	Ağırlığın %0.1 ile %27'i
Uçucu Katı	Toplam katı maddenin %10 ile %35
Asıkda Katı	Toplam katı maddenin %75 ile %99
Ph	5.5 - 7.5
BOD	30 - 6000 mg/ L
KOD	500 - 27000 mg/ L
Alüminyum	Toplam katı maddenin %4 - 11 arası
Demir	Toplam katı maddenin %6.5'i
Mangan	Toplam katı maddenin <%0.005 - 5'i
Arsenik	Toplam katı maddenin <%0.04'ü
Kadmiyum	Toplam katı maddenin <%0.005'i
Ağır metal	Toplam katı maddenin <%0.03'ü
Toplam Kjel dahl Azotu	0.7- 1200 mg/ L N olarak
Fosfat	0.3 - 300 mg/ L P olarak

Farklı katı içeriklerine göre alüminyum çamuru karakteristikleri Tablo 2.2' de gösterilmektedir.

Tablo 2.2 Alüminyum Çamuru Karakteristikleri (Sudge Handling and Disposal 1986)

Katı İçerik (%)	Çamur Karakteristikleri
0-5	Sıvı
8-12	Yumuşak, kışın katı
18-25	Olukça katı kil
40-50	Sert kil

2.3 Çamur Özellikleri

Evsel ve endüstriyel atıksu çamurları karakteristik özellikleri ve miktar açısından çok çeşitlilik gösterirler. Esas olarak atıksu çamurları primer, biyolojik ve kimyasal çamurlar olarak üzere üç gruba toplanabilir.

Primer çamurlar, ham atıksudaki çökebilir özellikteki katı maddelerden, ızgara atıkları, kum ve köpük gibi ön arıtma ekipmanlarından kaynaklanan çamurlardır. Biyolojik çamurlar, aktif çamur, biyodisk veya daniyatmalı filtrelerden kaynaklanan biyofil çamurlardır. Kimyasal çamurlar ise kirleticilerin kimyasal madde ilavesi ile çöktürülmesi, askıda veya kolloidal katı maddelerin flokülasyon ile çöktürülmesi, gibi çok çeşitli kimyasal arıtma prosesleri sonucu oluşurlar (EPA 1982).

Çamur özelliklerinin susuzlaştırma ve yoğunlaştırma proseslerinin verimi ve maliyeti üzerinde büyük etkisi vardır. Örneğin yoğunlaştırma aşamasında çamurdaki uzaklaştırılacak su miktarı çamurun akış davranışını, taşıma maliyetini, susuzlaştırma prosesinin verimini, aerobik veya anaerobik çürütücünün hacmini belirler. Çamurun karakteristik özellikleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak incelenebilir.

2.4 Çamurun Fiziksel Özellikleri

Çamurların fiziksel özelliklerinin arıtma tesislerinde çamura uygulanan çeşitli işlemlerin verimin, maliyetin üzerinde önemli etkisi vardır. Çamurların fiziksel özellikleri, biyolojik reaktördeki katı madde transferini, çıkış suyundan katı madde giderimini, yoğunlaştırmanın verimini, kimyasal madde ihtiyacını, susuzlaştırma verimini ve çamurun pompalanması için gerekli enerji ihtiyacını, elde edilecek çamur kekinin nihai uzaklaştırma içi taşıma maliyetini, kompostlaşabilirliği ve diğer yararlı kullanımlar yöntemlerinin uygulanabilirliğini tayin eder (Deck ve dğ, 1985).

2.4.1 Konsantrasyon

Çamuru karakterize eden en önemli özelliklerden biri konsantrasyondur. Pratikte konsantrasyon sıvıdaki katı madde oranı olarak (ng / lt) şeklinde ifade edilir.

$$C_1 = ng (kuru katı madde) / L (çamur) = (ng / lt)$$

Çamur konsantrasyonu ayrıca birim çamurdaki birim katı madde oranı olarak kütle-kütle şeklinde de ifade edilebilir.

$$C_2 = \text{gr (kuru katı madde)} / \text{gr (çamur)} = (\text{gr} / \text{gr})$$

Çamur özgül ağırlığı suya eşit, 1 kabul edilirse;

$$C_1 = \text{mg / lt} - 10000 (\% \text{Katı Madde}) = C_2$$

ifadesi bulunabilir İnorganik madde oranı yüksek çamurların özgül ağırlığı yüksek olduğu için bu eşitlik geçerli değildir. Çoğu ki myasal çamurların konsantrasyonu % 1'den azdır ve konsantrasyonun %3 -. 4 den fazla yoğunlaştırılması zordur. Fakat bu oran ki myasal çöktürme çeşidine göre değişmektedir. Katı madde konsantrasyonu şartlandırma için gerekli olan ki myasal madde dozunu belirlemektedir. Katı madde konsantrasyonunun artması ki myasal madde ihtiyacını arttırmaktadır.

2.4.2 Özgül Ağırlık

Birim hacimdeki çamur ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranıdır. 1 °C'deki su ile karşılaştırılan çoğu çamur numunesi için özgül ağırlık 1.0 mertebesinde dir. Bu değere göre çamurun ağırlığının suyunki ne hem en hemen yakın olduğu ortaya çıkmaktadır. Çamurda değişik miktarda katı ve sıvı mevcut olduğundan, bunların özgül ağırlıklarına da bağlı olarak çamurun özgül ağırlığı şu ifadeyle gösterilir.

$$\frac{1}{S} = \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{S_i}$$

S: Çamurun özgül ağırlığı

W : Çamur içindeki İ. bileşenin ağırlık fraksiyonu

S_i : İ. bileşenin özgül ağırlığı

2.4.3 Çökelme Özellikleri

Çamur genellikle çökebilme özellikleri ile karakterize edilir. Çökelme testleri 1 litrelik mezürlerde yapılır. Önce çamur içindeki katı maddeleri homojen olarak dağıtmak için numune iyice karıştırılır.

Katı maddeler çökelirken katılar ve sıvı arasındaki arakesit dikkatle izlenir ve zamanla göre arakesit yüksekliği kaydedilir.

Belirli bir çamur numunesinin çökelme hızı çamur katı madde konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Seyreltik çamurlar daha hızlı, konsantre çamurlar daha yavaş çökerler. Tesislerini işletilmesi esnasında, çamurun çökelme özelliklerinin belirlenmesinde ucuz ve kolay bir ölçüm yöntemi olduğundan “ Çamur Hacı m İndeksi, SM ” parametresi kullanılır. Çamur hacim indeksi, (SM), 1 gr kuru maddenin ml cinsinden işgal ettiği hacim olarak ifade edilir. Çamur hacim indeksinin hesaplanak için alınan çamur numunesi 1 litrelik mezürde 30 dakika süre ile çökelmeye bırakılır, ml olarak çamur miktarı ölçülür ve mg/ L çamur askıda katı madde konsantrasyonuna bölünür:

$$SM = \frac{\text{ml çamur}}{\text{mg/ L askıda katı madde}} \times 1000$$

Aktif çamur tesislerinde

SM < 100 iyi çökebilen çamur

SM > 100 problemlili çamur olarak tanımlanır.

2.4.4 Parti kül Yüzey Yüğü

Çamurlar çok miktarda kolloidler ve ince partiküller ihtiva ederler. Kolloidler negatif yüzey yüküne sahip olduklarından birbirlerini iterler ve birleşmeyi engellerler. Ayrıca partiküller su moleküllerini kendi yüzey alanlarına doğru zayıf bir şekilde kimyasal bağlarla veya kapiler olarak çekerler. Partiküllerin yüzey yükünü ve yüzey hidrasyonunu azaltmak için kimyasal şartlandırma uygulanır. Kimyasal madde ilavesi ile yük nötralizasyonu sağlanır ve koagülasyon gerçekleşir. Tipik olarak kullanılan kimyasal maddeler; organik polimerler, kireç, demir klorür, diğer metal tuzlarıdır. Kimyasal şartlandırma ile partiküller arası itme kuvveti azaltılarak partiküllerin bir araya gelmesi sağlanır.

2.4.5 Su Dağılımı

Çamuru karakterize eden diğer bir parametre de bünyesinde bulundurduğu suyun partiküllere bağlanış şekli ve miktarıdır. Çamur, kirli bir su içeriği ve bu içerikte bulunan çeşitli katı maddelerden oluşur. Bu katı maddeler filtrasyon sırasında giderilebilen askıda katı maddeler ve filtrasyon sırasında giderilemeyen çözünmüş katı maddeler olarak ikiye ayrılır. İlk önceleri çamurun sıvı kısmının su gibi

davranacağı düşünülerek daha az incelenmiştir, buna karşı ilerleyen incelemelerle çamurun farklı noktalarındaki suyun, çamurun susuzlaştırılması işleminin kolay ya da zor olacağını belirlemede önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Arıtma sistemi içerisinde partiküller dinamikler, biyolojik, kimyasal ve fiziksel şartlara göre dağılır ve birleşirler. Çamurun içeriğindeki su, çamur floklarının içinde ve flokların etrafını sarmış durumda bulunur. Çamurun içindeki fiziki konularına göre, suları şu şekildedir. Çamurun bünyesindeki su, dört kategoride incelenebilir (Vesilind, 1978).

- **Serbest su:** Çamur flokları tarafından etkilenmemiş, katı partikül içermeyen sudur.
- **Boşluk suyu:** Flokların çatlaklarında ve içindeki boşluklarında tutunan ayrıca organizmaların bünyelerinde barındırdıkları sudur. Flok yapısının içinde bulunan boşluk suyu flok parçalandığında serbest suya dönüşür. Mikrobiyal hücrelerin içinde bulunan boşluk suyu ise ancak hücre parçalandığında zaman serbest su olarak açığa çıkar.
- **Çevre suyu:** Partikül yüzeyine güçlü hidrojen bağlarıyla sıkıca tutunmuş sudur. Hidrojen bağlarının gücünün, yapılanmış su moleküllerinin ortaya çıkmasına neden olacak şekilde partikül yüzeyine yakın, düşük menzilli ancak çok şiddetli olduğu düşünülmektedir. Çevre suyu ile boşluk suyu arasındaki en büyük ayrılm boşluk suyunun fiziksel hapsedilmişlik kaldırıldığı zaman serbest kalmasıdır, çevre suyu ise bu durumda serbest kalmaz çünkü katı madde yüzeyine yapışık durumdadır.

Çevre suyunun kendine has iki özelliği; serbest suya göre daha düşük olan yoğunluğu ve yüksek viskozitesi dir. Brafını saran su partikülünün bir parçası gibi davranacağından çevre suyu ile çevrilmiş olan küçük partiküllerin yoğunluğu partikülün kendi yoğunluğundan bir miktar daha az olacaktır. Eğer bu partikül sıvı içinde hareket ederse, çevre suyunun artan viskozitesi akış özelliklerine kötü yönde etki edecektir

- **Kristal suyu :** Partiküllere kimyasal bağ ile bağlı sudur, sadece ısı ile işleme tabi tutularak giderilebilir.

Islak çamurdan en kolay uzaklaştırılabilen su, drenaj, koyulaştırma ve mekanik susuzlaştırma yöntemleriyle giderilebilen serbest sudur. Boşluk suyu, floklarının içine hapsedilmiştir ve serbest kalmaları için yeterli mekanik enerji uygulanarak flok

yapısının bozulması veya floğun sıkıştırılması gerekmektedir. Çoğu susuzlaştırma prosesi hemserbest suyu hemde boşluk suyunu çamurdan atmak için tasarlanmıştır. Çevre suyunun giderilmesi ise daha zordur. Bir takım ön işlemler uygulanmazsa bu su, mekanik olarak uzaklaştırılmaz. Yine benzer olarak, mekanik susuzlaştırma, kimyasal bağlarla katı yüzeyine tutunmuş olan kristal suyu da çamur bünyesinden atamaktadır. Çamurdaki çevre ve kristal suyun miktarı, mekanik olarak uzaklaştırılabilen suyun bir göstergesidir.

2.4.6 Akışkanlık

Çamuru karakterize eden diğer bir parametre fiziksel akı özellikleridir. Çamurlar Colin (1983) tarafından dört temel grupta sınıflandırılmıştır.

1. Sıvı : Kendi ağırlığı ile akabilen çamurlardır.
2. Elastik : Bu tip çamurlar kendi ağırlığı ile akanıyacak kadar konsantre olan çamurlardır. Yeterli basınç uygulandığında şekil değiştirebilir ve pompalanabilirler.
3. Büzüşebilir Katı : Büzüşebilir çamurlar pompalanıyacak kadar konsantre halde ve kurutulularak hacmi azaltılabilir.
4. Büzüşemez Katı : Büzüşemez haldeki çamurlar su ile doygun haldeki, kurutulsa dahi hacmi değişmeyen ve bünyesinde boşluklar bulunduran çamurlardır.

Atıksu arıtma sistemlerinde, yoğunlaştırma ve susuzlaştırma proseslerinde çamurun sıvı karakterde olduğu kabul edilir.

2.4.7 Reolojik Özellikler

Reolojik özellikler çamurun fiziksel özelliklerini belirleyen parametrelerdendir. Bu özellikler çamur pompalama, borulama sistemlerinin dizaynı ve çamurun atıksudaki davranışını tayin eder. Ayrıca reolojik özelliklerin ölçümü çamur arıtma prosesi nin izlenmesi bakımından da önemlidir.

Çamurun sıvı fazı Newtonian sıvı özelliği taşımaktadır. Newtonian sıvılarda sıvıya uygulanan τ kayma gerilmesi, dv/dy olarak ifade edilen hız gradyanı ve viskoziteye bağlı olarak şöyle ifade edilebilir.

$$\tau = \mu dv / dy$$

τ : Kayma Gerilmesi
 μ : Dinamik Viskozite
 dv / dy : Hız gradyanı

Çamurun katı fazı çamurun reolojik davranışını güçleştirir. Çamur partikülleri şekil değiştirebilir özelliktedir. Çamur akışından dolayı oluşan kayma gerilmesine bağlı olarak partiküllerin deformasyonu değişmektedir ve hız gradyanı ile kayma gerilmesi arasında lineer olmayan bir ilişki bulunmaktadır. Zahiri plastik davranış olarak adlandırılan bu durum genellikle yüksek kayma hızlarında ve daha az viskoz sıvılarda görülür. (Deck ve dğr., 1985)

$$\tau = k (dv / dy)^n$$

k : Viskoziteyle karşılaştırılan ampirik sabit

n : Sabit (zahiri plastik sıvılar için $n < 1$)

Çamur yüksek hacimsel konsantrasyona sahip olduğunda sürekli elastik yapı oluşur. Uygulanan küçük kuvvetlerde kalıcı bir şekil değişikliği olmaz. Bu durumda ilk kayma gerilmesi olarak adlandırılan kayma gerilmesine kadar çamur hareket etmez.

$$\tau = \tau_y + k (dv / dy)^n$$

τ : Kayma Gerilmesi
 τ_y : İlk Kayma Gerilmesi
 dv / dy : Hız Gradyanı
 k ve n : Ampirik sabitler

Ampirik sabit $n = 1$ olması durumunda, k ampirik sabiti plastik viskozite olarak alınır ve Bingham plastik davranış görülür.

Çamurlar genellikle Bingham plastik davranış gösterirler. Çamurun reolojik özellikleri ayrıca kayma gerilmesinin uygulandığı süreye bağlı olarak da değişmektedir. Sabit t süresindeki sabit bir kayma gerilmesi altında daha akışkan hal alan maddeler thixotropik özellik taşırlar. Bir çok araştırmacı aktif çamurların thixotropik özellik taşıdığını göstermiştir. (Deck ve dğr., 1985).

Reolojik özellikler çamurun akım ve deformasyon özelliklerini tayin eder ve çamur arıtma proseslerinin işletilmesi ve kontrolünde izlenen parametrelerdir. İlk kayna gerilmesi (τ_y), plastik viskozite ve görünür viskozite, çamurun fiziksel özelliklerini belirleyen ve endüstriyel proseslerin izlenmesinde evsel atıksu tesislerinde daha yaygın olarak kullanılan reolojik parametrelerdir. İlk kayna gerilmesi çamurun yapısına göre değişmektedir. İlk kayna gerilmesi ile gravimetric konsantrasyon arasındaki ilişki Dick ve Ewing (1976) tarafından verilmiştir.

$$\tau_y = a^0 e^{vC}$$

C : Gravimetric konsantrasyon (mg / lt)

a^0 ve v: Çamur özelliklerine bağlı olarak değişen sabitleri

2.5 Kimyasal Özellikler

Çamurun kimyasal özelliklerini daha yaklaştıran biçimini, çamurun yararlı kullanımların ve çamur arıtma proseslerinin uygulanabilirliğini belirleme açısından önemlidir.

2.5.1 Isıl Değer

Çamurun verimli bir şekilde yakılabilmesi için yeterli kalorifik değere sahip olması gerekmektedir. Çamurun kalorifik değeri katı maddelerden dolayı kaynaklanmaktadır. Çamurun yoğunlaştırma ve susuzlaştırma prosesleri ile konsantrasyonunun artırılması kalorifik değerini de arttırmaktadır. Normal halde çamurun kalorifik değeri 22000 BTU/ kg civarındadır. Çamur belli bir oranda su ihtiva ettiğinden bu değer 2000 BTU/ kg a kadar düşebilir.

2.5.2 Gübre Değeri

Çamurun gübre değeri; çamurun kaynağına, türüne ve bünyesindeki azot, fosfor, potasyum gibi besinlerin oranına bağlıdır. Aktif çamurlar, primer çamurlara oranla daha yüksek oranda besin ihtiva ederler. Çamurun gübre değerini belirleyen diğer bir faktör de çok küçük konsantrasyonlarda bile toksik etki yapan ağır metal

miktardır. Ağır metallerin mevcudiyeti çamurun kaynağına bağlıdır. En önemli ağır metaller; kadmiyum, bakır, nikel, cıva'dır. Evsel atıksular önemli miktarda ağır metal içermez. Metal kaplama ve son işlemler gibi endüstriyel atıksular önemli miktarda ağır metal içerirler. Çamurun içerdiği nütri ent değerleri ticari gübrel erle karşılaştırılmalı olarak aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.3 Arıtma çamurları ve ticari gübrel erdeki nütri ent seviyelerinin karşılaştırılması (Elibeli., 1998)

	NUTRI ENT %		
	Az ot	Fosfor	Pot asyum
Tarımsal amaçlı kullanılan gübrel er	5	10	10
Stabilize olmuş arıtma çamuru iç i ntipik değerler	3.3	2.3	2.3

2.5.3 Besin Değeri

Organik çamurlar mikroorganizmaların sentezi nden dolayı önemli miktarda protein içer nektedir ve bu özelliklerinden dolayı geri kazanılma hayvan yemi olarak kullanılabilirler. Rudolf (1940), tarafından yapılan çalışmada protein miktarı pri nter çamurlar için %25, aktif çamurlar için %36, kimyasal çamurlar için %18 olarak verilmiştir.

2.5.4 Çamur Partiküllerinin Elektriksel Yükleri

Partiküller üzerindeki net elektriksel yük “ zeta potansiyeli ” ile ölçülür. Partikül üzerindeki yük büyükse bu durum flokülasyonu engeller ve bu tip çamurlar suyunu zor verir. Kent sel arıtma çamurlarının zeta potansiyeli -10 ila 20 mV arasında değişir. Diğer yandan endüstriyel çamurlar -80 mV u aşan zeta potansiyeli ne sahiptirler.

2.6 Biyolojik Özellikler

Çamurun biyolojik özellikleri; biyolojik olarak arıtılabilirliği ve patojenik organizma bileşimidir. Çamurun biyolojik arıtılabilirliği, çamurun organik madde bileşimine, yeterli miktarda nütri ent bulundurmasına büyüme faktörlerine ve toksik maddelere bağlıdır. Evsel ve endüstriyel atıksu çamurlarında bulunan patojenik mikroorganizmalar

tesisin işletilmesi, çamurun uzaklaştırılması sırasında ve depolandığı alanlarda çevreye ve insanlara bulaşabilir. Çamurdan geçebilecek muhtemel hastalıklar; bağırsak hastalıkları, dizanteri, tifo kidera sarıktır. Virüsler genellikle çamurlarda bulunmazlar. Çamuru kireçle muamele, yakma, kurutma gibi işlemler patojenik mikroorganizmaları yok eder.

2.7 Alüminyum Çamurunun Fiziksel Karakteri

Su arıtma çamurlarının fiziksel özelliklerini Knoke (Knoke vd 1983) iki gruba ayırmıştır. Makro özellikler ve mikro özelliklerdir. Makro özellikler özgül direnç, çökme hızı, ve kekin katı madde konsantrasyonudur. Mikro özellikler ise partikül boyut dağılımı ve yoğunluğudur. Knoke düşük bulanıklık değerine sahip içme sularında alüminyum çamurlarının içerdiği alüminyum hidroksit ile yoğunlukları 1,002-1,008 gr/cm³ arasında değiştiğini ve laboratuvar da vakum filtre ile %7-19 KM oranına kadar susuzlaştırılabilirdiğini bulmuştur. Yüksek bulanıklı ham suda kullanılan alüminyum çamurlarının yoğunluğu 1,008-1,018 gr/cm³ arasında değişir ve %20-34 KM arasında susuzlaştırılabilir. Alüminyum çamurlarının partiküldeki flok şekli elips yapıdadır ve en büyük partikül çapının en küçük partikül çapına oranı 0,5-0,75 arasında değişir. Şartlandırılmış çamur için en büyük çap değeri 0,5-50 µm arasındadır, polimerle şartlandırılmış çamur da en büyük çap değeri 5-100 µm arasında değişir. Genel de partikül boyutu arttıkça özgül direnç değeri azalır. Polimer ilavesi partikül boyutunu artırır buda çamurun özgül direnç değerini azaltır.

Çamurun makro özellikleri tanımlayan testler susuzlaştırma yardımcılarının seçiminde kullanılır. Bu testler susuzlaştırma dozunun belirlenmesinde kullanılan önemli testlerdir. Bu testler; özgül direnç, kapiler emme süresi, filtre yaprağı testi, filtre zamanı testidir.

BÖLÜM 3

ÇAMUR ŞARTLANDIRMA

3.1 Şartlandırma Tanımı

Farklı arıtım kademelerinden kaynaklanan çamurun yoğunlaştırıldıktan sonra, suyunun daha kolay alınabilmesi için, dane boyutlarının büyütülmesi ve mevcut yüklerin dengelenmesi amacıyla uygulanan kimyasal ve/veya fiziksel işlemlere çamur şartlandırma denir. Şartlandırma olmaksızın çamurların suyunun alınması pratik ve ekonomik değildir.

Şartlandırmanın esas amacı susuzlaştırma veya yoğunlaştırma proseslerinin verimini arttırmak suretiyle daha büyük katı madde konsantrasyonları elde etmek ve sonuçta oluşan çamur kekini en ekonomik şekilde uzaklaştırmaktır. Çamur arıtım maliyetinin, arıtma sistemi toplam maliyetinin %30-40'ını ve işletme maliyetinin de %50'sini oluşturduğu (Vesilind, 1974) düşünülürse, oluşacak çamur miktarının tahminin ne kadar önemli bir konu olduğu açıkça görülür. Çamur miktarının iyi tahmin edilememesi tasarlanan arıtma tesisin gereğinden büyük inşa edilmesine ve/veya işletme problemlerine yol açabilir.

Çamur şartlandırma teriminden, fiziksel ve/veya kimyasal yöntemlerle çamur partiküllerinin birleştirilmesi ve daha kolay çökebilir/susuzlaştırılabilir hale getirilmesi işlemi anlaşılmalıdır. Çamurun şartlandırılması sonucu sıvı fazdaki, sudaki kollaidal ve/veya partiküler katı maddelere etki eden fiziksel kuvvetler nötralize edilirler. Bunun sonucu olarak kollaidal maddelerin

stabilizasyonu bozulur. Bu destabilizasyon prosesiyle çok küçük partiküller, daha büyük ve gözle görülebilen parçacıklara (floklara) dönüştürülürler. Floklar, kristalik olmayan, rastgele ve belirsiz şekillere sahiptir. Flokların yüzeyi su drenajını sağlayacak şekilde bir yapı gösteririler.

Oluşacak flokların suyunu bırakabilme özelliği tamamen çamur bünyesindeki suyun katı maddelere bağlanma türüne ve miktarına bağlıdır. Uygulanan prosese, kullanılan şartlandırma metoduna ve çamur yapısına bağlı olarak çamurdaki su muhtevası %0-99'dan %5-80 gibi bir orana düşürülebilir. Fiziksel şartlandırmada ise daha düşük su muhtevaları sağlanabilir.

Çamur şartlandırmada kimyasal metotlar, inorganik kimyasallar demir ve alüminyum tuzları, kalsiyum oksit ve kalsiyum hidroksittir.

Çamur şartlandırmada kullanılan organik kimyasal maddeler ise, su ve atıksu arıtımında organik polielektrolitlerdir.

Uygulanan fiziksel prosesler, çamur karakteristiğinin değiştirilmesi amacıyla düşük veya yüksek sıcaklıkların kullanılması mantığına dayanır.

3.2 Çamur Şartlandırmasını Etkileyen Faktörler

Çamurun susuzlaştırılması kademelerinden önce gerçekleşen şartlandırma prosesine bir çok faktör etki etmektedir. Bu faktörleri genel olarak fiziksel, kimyasal, biyolojik olarak 3 grupta toplayabiliriz.

Karr ve Keinath (1978), yaptıkları çalışmada bu faktörleri aşağıdaki şekilde belirlemişlerdir.

- Selüloz içeriği
- pH ve partikül yükü
- Organik madde içeriği
- Bağlı su miktarı
- Süzüntü viskozitesi
- Alkalinite

- Katı madde konsantrasyonu
- Şartlandırma uygulaması
- Çamur tipi
- Sıkışabilirlik katsayısı
- Partiküllerin dayanıklılığı
- Karıştırma şiddeti
- Partikül boyut dağılımı
- Biyolojik bozunma hızı
- Azot, fosfor ve yağ içeriği
- Yüzey Aktif Maddelerin Etkisi
- Çift polielektrolit kullanımının etkisi
- Katyonların etkisi

3.2.1 Partikül Boyutu

Şartlandırmayı etkileyen en önemli faktör askıdaki katı madde partiküllerinin boyutları ve dağılımıdır. Partikül boyutları azaldıkça askıdaki katı madde kütlesinin yüzey alanı da artmaktadır. Bu durum şartlandırmaya tabi tutulan askıdaki katı maddelerin dirençlerini arttırırken hidrasyon miktarının da arttırmaktadır. Bütün bunlar bir araya gelince bağlı suyun salınması güçleşir. Atıksulardaki katı maddelerin sınıflandırılması ilk kez Balmat(1957) tarafından yapılmıştır. Balmat'a göre atıksulardaki katı maddeler üç gruba ayrılır.

- Çökebilien maddeler (1- 100 μm)
- Kolloidal maddeler (0.08-1 μm)
- Çözünmüş maddeler(< 0.08 μm)

Bütün etkenler içinde susuzlaşmaya etki eden en önemli faktörün partikül boyutu olduğu tespit edilmiştir. Stokes kanunu dikkate alındığında tipik işletim ve fiziksel koşullara altında çökelmeyle giderilecek minimum partikül boyutunun 50 μm olacağı hesaplanmıştır (Levine, 1985).

Karr ve Keinath (1978) yaptıkları çalışmada 1-100 μm aralığında ki partiküllerin susuzlaşabilirlik üzerinde direkt olumsuz bir etkilerinin olduğunu tespit etmişler ve bu aralıktaki partikülleri yoğun olarak ihtiva eden

çamurların partikül boyutlarının değiştirilmesi için bir işlemin yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Suprakolloidal grup olarak ifade edilen bu aralıktaki partikül miktarı arttıkça susuzlaştırma zorlaşmaktadır. Biyolojik atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan birincil ve ikincil çamurların şartlandırılmasında genelde katyonik polimerler kullanılırken, kimyasal çamurların şartlandırılmasında anyonik polimerler kullanılmaktadır. Çamur konsantrasyonunun artması toplam şartlandırma maliyetlerini azaltsa da katı madde konsantrasyonunun %'in üzerine çıktığı durumlarda şartlandırıcı maddenin çamurla homojen karışım zorlaşır (WPCF, 1988). Konsantrasyonla doğru orantılı olarak artan özgül yoğunluğu ise 1.08 olarak tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada (Çabuk, 1988) şartlandırıcı ihtiyacının toplam katı madde miktarı bazında azaldığını, fakat çamur hacmi bazında arttığını göstermiştir.

3.2.2 Karıştırma Şiddeti ve Süresi

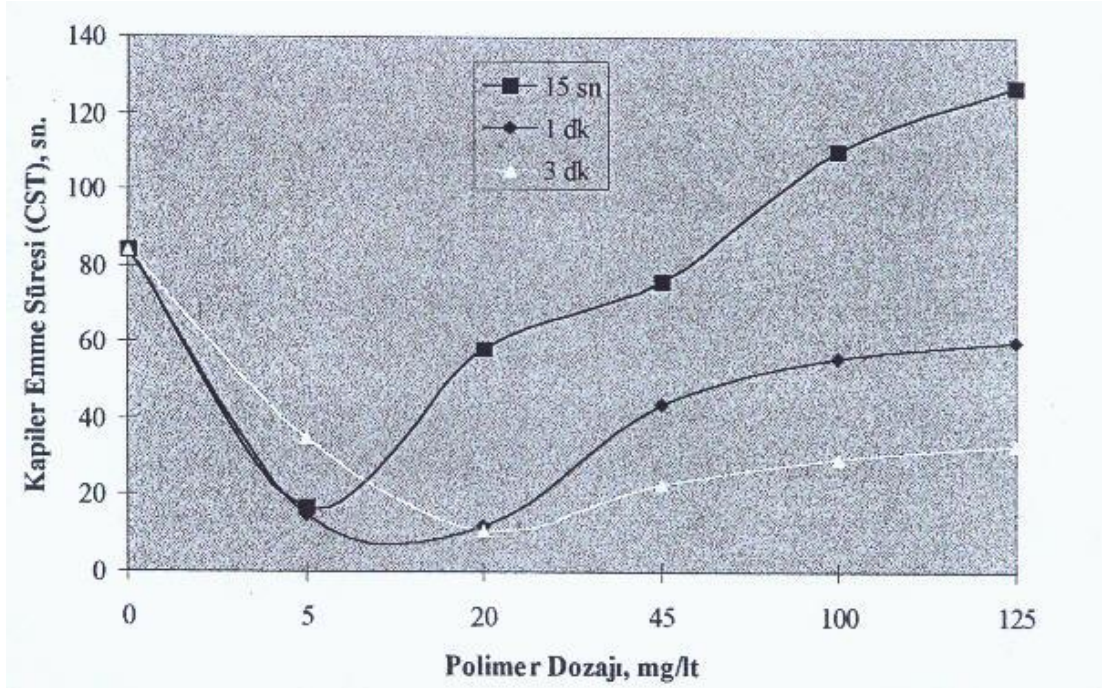
Karıştırma şiddeti, kimyasal madde uygulamalarında şartlandırmanın etkili bir şekilde yapılmasını sağlayan en önemli faktörlerdendir. Werle (1984) yaptıkları çalışmada polimerle şartlandırmada, şartlandırma verimini etkileyen parametrelerin; polimer dozu, karıştırma şiddeti (G) ve karıştırma süresi (t) olduğunu göstermişlerdir. Karıştırma şiddetinin oluşan flokların dayanıklılığı ile doğrudan ilişkisi vardır. Çünkü yüksek hızlı karıştırma uygulandığında uzun polimer zincirleri kırılarak daha kısa yapılar oluştururlar. Optimum verimli çözelti için optimum karıştırma şiddetine ihtiyaç duyulur. Aşırı karıştırma sonucu polimer bozunumu ortaya çıkar. Bir diğer etken de ortama verilen kimyasal şartlandırıcının çamur içine yeterli bir üniformlukta dağıtacak karıştırma şiddetidir. Bu şekilde flok oluşumunun kolaylaşması ve dayanıklılığı sağlanır. Ancak bu karıştırma şiddeti öyle seçilmelidir ki oluşmuş flokların parçalanmasına sebep olmamalıdır.

Çamur şartlandırma polimerler özellikle mekanik susuzlaştırma sistemleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygun polimer ve doz seçimi, şartlandırmanın verimli bir şekilde yapılabilmesi bakımından önemlidir. Optimum polimer dozunu belirlenmesinde karıştırma şiddeti (G) ve karıştırma süresi (t) kritik faktörlerdir. Genel olarak alum ve aktif çamurlar için karıştırma şiddetinin artması polimer ihtiyacını arttırmaktadır.

Wörle ve arkadaşları alum çamuru ile yaptıkları çalışmada, istenilen bir verimi elde etmek için; (Gt) değerinin artmasının optimum polimer dozunu arttırdığını göstermişlerdir. Alum çamurlarının polimerle şartlandırılması, Novak ve O'Brien tarafından belirtilen partiküller arası bağlanma modeline uymaktadır. Artan karıştırma şiddeti ile polimer ihtiyacının artmasının nedeni; yüksek hızlarda alum partiküllerinin parçalanmasından dolayı partikül sayısının artmasıdır (Novak vd 1985).

Alum çamurlarına çok küçük polimer ilaveleri bile çamurun suyunu verme özelliğini arttırabilmektedir. Düşük polimer dozlarında, karıştırma süresinin uzaması partiküllerin dağılmasına ve restabilizasyonuna neden olmaktadır. Polimer dozunun artması çamurun verimli şekilde şartlandırması için gerekli olan süreyi uzatmaktadır.

Herhangi bir susuzlaştırma çalışmasında bir kimyasal maddeyle şartlandırılmış bulunan çamur floklarının dağılma veya bozulma miktarı tam ölçekli susuzlaştırma prosesinde KES değerlerindeki değişim izlenerek ampirik yolla bulunabilir. Benzer KES sonuçlarını veren şartlandırıcı gruplarından en dayanıklı flokları oluşturan kimyasal seçilmelidir. Flok dayanıklılığı, farklı karıştırma hızı ve/veya sürelerindeki KES değerlerinin birbirine oranı olarak ifade edilebilir.



Şekil 3.1 Karıştırma süresi ve polimer dozajının alum çamurlarının şartlandırılması üzerindeki etkisi ($G = 250$ sn)

Alum çamurlarının susuzlaştırılmasında susuzlaştırma yönteminin seçilmesi karıştırma şiddetine (G_t) ve polimer dozuna göre seçilebilir. Şekil 3.1'de alum çamurları için kapiler emme süresinin polimer dozuna ve G_t değerine göre değişimi verilmiştir (Werle vd., 1984). G_t değeri arttıkça, en iyi özellikte çamur elde etmek için gerekli optimum polimer dozu artmaktadır. Düşük G_t ve düşük polimer dozlarında elde edilen optimum polimer dozlarıyla şartlandırılan çamurlar kurutma yatakları gibi düşük gerilmeli susuzlaştırma sistemleri için uygundur. Vakum filtrasyonu gibi orta şiddetli gerilmeli sistemler için uygun şartlandırmada, optimum doz orta G_t değerlerinde ve orta polimer dozlarında seçilmelidir. Santrifüjler gibi yüksek gerilmeli susuzlaştırma sistemlerinde ise güçlü floklar gerektiğinden yüksek G_t değerleri ve yüksek dozlarda elde edilen optimum polimer dozları en yüksek verimi vermektedir.

Alum çamurlarıyla yapılan çalışmaya göre, düşük polimer dozajlarında G_t 'nin susuzlaşabilirlik üzerindeki etkisi yüksek olmaktadır.

Tablo 3.1 Alum çamurunda KES-Gt değişimine ait bazı kombinasyonlar (Werle 1984)

Dozaj mg/l	Gt	G (sn ⁻¹)	t (sn)	KES (sn)
15	25000	250	100	11.3
		625	40	11.9
		1215	20	11.9
20	10000	250	40	47.8
		625	16	43.5
		1215	8	39.1
	9000	250	360	9.7
		625	144	10.0
		1215	74	8.8
125	200000	250	800	20.5
		625	320	19.3
		1215	165	19.3

Tablo 3.1'den görüldüğü üzere deneylerde kullanılan G değerleri için (250, 625 ve 1215 sn⁻¹) elde edilen Gt değerlerinde önemli bir fark oluşmadığı ve her grup için okunan KES değerlerinin de mertebe olarak yaklaşık aynı olduğu belirlenmiştir.

Hız gradyanı (Gt), karıştırma süresi (t) ve polimer dozunun sabit tutulması halinde karıştırma işleminde kullanılan karıştırıcı şeklinin akım rejimini değiştirdiği ve şartlandırma verimi üzerinde etkisi olduğunu Cristensen ve diğ (1995) göstermişlerdir. Polimerle çamur şartlandırmada oluşturulan aşamalar, yüksek türbülansla polimerin çamur içinde dispersiyonu ve laminer şartlar altında gerçekleşen flokülasyondur. Sabit karıştırma süresinde, bütün karıştırıcı çeşitlerinde polimerin dispersiyonu için yeterli türbülanslı karışımın sağlandığı ve şartlandırma verimin belirleyen etkenin laminer şartların sağlanması olduğunu göstermiştir. Buna göre; karıştırma işleminde uygulanan kuvveti laminer akıma dönüştüren karıştırıcılar, türbülanslı şartlar oluşturan karıştırıcılara göre daha iyi bir performansa sahiptir. Pervaneli pedallar türbün tipi pedallara göre daha stabil akım şartları sağlamaktadırlar.

3.2.3 Katı Madde Miktarı

Çamurun şartlandırılması esnasında, kolloidin yüzey yükü, ona zıt yüklü organik polimerin adsorblanmasıyla nötralize olur. Dolayısıyla, belirli bir partikül boyutu düşünüldüğünde, katı madde konsantrasyonunun arttırılması, etkili olunması gereken yüzey arttığından polimer dozunu da arttıracaktır (bu yaklaşım hacimsel bazdadır, kg koagülant/kg katı madde bazında doz düşebilir.)

Katı madde konsantrasyonunun polielektrolit şartlandırması üzerinde iki etkisi daha vardır. Yüksek katı madde konsantrasyonları geniş bir dozlam aralığında iyi verim verir. Bu da yüksek konsantrasyonlarda çalışırken aşırı dozlam ile karşılaşma ihtimalinin daha düşük olduğu anlamına gelmektedir. Öte yandan konsantrasyonu yüksek çamurlarda etkili bir polimer/çamur karışımını sağlam oldukça güçtür. Yapılan çalışmalarda çamur konsantrasyonunun %5'in üzerine çıktığı durumlarda etkili bir karışım için gerekli olan enerji ihtiyacının arttığı bulunmuştur.

3.2.4 PH ve Alkalinite

Şartlandırmayı etkileyen kimyasal faktörlerin başında pH ve alkalinite gelmektedir. Şartlandırmada kullanılan kimyasal madde ile çamur partiküllerinin yüzey yükü pH'a bağlı olarak değişmektedir. Şartlandırmanın koagülasyon aşaması koagülant ile partikül yüzeyi arasında gerçekleşir. Bu sebeple pH flok oluşumunu ve yapısını etkilemektedir. İnorganik şartlandırıcılar kullanılması halinde pH ortamda bulunan kimyasal madde türevlerini belirler. Organik polimerler inorganik şartlandırıcılara oranla daha geniş bir pH aralığında etkilidirler. Alkalitenin şartlandırma için gerekli olan kimyasal madde dozu üzerinde etkisi bulunmaktadır. Yüksek alkalinite değerine sahip çamurların şartlandırılmasında şartlandırıcı ihtiyacı yüksektir. (Lue , Hing 1992)

3.2.5 Katyonların Etkisi

Anyon katyon yük dengesiyle ortamda bulunan bazı çözülmüş inorganik tuz çeşitleri (NaCl , CaSO_4 vb) zeta potansiyelini yaklaşık sıfıra düşürerek şartlandırmayı zayıflatırlar (Vesilind 1991). Atıksudaki katyon içeriğinin, aktif çamurdaki çökeltme ve susuzlaştırma özellikleri üzerinde büyük bir etkisi vardır. Susuzlaştırma ve çökeltme özelliklerinin belirlenmesinde katyon konsantrasyonu ve göreceli oranda rol oynar. Beside var olduğunda, katyonlar mikro- biyopolimer ağlarında birleşerek kesmeye daha dirençli yoğun floklar oluştururlar. Bu çökeltme ve susuzlaştırma özelliklerinin düzelmesi ve şartlandırıcı ihtiyacının azalması ile sonuçlanır. Divalent katyonlar flok matrisi içerisinde proteini bağlar. Çökeltme ve susuzlaştırma üzerinde katyon dengesinin etkisi üzerine bazı spesifik gözlemler aşağıda verilmiştir.

- Aktif çamur sistemlerinin bir çoğunda kalsiyum ve magnezyumun eşit molar oranları susuzlaştırma ve çökeltme için önemlidir.
- İyi bir çökeltme ve susuzlaştırma için kalsiyum ve magnezyumun minimum konsantrasyonu sırasıyla 0.72 - 2 meq/L arasında olmalıdır.
- Sodyumun divalent katyona oranı yaklaşık 2'den büyük olduğunda çökeltme ve susuzlaştırma özellikleri bozulur.
- Laboratuar sistemlerindeki divalent katyon dengesizliği besiyeye yada süspansiyona katyon ilavesi ile düzeltililebilir. Genelde besiyeye katyon ilavesi ile daha iyi bir düzeltme görülür.

Katyon içeriği, katyon dengesizliğine sıkça rastlanan endüstriyel tam ölçekli aktif çamur sistemlerinde susuzlaştırma ve çökeltmede önemlidir. Örneğin pH ayarlanmasında kullanılan sodyum hidroksit yüksek monovalent/divalent katyon konsantrasyonundan dolayı zayıf çökeltme ve susuzlaştırmaya neden olur. Bu problemler pH ayarlamasında alternatif kimyasallar yada divalent katyon ilavesi ile çözülebilir.

3.2.6 Bağlı Su Miktarının Önemi

Bağlı su, tüketme ve ara su oluşumu polimer şartlandırma esnasında nem içeriğini etkiler. Bağlı su içeriğinin büyüklüğü, nem içeriğinin değişmesine neden olur; nem içeriği bağlı suyun tüketilmesi ile azalır, su oluşumu ile artar. Flok büyüklüğü ve yoğunluğu ölçümü, zayıf susuzlaştırmayı akla getirebilir ve artan bağlı su içeriği flok büyüklüğünü artırır ve flok yoğunluğunu azaltır. Deneysel sonuçlarda; bağlı suyun artışı ve flok yoğunluğunun azalmasına flok boyutları ve flok agregasyonunun neden olduğu bulunmuştur, flok sıklığının derecesi ise etkilenmez. Bağlı su ölçümü için uygulanan en kolay yöntem dilotometredir. Bu metot bağlı suyun serbest suyun donma noktasının altındaki derecelerde donmadan kalacağı esasına dayanmaktadır. Toplam ve serbest su belirlenebilir ve böylece bağlı su hesaplanabilir. Bağlı su içeriği, polimer dozajı arttıkça azalır, nedeni çamur - partikül arasındaki bağlanma alanlarındaki su-polimer değişimidir. Polimer partikül yüzeyinde absorblanmış su ile yer değiştirir. Bağlı su, optimum dozaja kadar azalır bu noktadan sonra artar. Bunun nedeni; polimerlerin ince partiküllerle agremelat oluşturarak daha geniş floklar oluşturması ve böylece fiziksel nem fraksiyonunun artmasıdır. Boyut analizinde partiküllerin boşlukları nasıl doldurduğu incelenir. Bu analizle flok yapısı ortaya konulur. Flok yoğunluğu, flok çapı azaldıkça artar. Flok çapı polimer dozu arttıkça artar. Flok yoğunluğu artan polimer dozu ile azalır ve flok yoğunluğu susuzlaştırmayı etkiler, yüksek yoğunluklu çamur daha iyi susuzlaştırma sağlar

3.2.7 Yüzey Aktif Maddelerin Etkisi

Çamur atım önemli bir problemdir. Bazı su arıtma tesislerinde yüzey aktif maddeler flotasyon prosesinde kullanılır ve flotasyonun performansını artırır. Bu yüzden çamur şartlandırmada kullanılması önerilmektedir. Çeşitli yüklerdeki yüzey aktif maddeler CTAB ve SDS çamur örneğine çeşitli miktarlarda eklenmiştir ve

susuzlaştırmaya etkileri (Pan J.R. ve diğ 2000) incelenmiştir. Yüzey aktif maddeler ayrıca şartlandırmaya etkilerinin incelenmesi için katyonik veya anyonik polimerlerle kullanılarak koagülant olarak fizibilitesi incelenmiştir. Deneysel sonuçlar çamurun filtre edilebilirliğini azalttığını fakat optimum dozdaki susuzlaştırma oranını arttırdığını göstermiştir. Katyonik yüzey aktif maddeler, katyonik polimerler için şartlandırma yardımcısı olarak kullanılabilir. Yüzey aktif madde ve polimerlerin eklenme sırası önemlidir. Karşı yükteki bir polimer, bir yüzey aktif madde ile ilave edildiği zaman beraber çökeltme oluşur ve böylece filtre edilebilirlik azalır.

3.2.8 Çift Polielektrolit Kullanımının Etkisi

Tek polielektrolit çamur şartlandırması, konvansiyonel olarak yük nötrleştirme ve partiküllerin bir araya gelmesi için kullanılmaktadır. Hem katyonik hem de anyonik polielektrolitler şartlandırmada kullanılır.

Kapiler Emme Süresi (KES), Özgül Direnç (SRF), çökeltme oranı ve zeta potansiyelleri çamur susuzlaştırmada değerlendirme kriterleri için kullanılır. Çamur susuzlaştırma davranışları için tek ve çift polielektrolit şartlandırılması karşılaştırılır. Çift polielektrolitle şartlandırılan çamur daha küçük parçacıkların tutulmasında ve susuzlaştırmada daha iyi sonuç veren daha büyük flokların oluşmasında daha iyi performans göstermiştir ve aşırı dozaj riskini azaltmıştır. Polielektrolitle dozaj sırası susuzlaştırmayı etkiler. Reaksiyon mekanizmasının çift polielektrolitle şartlandırmada flokleşmeyi artırdığı ileri sürülmektedir. Son yıllarda polielektrolitler çamur susuzlaştırma işleminde temel şartlandırma malzemesi olarak seçilmektedir. Genel olarak, çamur şartlandırmasında kullanılan tek polielektrolitte iki mekanizma vardır ; biri yük nötrleşmesi diğeri ise partiküllerin birleşmesi olmaktadır (Bohm ve Kulicke

1997). Polielektrolit dozajının kontrolü, çamur şartlandırmasında önemlidir çünkü aşırı dozaj hem maliyeti artırır hem de susuzlaştırmayı düşürür. En iyi polielektrolit dozajı, sıvı içerisinde bulunan partiküllerin yüzey yükünün düşük olması ve parçaların flok haline gelebilme özelliğiyle alakalıdır (Christensen vd 1993). Son yıllarda su ve atık su arıtımında, çift polielektrolit sistemleriyle partiküllerin floklar halinde birleşmesini artırmak ve geliştirmek için çalışmalar yapılmaktadır. Yu ve Somasunduran (1993) çift flokülanlar ile alüminyum floklarının arttığını sunmuşlardır. Bir anyonik polielektrolit ilk önce alüminyum yüzeyi tarafından elektrostatik etkileşimle, daha sonra uzun zincirli katyonik polielektrolit adsorbsiyonu ile adsorbe edilir. Tek polielektrolit sisteminde floklaşma sadece yük nötrleşmesinden kaynaklanmaktadır, oysaki çift flokülan sisteminde polimer-polimer etkileşimi parçacıklar arasındaki kaynaşmayı ve sonuç olarak floklaşmayı çok etkin biçimde yapmaktadır. Polielektrolitin yapısına, katı yüzeyine ve çözelti kimyasına bağlı olmasına rağmen iki polielektrolit arasındaki kompleks oluşumu ve katı yüzeyindeki daha yoğun adsorbsiyon çalışmalarla doğrulanmıştır (Yu ve Somasandran 1996). Çamur şartlandırması ve susuzlaştırmada daha önceden demir tuzuyla veya katyonik yüzey aktif maddeyle şartlandırılan atık aktif çamur, katyonik polielektrolit ile şartlandırıldığında daha iyi susuzlaştırma göstermektedir (Chitelke ve Dentel 1998). Ayrıca çift polielektrolit şartlandırmasının (biri yüksek molekül ağırlıklı diğeri düşük molekül ağırlıklı) tek polielektrolit şartlandırmasından daha etkili olduğu belirtilmiştir. Avantajlarını sayarsak; susuzlaştırılmış kekteki katı miktarının artışı, tutulan katı madde miktarında artış, belt filtrenin yükünü hafifletme (Senthilnathan ve Sigler 1993). Atıksu çamuruna uygulandığında aynı etkinin bulunmamasına rağmen anyonik ve katyonik polielektrolitle şartlandırıldığında sıyrılan sedimentte daha iyi susuzlaştırma gözlemlenir.(Bohm ve Kulicke

1997). Ayrıca çift şartlandırıcılarda polielektrolit dozu arttırıldığında daha iyi şartlandırma sağlanır. Bununla birlikte çift polielektrolit şartlandırması belirsizliklerde içerir.

4. BÖLÜM

ÇAMUR ŞARTLANDIRMA YÖNTEMLERİ

Arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurların sadece mekanik yöntemlerle susuzlaştırılmaları oldukça verimsiz olmaktadır. Günümüzde çamurların suyunu bırakma kabiliyetlerini arttırmak için susuzlaştırma öncesinde uygulanan şartlandırma yöntemlerini kimyasal ve fiziksel yöntemler olarak ikiye ayırmak mümkündür. Kimyasal şartlandırma kendi arasında inorganik ve organik kimyasal şartlandırma olarak ikiye ayrılır. Fiziksel yöntemler ise ısıtma işlemleri, donma-çözülme ve elütrasyon işlemleri olarak sıralanabilir.

4.1 İnorganik Kimyasal Şartlandırma

İnorganik kimyasallar uzun senelerden beri çamur şartlandırmada kullanılmaktadır. Günümüzde özellikle vakum filtrasyonunda, inorganik kimyasallar, demir klorür ve kireç, yaygın olarak kullanılırlar da bant filtre ve santrifüj uygulamalarında, saklanmalarındaki kolaylık ve daha verimli olmaları nedeniyle organik şartlandırıcılar tercih edilmektedir.

En yaygın olarak kullanılan inorganik kimyasal şartlandırıcıların başında demir(III) klorür ve kireç gelmektedir. Hazır olarak elde edilebilmeleri ve çok farklı çamur tipleri üzerinde başarı ile uygulanabilmeleri başlıca avantajlarıdır. Bunların yanında alüminyum sülfat, alüminyum klorür, sıvı demir sülfat ve anhidre demir klorür de şartlandırıcı olarak kullanılmaktadır.

4. 1. 1. Kireç

Kireç, atıksu arıtma tesislerinde pH kontrolünde kullanılır. Piyasada iki halde bulunur; sönmemiş kireç (CaO) ve sönmüş kireç $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Çamur şartlandırıcı olarak kireç, demir klorür ilavesi ile düşen pH'ı arttırmada kullanılır. Ayrıca kireçle pH değerleri arttırılarak, çözelti içerisinde hidrojen sülfür şeklinde bulunan sülfür, uçucu olmayan sülfid ve bisülfid iyonuna dönüştürülerek koku probleminin giderilmesi sağlanır. Yüksek dozlarda kireç çamur stabilizasyonunda da etkili olur, örneğin $\text{pH} > 12$ değerlerinde stabilizasyon gerçekleşebilir.

CaO, pH ayarlamasında ve kontrolünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kireçtaşının (CaCO_3) yüksek sıcaklıklarda fırınlarda yakılmasıyla elde edilir. Yakma esnasında CO_2 ortamdan uzaklaşır ve CaO kalır.

CaO nadir olarak kuru formda kullanılır. Onun yerine suyla çözünerek daha reaktif $\text{Ca}(\text{OH})_2$ haline dönüştürülür.



Bu işlem kirecin söndürülmesi denir ve reaksiyonun bir sonucu olarak ısı açığa çıkar. CaO havadaki nemle reaksiyona girebileceğinden oldukça kuru yerlerde saklanmalıdır. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in kullanımı CaO'ya göre daha kolaydır. Çünkü tekrar suyla söndürmeye ve özel koşullarda saklanmaya ihtiyaç duymaz. Ancak CaO'e göre daha pahalıdır. Kireç demir klorürle birlikte şartlandırıcı olarak kullanıldığında oluşan çamur miktarı %20-40 oranında artar. Bunun yanında, ortaya çıkan ısı nedeniyle patojenik mikroorganizmaların azaltılması ve kurumada söz konusudur.

4. 1. 2 Demir Klorür

Demir klorür (FeCl_3) atıksulardaki katıların flokulasyonunda yaygın olarak kullanılır. Genelde %30-35 FeCl_3 çözeltisi halinde sıvı kullanılır. Suda çözünerek

pozitif yüklü demir iyonları oluşturur. Bu iyonlar negatif yüklü çamur partiküllerini nötralize ederler ve partiküllerin yakınlaşması sağlanır. Demir klorür ayrıca çamurdaki bikarbonat alkalinitesi arasındaki reaksiyon verilmiştir.



Demir klorürün en önemli özelliklerinden birisi oldukça korozyif olmasıdır. Bu nedenle PVC, seramik, gibi özel maddelerden yapılmış kaplarda saklanmalıdır.

4.2 Organik Kimyasal Şartlandırma

Çamur Şartlandırıcıları olarak organik polielektrolitlerin kullanılması inorganik koagülantlara göre birtakım avantajları vardır.

- Polimerler çamur miktarının arttırmazlar. Buna karşılık inorganik şartlandırıcılar oluşan çamur miktarının %15-30 oranında arttırırlar.
- İnorganik kimyasallarla kıyaslandığında aynı tipteki çamlara uygulanan dozaj daha azdır.
- Polimerler susuzlaştırılmış çamurun yakıt değerini düşürmediklerinden yakılması halinde inorganik şartlandırılmış çamura nazaran daha yüksek verim sağlar.
- İşletme ve bakım ihtiyaçları az olup daha temiz bir kullanım sağlarlar.
- Polimerler bir çok susuzlaştırma uygulamasında yüksek kek konsantrasyonu ve AKM giderimi sağlarlar.

4.3 Polimer Kimyası

Polimerler uzun zincir yapılı ve suda çözünebilen kimyasallardır. Tek bir monomerden veya doğal bir polimere bir monomer grubunun eklenmesinden oluşturulurlar. Bu şartlar altında sayısız polimer çeşidi oluşturulabilir, ancak mümkün olan en düşük maliyetle arıtma gerekliliği arıtım teknolojisinde kullanılabilir polimer sayısını azaltmaktadır.

Organik polimerlerle çamur şartlandırması, yük nötralizasyonu ve flokülasyon yoluyla, değişik boyutlardaki partiküllerin destabilizasyonunu sağlayan kompleks bir proses olarak tanımlanabilir. Ortamdaki partiküller, kendilerini çevreleyen iyonlardan dolayı, farklı elektrokinetik özelliklere sahiptir. Bu özellikler, şartlandırma için kimyasal madde seçimi prosesinde önem kazanır.

Genelde çamur şartlandırma proseslerinde, hidrofobik öğelerle su fazı arasındaki reaksiyonlar göz önüne alınır. Partikülleri stabilize eden moleküler kuvvetler denge durumundadırlar.

Bu kuvvetler aşağıda verilmiştir.

- 1- Partiküller arası elektrostatik kuvvetler
- 2- Van der Waals kuvvetleri
- 3- Kimyasal bağlar
- 4- Fiziksel köprülenme

Bir polimer sahip olduğu yükün özelliklerine göre 3'e ayrılır.; katyonik, anyonik ve naniyonik.

Evsel nitelikli bir çamurda partiküllerinin çoğu negatif yüklü olduğundan bu tip çamurların şartlandırılmasında en çok kullanılan polimer türü katyonik (pozitif yüklü) polimerdir.

Anyonik polimerlerin kullanılması çoğu çamur partikülünün de negatif yüklü olmasından dolayı yaygın değildir. Anyonik polimerler ya çok miktarda demir veya kireç ihtiva eden çamurların şartlandırılmasında , katyonik polimerlerle çift şartlandırma sistemlerinde yada alümin içeren içme suyu çamurlarının şartlandırılmasında kullanılır.

Naniyonik polimerler nötr yada sıfır yüke sahiptirler. Sıfır yüke sahip bir polimerin elde edilmesi oldukça zordur, bu nedenle bir çok naniyonik polimer çok az da olsa anyonik yük taşır. Naniyonik polimerler endüstriyel atıklarda ve ham su dezenfeksiyonunda kullanılmakla

beraber atıksu çamurlarının şartlandırılmasında kullanılabilirlikleri çok düşüktür.

4.3 Polimerik Flokülantların Etkileri

Polimerik flokülantlar köprüleme, yük nötralizasyonu, kompleks oluşumu ve flokülasyon tüketme mekanizmaları ile işlerler. Burada en önemli işlevleri köprüleme ve yük nötralizasyonudur.

Köprülenme mekanizması polimer moleküllerinin partikülün üzerine adsorblanması ve böylece diğer partiküllerinde yapışması sonucu meydana gelir. Buradaki en önemli etki polielektrolit için polimerin moleküler ağırlığı, adsorbsiyon özellikleri ve yüzey yoğunluğu ve çözeltinin iyonik bağlarıdır.

Yük nötralizasyonu ise partikülle zıt yüklü polielektrolitin elektrostatik etkileşimi sonucu meydana gelir.

4.3.1 Polimerlerin Yapısı

1950'lerden beri sentetik flokülantlar bulunmaktadır ve bunlar doğal materyallerden daha geniş bir kullanıma sahiptir. Ticari polimerik flokülantlar naniyonik karakterde olan polyacrylamide polimerlerdir. Polyacrylamide hidroliz ile amid gruplarından karboksil gruplarına dönüşür ve negatif yüklü karboksil iyonları vererek alkali veya doğal çözeltileri iyonize eder.

Katyonik polimerler acrylamide'in uygun katyonik monomerler ile kopolimerizasyonu sonucu oluşur. Polielektrolitler çözelti pH'ına bağlıdırlar.

4.3.2 Köprülenme (Polimerlerin Adsorbsiyonu)

Bir polimerin bir partiküle köprülenerek adsorbe olması için bir çok yol vardır Bunlardan biri polimerle partikül farklı yükte olabilirler. Burada adsorblanmayı etkileyen elektrostatik kuvvetlerdir. (Örneğin katyonik bir

polimerle negatif bir partikül arasında) Nanyonik polielektrolitlerde yada partikül ve polimer aynı yükte iseler adsorbsiyon için bazı özel etkileşimler olmalıdır.

Hidrofobik bağlar: Hidrofobik yüzeyler üzerinde yüksüz adsorbsiyon

Hidrojen bağları: Partikül yüzeyi ve polimer molekülü uygun H- bağ sitesine sahip olduğunda oksit yüzeylerinde hidroksil grupları ile poliacrylamide'in amid grupları arasında etkileşim olur.

Dipol kristal alan etkisi: Polimer üzerindeki polar grupları ile kristal yüzeydeki elektrostatik alandaki etkileşimdir. Bu durumda polyacrylamide fluorite partikülleri üzerinde adsorbalanır.

Eğer partikülle polimer zinciri arasındaki elektriksel itme kuvvetliyse (örneğin anyonik polielektrolit ile negatif partikül arasında) bu etkiler etkili olmayacaktır.

4.3.3 Köprülenme ile Flokülasyon

Polimer köprülenmesi ile flokülasyon mekanizması 1952'lerin ortasında Ruehrwein ve Ward tarafından ortaya atılmıştır. Tipik polimer molekülleri, 0.1 ile 1 µm arasında değişen kolloidal moleküllere yapışarak çeşitli boyutlarda polimer zincirleri oluşturur. Etkili köprülenme flokülasyonu absorblanmış polimerin bir partikül yüzeyinden yeteri kadar uzaktaki diğer bir partikülün boş yüzeyine zincirlenmesi ile oluşur. Eğer polimer absorblanırsa partikül restabilize hale gelir. Şekil 4.1 polimerin köprülenmesi ve absorblanmış partikülün yeniden stabil hale geçişini göstermektedir.



(A)

(B)

Şekil 4.1 (a) Köprülenme flokülasyonu (b) adsorblanmış polimerle restabilizasyon

Su içerisindeki bir çok partikül yüklüdür ve aralarındaki elektriksel itme kuvveti çözeltinin iyonik bağlarına bağlıdır. Düşük elektrolit konsantrasyonlarında yüklü partikül çevresindeki elektriksel çift tabaka oldukça yüksektir. (100 nm) ve partiküller birbirlerine yaklaşamazlar. Köprülenme flokülasyonun olması için çift tabaka etkisinin işlediği tüm boşlukları sarması gereklidir böylece yalnızca yüksek moleküler ağırlıklı polimer düşük iyonik kuvvetlerde etkili olabilir. Tuz konsantrasyonu arttığında elektriksel itme düşer ve düşük moleküler ağırlıklı polimerler etkili olabilir.

Polielektrolitler ile molekül boyutu iyonik kuvvetlerden etkilenir. Polimer zinciri boyunca yüklenmiş bölgeler arasındaki itme zincirin daha da uzayarak genişlenmesine neden olur. Bununla birlikte bu itme etkisi yüksek iyonik kuvvetlerde gözlemlenir ve daha sıkı şekiller oluşturduğundan köprülenmeyi azaltır. Polimerle partikül arası itme azaldığında iyonik kuvvetler artacak ve polielektrolitin aynı yükü yüklenmiş yüzeylerdeki adsorbsiyonu artacaktır.

Köprülenme flokülasyonu için polielektrolitlerde optimum yük yoğunluğu olduğu uzun zamandan beri bilinmektedir. Mccheals (1954) polimerin moleküler ağırlığı arttığında kil çözeltilerinin poliacylamide ile flokülasyonunun iyileştiğini ve %30 oranında optimum dozda hidroliz olduğunu bulmuştur. Bu olay anyonik polimerin negatif partiküllere adsorbsiyon eğiliminin azalması ve hidroliz derecesinin artmasıyla, yüklenmiş bölümler arasındaki çift taraflı itme ile polimer zincirinin genişlemesi şeklinde açıklanabilir. Zincirin genişlemesi daha iyi flokülasyon sağlar.

4.3.4 Yük Nötralizasyonu

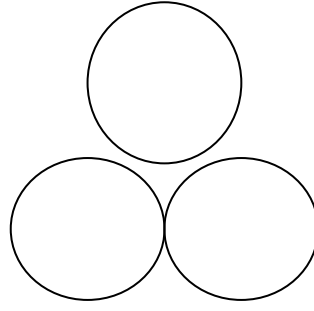
Su içinde partikülerin büyük bir çoğunluğu negatif yüklüdür ve katyonik polimerler daha sıklıkla kullanılır. Yüklü partiküller elektriksel itm tarafından stabilize edilir zıt yüklü polimer adsorbsiyonu bu itmeyi yok eder yada azaltır ve flokülasyon sağlanır. Aşırı polimer ile partiküllerin yeniden stabil hale getirilmesi ters yklenmedir (Negatif patikller aşırı katyonik polimer adsorblamasıyla pozitif yüklü hale gelirler).

Zıt yüklü polimerler ile partiküllerin flokülasyonunda köprülenme ve yk nötralizasyonunun etkisi önemlidir. Eğer yk nötralizasyonu baskın etkide ise yüksek mlekler ağırlıklı polimere ihtiyaç yoktur. Bu polimerler hem pahalıdır hemde kullanışlı değildir. Yük nötralizasyonu zeta potansiyeli ile ölçülür . Zıt yüklü polimer partikülü yükler ve partikülün zeta potansiyeli sıfıra yakın bir değer olarak ölçülür.

4.3.5 Elektrostatik Yama Mekanizması

Yük nötralizasyonu ilgi alanına giren katyonik polimerlerin davranışlarını açıklamada mlekler ağırlık ve iyonik bağ kuvvetlerinin bazı etkileri vardır. Bunlar ise elektrostatik yama modeli ile daha iyi açıklanabilir. Aslında bu model yüzey partikülleri oldukça düşük yoğunlukta hareketsiz yüzey yüklerine sahip olduklarında ve polimer yüksek yük yoğunluğuna sahip olduğunda uygulamaya geçer. Bu durumda polimer üzerindeki her bir yüklü grubun, yüklü yüzey yük konumuna yakın olması ve partikül bütün olarak elektriksel nötr olması durumunda bile, fazlalık yk bölgelerinin gelişmesi fiziksel olarak mnkn değildir.

Bu tip mozaik tip yk dağılımına sahip olan parçacıklar öyle bir şekilde etkileşebilirler ki (+) ve (-) yamalar gayet güçlü bağlar kurarak etkileşime geçerler. Bu tip etkileşimin şematik rneği şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Elektrostatik yama modelinde adsorblanmış katyonik polimerle negatif yüklü partiküllerin etkileşimi

4.3.6 Polimer Kompleks Oluşumu

Polimerik flokülantların kullanıldığı bir çok sistemde ilave edilen polimerle diğer bileşenler etkileşimde bulunur. Bu bileşenler sistemde doğal olarak bulunabilir yada, flokülasyonu arttırmak için eklenmiş olabilir, her iki halde de polimer kompleksi oluşur.

Son günlerdeki flokülasyon örneklerinde, polietilen oksit fenol formaldehit reçineli lateks partikülleri kullanılmaktadır. Buda bekletme zamanını artırıcı etkiye bulunur. İki floklaştırıcı bileşen tarafından oluşturulan geçiş ağındaki partiküllerin parçalanması için flokülasyon mekanizması planlanır. Güçlü partikül boyut etkisi süspansiyon içindeki partikül boyut dağılımına bağlıdır. Benzer sistemler, tamik asit, polietilen oksit veya poliakrilamit arasındaki kompleks oluşumuna dayanır.

Biyolojik sistemlerde, örneğin atıksu çamurlarında, anyonik polimerler doğal olarak bulunabilir yada oluşabilir. Bu sistemlerde katyonik polimerin ilavesi, 3 boyutlu jel tipi ağ verir.

Zıt yüklü polimerlerin birbirini takip eden sırada ilavesi etkili flokülasyonu sağlanabilir. Örneğin düşük moleküler ağırlıklı katyonik polimerin ardından daha yüksek moleküler ağırlıklı anyonik madde kullanılmaktadır. Katyonik polimerin yama modeli anyonik polimerin

eklenmesi için gerekli alanı oluşturur ki bu da köprülenmeyi sağlar.

Hidrolyze flokülantlar örneğin Al ve Fe tuzları ; kolloidal partikülleri parçalayabilen hidroksit çökeltileri oluşturabilirler. Hidroksit floklar oldukça zayıftır ve bağları, yüksek moleküler ağırlıklı anyonik polimer ilavesi ile artabilir (Hidroksit çökeltileri az miktarda pozitif yüklü olabilir). Hidrodinamik şartlar ve ilave arasındaki zamanın kontrolüne dikkat edilmelidir çünkü pelleting flokülasyon olarak bilinen güçlü floklar oluşturmak mümkündür (Yusa M 1977)

4.3.7 Serbest Polimer İle Flokülasyon

Yapılan araştırmalarda çözelti içindeki adsorblanamayan polimerlerin, flokülasyonu arttırdığı bulunmuştur (Sperry, P. R., 1981)

4.3.8 Polimer Flokülasyonunun Kinetik Yönleri (Hız İşlemleri)

Hemen hemen bütün polimerik flokülasyon uygulamalarında, polimer ilavesi ve takip eden floklaşma işlemi süspansiyonun karıştırılmasıyla gerçekleştirilir. Bu karıştırma işlemi polimerin tüm süspansiyon ile tamamen karışmasını ve parçacıkların agrege olmaları için çarpışmalarını sağlar. Karıştırma işlemi çok önemlidir. Çünkü normal olmayan bir polimer dağılımı nedeniyle bazı bölgelerde aşırı doz polimer floklaşmasının zayıf olmasına neden olabilir. Bu durum floklaşmış süspansiyon sistemlerinde bulanıklığa ve zayıf filtrasyona neden olabilir. Polimer çözeltileri genelde yüksek konsantrasyonda (%0,1-1,0) viskozitede ilave edilir. Eklenen viskoz polimer damlacıklarının dağılması zaman alabilir ve floklaşma için çekirdek oluştururlar. Kolaylık için kısa karışmanın olduğu kabul edilir.

a) Polimerin moleküle adsorbe olması.

b) Adsorbe olan moleküllerin yeniden düzenlenmesi (konformasyonu)

- c) Kararsız parçacıkların flok oluşumu için çarpışması
- d) Flokların parçalanması

4.3.9 Floklaşma, Tortulaşma Ve Birleşme

Bu adımların her biri bir dizi faktöre bağlıdır ve hızları tahmin etmek zordur. Pratikte birtakım işlemler tesadüfidir ve problem tamamen kompleks bir hal alır. Adsorbsiyon ve floklaşma hızları deneysel olarak hesaplanabilir ve teorik olarak tahmin edilebilir. Polimerin yeniden konformasyonu ve flokların dağılma hızıyla ilgili elimizde çok az bilgi vardır.

Eğer yeniden konformasyon çok yavaş olsaydı, polimer adsorb olmuş partiküller arasındaki çarpışmalar çok daha uzamış konfigürasyonlarda olmalıydı. Doğal olarak bu floklaşmaya köprü olacaktır. Hızlı yeniden konformasyonda partikül çarpışmaları adsorbe olmuş polimerlerin düz bir konfigürasyon şeklini almalarından sonra meydana gelmektedir. Buda flokların birleşmesini daha az olası kılar. Partikül çarpışmalarının sık olduğu konsantre süspansiyonlarda, polimerlerin yeniden konformasyon hızları partikül konsantrasyonuna bağlı olmadığından flokların dengesiz bir şekilde birleşmeleri daha olasıdır.

Polimer adsorbsiyonu ve partikül floklaşması çarpışma işlemi olarak değerlendirilebilirler. Polimer molekülleri parçacıklara adsorbe olmaları için onlarla çarpışmalı, polimer adsorbe olmuş moleküllerde, floklaşma için birbirleriyle çarpışmalıdırlar. Çarpışma difüzyonla (Brownian hareketi) veya sıvı hareketi (ortokinetik etkiler) nedeniyle olabilirler. Partikülleri ve polimer moleküllerini küresel kabul edersek Sumluchowski teoremini uygularsak, Gregory difüzyon kontrollü polimer adsorbsiyon hızının partikül çarpma hızından büyük olacağını göstermiştir. Bununla birlikte, karıştırılan bir süspansiyonda, adsorbsiyon hızı kesme hızına bağlıdır. Bundan başka, bu şartlar altında partikül çarpışma hızı polimer adsorbsiyon hızından çok daha

fazladır. Bu tahminler türbülans akışlardaki birçok katyonik polimerleşme çalışmalarıyla doğrulanmıştır. Aynı değerlendirmeler süzülüş taneciklere polimer adsorbsiyonunda geçerlidir.

4.3.10 Flokların Dayanıklılığı

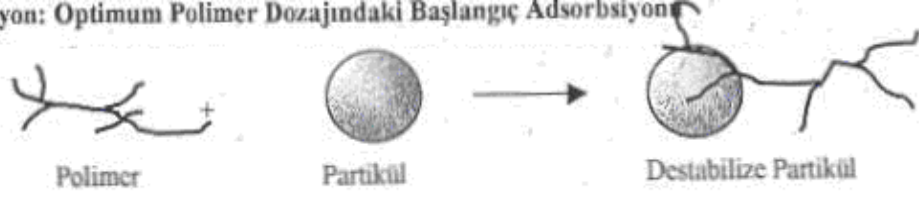
Polimerlerin birleştirmesiyle oluşan flokların dayanıklılığı partikülleri birleştiren polimer zinciri sayısına bağlıdır. Polimer zincirindeki C-C tekli bağının kırılması için 1-10 nN'luk kuvvet uygulanması gerekir. Bu değer karıştırılan süspansiyonlarındaki parçacıklar arasındaki tipik hidrodinamiksel kuvvetten çok daha küçüktür. Bu partiküllerin orta derecedeki karıştırma ve kuvvetlere karşı bir arada durabilmeleri için partiküller arasında birden fazla köprü oluşması gerektiği anlaşılmaktadır. Floklaşmanın ilk aşamalarında agregatlar tekli partiküllerin eklenmesiyle oluşur ve daha sonra mikro agregatlar çarpışarak çok seviyeli büyüme işlemine neden olurlar. Flok büyüklüğü arttığı zaman, partiküller arası polimer köprü sayısı azalmaya başlar ve floklar zayıflamaya başlar. Flok büyüklüğü arttığı zaman flokları zayıflatma eğiliminde olan hidrodinamik kuvvetler daha büyük olmaya başlarlar ve böylelikle floklar kesme kuvvetine bağlı olarak belli bir limite kadar büyüyebilirler. Bu durum kalitatif olarak en az anlaşılabilen durumdur.

Polimerlerin köprü oluşturmasıyla oluşan floklar yük nötrleşmesi veya elektrostatik yama etkileri ile oluşturulan floklardan genelde daha kuvvetlidirler. Bununla birlikte köprü durumunda flokların bağlarının kırılması flok parçalarındaki adsorbe olmuş zincirlerin yeniden konforme olmasından dolayı tersinir bir durum değildir. Elektrostatik yama işleminde kırılma tersinir gibi görünmektedir. Bu fark iki mekanizma arasında ayırt edici ve kullanışlı bir metottur.

4.4 Polimer Reaksiyonları

Çamur şartlandırma işlemi esnasında çamur partikülü ile polimer arasında gerçekleşen reaksiyonlar 6 adımda genelleştirilmiştir

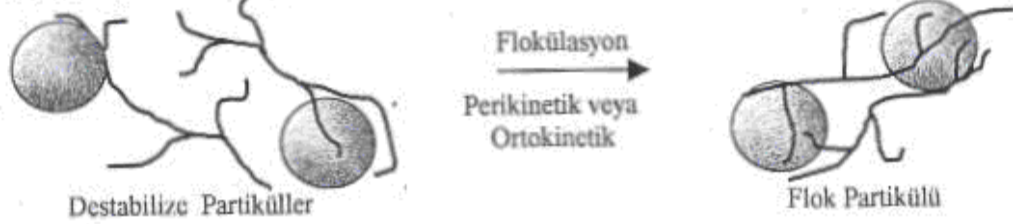
1. Reaksiyon: Optimum Polimer Dozajındaki Başlangıç Adsorbsiyonu



Polimer + Partikül $\longleftrightarrow$ Destabilize (Kararsız Partikül)

Partiküllerin polimerle ilk karşılaşması polimerin çamur içine hızla karıştırılması esnasında olur. Bu aşamada polimerin yükü ile ona zıt partikül yükü arasındaki çekme kuvveti diğer tüm kuvvetlere baskın gelir ve polimerle partikül birarada hareket etmeye başlar.

2. Reaksiyon : Flok Oluşumu



yumaklaşma

Destabilize Partikül + Destabilize Partikül $\longleftrightarrow$ Yumak

Birbirinde dağınık halde bulunan destabilize olmuş partiküllerin, bir miktar daha karıştırma devam ettirilerek, birbiriyle temas ederek yumak oluşturmaları sağlanır. Elektrostatik yükler nötralize edildiğinden partiküllerin yükleri oldukça zayıftır. Dolayısıyla bu aşamada yumakları tutan kuvvetler de oldukça zayıftır.

Eğer bir çamur prosesinde iyi bir şartlandırma gerçekleşiyorsa bu kademeden sonra yumak oluşumunu

tamamlamak için daha fazla polimere ihtiyaç duyulmaması gerekir.

3. Reaksiyon : Polimerin İkinci Defa Adsorbsiyonu

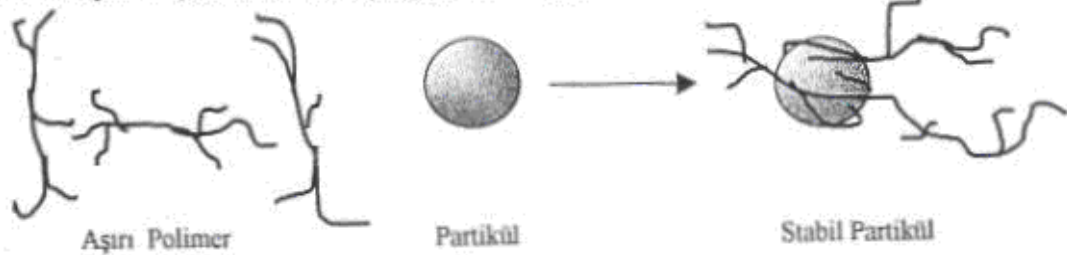


Destabilize Partikül $\longleftrightarrow$ yeniden stabilize olmuş partikül

Bazı durumlarda partiküle tutunmuş olan polimer (destabilize partikül) diğer bir destabilize partikülle köprü teşekkül edip yumak oluşturmaktansa, tutunduğu partikülün üstüne kaplanarak reaksiyonu bitirme yoluna gidebilmektedir. Bu durum genel de çamurun yük nötralizasyonunu sağlamaya yetecek polimerin ortamda bulunmadığı anlarda yani yetersiz şartlandırma hallerinde gerçekleşmektedir.

Yeniden stabilize olmuş bir partikülün tekrar karasız hale geçmesi oldukça zordur. Çoğu zaman yetersiz şartlandırılan bir çamurun tekrar şartlandırılması bir işe yaramamaktadır. Yapılabilecek tek şey, farklı bir şartlandırma programı uygulanarak reaksiyonun tamamlanmasını sağlamaya çalışmaktır.

4. Reaksiyon : Aşırı Polimerin Başlangıç Adsorbsiyonu

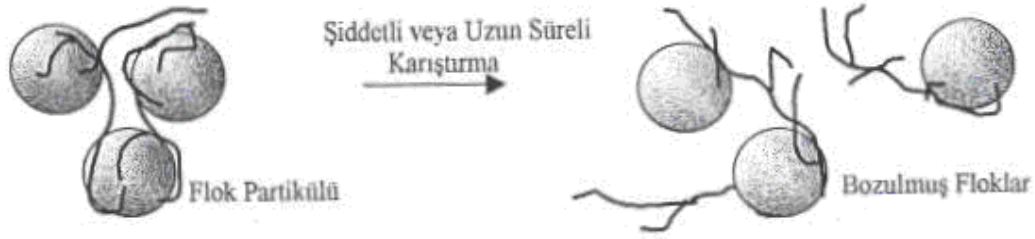


Fazla Polimer + Partikül $\longleftrightarrow$ Kararlı (stabilize) Partikül

Aşırı şartlandırma ile kararlı hale geçmiş bir partikülü tekrar destabilize hale geçirmekte Reaksiyon 3'te olduğu gibi oldukça zordur. Aşırı şartlandırmanın gerçekleşmesinin 3 temel nedeni vardır.

- Polimer dozu çok yüksektir.
- Polimer konsantrasyonu çok yüksektir.
- Çamur / polimer karışımı yetersizdir.

5. Reaksiyon : Oluşmuş Flokların Bozunumu



Aşırı yada Uzun

Kırılmış

yumak

Kararlı yumak partikülü

Karıştırma

Kırılmış

yumak

Aynı Reaksiyon 3'te olduğu gibi bu da verimi düşüren bir adımdır, sonuçta iyi şartlandırılmış çamur yerine daha kötü şartlandırılmış çamur, susuzlaştırma ekipmanına gitmektedir. Karıştırma süresi uzun geliyorsa ya da karıştırma çok şiddetliyse bir alt kademe ile çalışılabilir. Ayrıca iki farklı polimerin kullanıldığı bir şartlandırma yöntemi ile de bu sorun aşılabilir.

6. Reaksiyon : Polimerin İkinci Defa Adsorbsiyonu



Kırılmış yumak

Tekrar kararlı yumak

Bu durum arasına santrifüj duru faz çıkışında ve belt pres süzüntü sularında görülmektedir. Farklı bir şartlandırma programı ile engellenebilir.

4.5 Çamur Susuzlaştırılabilirliği nin Ölçüm Yöntemleri

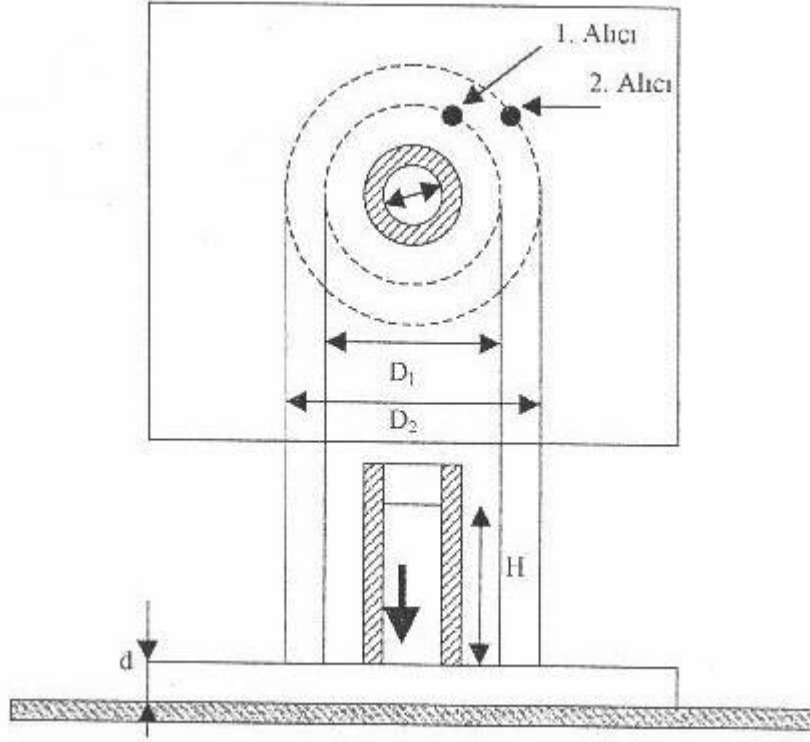
4.5.1 Kapiler Emme Süresi (KES) Deneyi

Kapiler Emme Süresi (KES) deneyi çamur şartlandırma prosesinde kullanılan en hızlı ve en kolay test yöntemlerinden biridir. Bir miktar şartlandırılmış çamurun filtre kağıdı üzerinde yerçekimi etkisi ile yayılması esasına dayanır.

Kapiler Emme Süresi deney düzeneği Şekil 4.3’de görülmektedir. Deney düzeneği bir çelik silindirik numune haznesi, 9 cm x 7 cm boyutlarında kesilmiş filtre kağıdı, iki parça plastik blok, üst bloğa yerleştirilmiş 3 adet elektriksiz alıcı ve bunlara bağlı bir zamanlayıcıdan ibarettir. Filtre kağıtları kullanılırken pürüzlü yüzeyin üst tarafa bakmasına dikkat edilmelidir. Çelik numune haznesinin tamamı doldurulur. Numunenin hazneye doldurulması ile deney başlatılır. Çamurdaki su süzülürken filtre kağıdında genişleyen bir halka oluşur. Su halkası 0.8 cm’lerince ilk iki elektriksiz alıcıya ulaşır ve zamanlayıcıyı başlatır. İlerlemeye devam eden su halkası 0.7 cm daha kat edince zamanlayıcıyı durduran alıcı ulaşır. Bu işlem tamamlandıktan sonra KES değeri alet üzerindeki göstergeden saniye cinsinden okunarak kaydedilir.

Suyunu yavaş salan çamurlar yüksek KES değerlerine sahipken, suyunu hızla salan çamurların KES değerleri düşüktür. KES deneyinin uygulamada ne şekilde kullanıldığına örnek olarak yapılan çalışmalarda çamura farklı dozajlarda polielektrolit eklenmesi halinde ölçülen KES değerleri incelendiğinde, dozaj arttıkça KES değeri düşmektedir. Fakat dozaj belirli bir değeri geçince aşırı dozlama etkisi sebebiyle KES bir miktar

artmaktadır. Etki açısından KES aletinin, belirli bir süzüntü hacminin birikmesi için gerekli sürenin ölçüldüğü Buchner hunisi deney düzeneğinin küçültülmüş şekli olduğu söylenebilir. Çünkü KES aletinde de filtre üzerinde belirli bir hacimde sıvı birikmektedir. KES ölçümü bütün susuzlaştırma uygulamaları için çok elverişli bir yöntemdir.



Şekil 4.3 Kapiler emme süresi deney düzeneğinin genel yapısı

KES deneyinde çamur numunesi farklı dozajlarda şartlandırılarak ölçümler tekrarlanır. Bu şekilde en düşük KES okumasını veren dozaj optimum değer olarak kabul edilir.

4.5.2 Özgül Direnç (SRF) Deneyi

Çamurun susuzlaştırılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan en güvenilir yöntemlerden biridir. Bu deneyle, şartlandırılmış çamurun bünyesindeki sıvının salınmasına karşı gösterdiği direnç belirlenmeye çalışılır. SRF deneylerinde Şekil 4.4 de gösterilen

Bucher hunisi deney düzeneği kullanılır. Özgül direnç değeri, uygulanan vakumun bir fonksiyonu olduğundan vakum değerinin çok iyi ayarlanması gerekir. Bu deney uzun süreli olup aşırı dikkat gerekmektedir.

Aşağıda çamurun özgül direnç değerinin hesaplanması formülize edilmiştir.

$$R = \frac{2 b A^2 P}{\mu c}$$

R: Özgül direnç (m/kg)

P: Vakum basıncı, N/m²

A: Filtre kağıdı alanı m²

μ : Dinamik Viskozite, N.sn/m²

V: Süzüntü hacmi m³

W: Keki toplam katı madde ağırlığı

b: t/V'ye karşılık gelen doğrunun eğimi

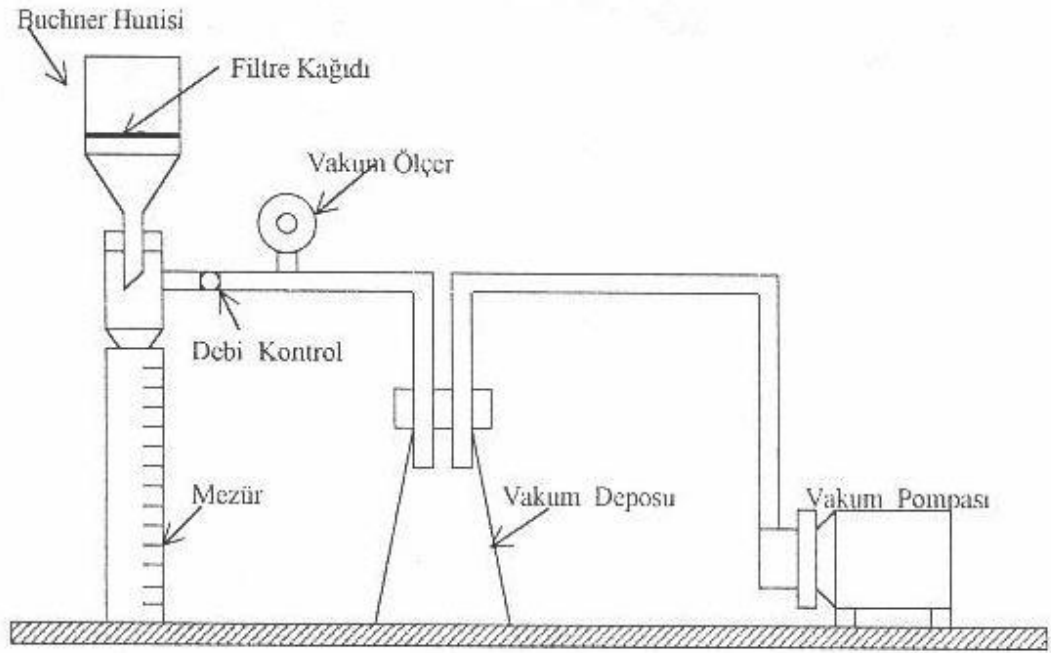
c : Keki toplam katı madde ağırlığı / süzüntü hacmi

Yapılan deneysel çalışma sonucunda en düşük özgül direnç değerini veren doz optimum doz olarak seçilir. Formül den de anlaşıldığı üzere özgül direnç deneyi uygulanan vakumun şiddetine, süzülme alanına, katı madde konsantrasyonuna ve sıvının viskozitesine bağlı bir parametredir. Dolayısıyla bu parametrelerin belirlenmesinde yapılacak en ufak bir yanlışlık farklı özgül direnç değerlerinin hesaplanmasına yol açacaktır.

4.5.3 Buchner Hunisi Filtrasyon Deneyi

Buchner hunisi deney düzeneğinin genel görünüşü Şekil 4.4'de verilmiştir. Bu deney, optimum susuzlaştırmayı sağlayacak kimyasal madde dozajının ve çamur susuzlaştırma karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılan en hızlı ve basit yöntemlerden birisidir. Her bir susuzlaştırma prosesi için yeterli doğrulukta veriyi temin edebilmektedir. Bu deney, belirli dozajlardaki kimyasal maddelerle şartlandırılan çamura vakum uygulanmasıyla, belirli bir süre içinde biriken süzüntü hacminin ölçülmesinden ibarettir.

Süzüntü hacmine karşılık şartlandırıcı dozajı bir grafik halinde çizilirse optimum dozajın belirlenmesi kolaylaşır. Şartlandırıcı maddeler optimum dozajdaki biriken süzüntü hacmine göre değerlendirilmelidir. İncelenen bir çamur numunesi için, bir grup kimyasal şartlandırıcı arasından sabit bir filtrasyon süresi içinde en yüksek süzüntü hacmini veren kimyasal madde en uygun şartlandırıcı olmaktadır. Bu test sabit bir filtrasyon süresinde biriken süzüntü hacminin ölçülmesi şeklinde yürütülebileceği gibi belirli bir süzüntü hacminin birikmesi için gerekli sürenin ölçülmesi şeklinde de yürütülebilir. Bu durumda ise filtrasyon süresi ile şartlandırıcı dozajı grafiksel olarak ifade edilerek optimum dozaj bulunabilir. Böylece minimum süreyi veren dozaj optimum değer olarak alınabilir.



Şekil 4.4 Buchner hunisi filtrasyonu deney düzeneği

4.5.4 Filtre Süresi

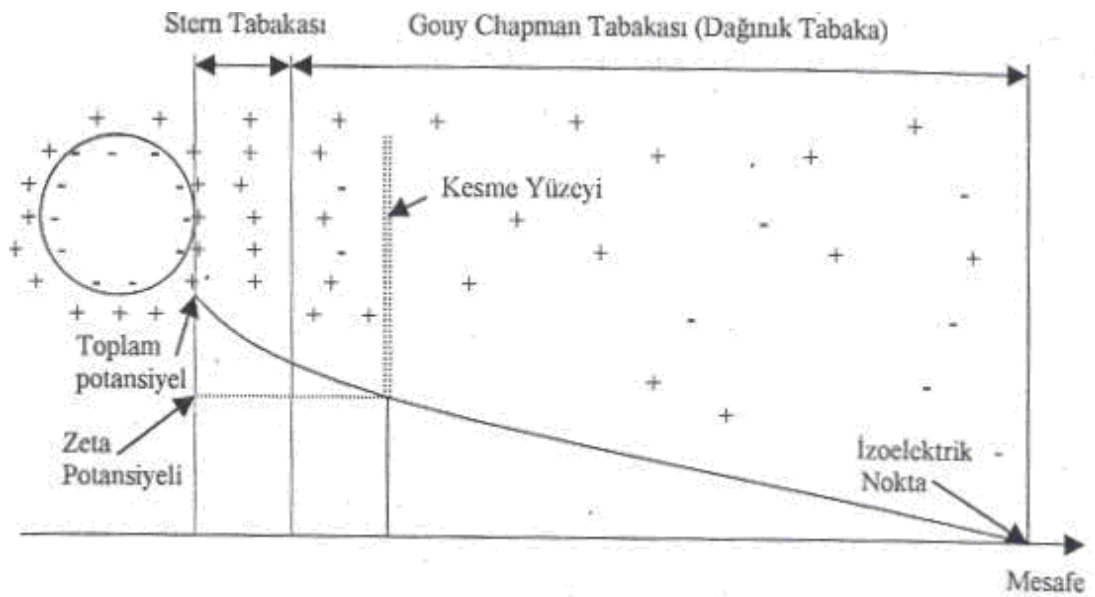
Filtre süresinin deneyinin düzeneği de Özgül Direnç deneyi ile aynıdır. Aslında Filtre süresi Deneyi Özgül Direnç deneyine bir alternatif olarak geliştirilmiş ve son bir kaç basımında Standart Metotlar'da (18. Basım 1992) özgül direncin yerini almıştır. Özgül Direnç

deneyinin çok hassas çalışma şartları istemesi ve deneyin uzun süre alması nedeniyle böyle bir yenilik getirilmiştir. Ölçülen numuneler arasında viskozite farkı olmadığı durumlarda KES ile aralarında bağıntı bulunduğu ve Özgül Direnç ile benzerlik gösterdiği vurgulanmıştır (Standart Methods, 1998).

Deney sırasında 200 ml numune kullanılmaktadır. Bu numunenin sabit bir vakum basıncında (380 mm Hg) 100 ml'sinin süzülmesi için gerekli süre Filtre Süresi (FS) olarak ifade edilmektedir. En düşük Filtre Süresini veren çalışma şartları optimum şartlar olarak kabul edilmektedir.

4.5.5 Elektriksel Çift Tabaka ve Zeta Potansiyeli

Kolloidal partiküller daima bir elektriksel yüke sahiptirler. Askıdaki çamur partiküllerini saran elektriksel yüklerin iki bölgeden ibaret olduğu kabul edilmektedir. Birincisi içte bulunan 'Stern tabakası' adı verilen bölgedir. İkincisi ise bu tabakanın dışının kaplayan 'Dağınık tabakadır'. Dağınık tabakadaki iyonlar, elektriksel kuvvetlere ve termal koşullara göre bir dağılım gösterirler. Çamur partiküllerinin etrafında gelişen iyonik olaylar ve tanımlanan tabakalar Şekil 4.5 de verilmiştir (Eroğlu, 1995).

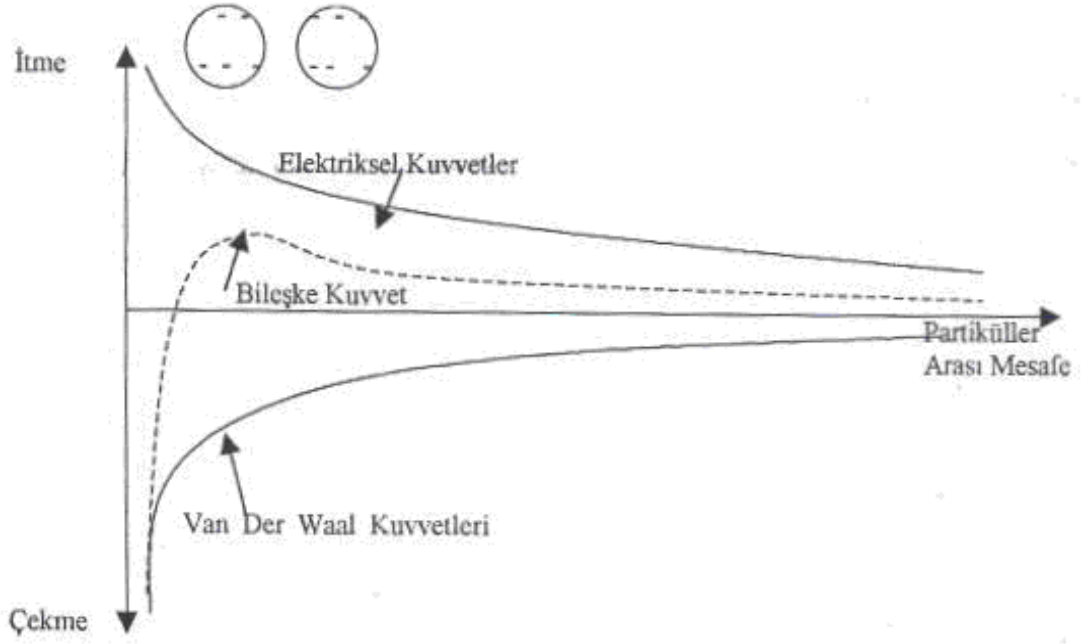


Şekil 4.5 Negatif yüklü partikülün etrafındaki tabakalar

Partikül sahip olduğu yüke zıt işaretli iyonları çekerek etrafında toplar. Bu şekilde partikülün dışı zıt iyonlarla kaplanır. Oluşan bu tabaka oldukça kararlı bir yapı olup bu tabakaya Stern tabakası denilmektedir. Bu tabakanın dışında yine partikül yüküne zıt işaretli iyonların bulunduğu daha kararsız bir tabaka olan ‘Gouy Chapman Tabakası’ veya ‘Dağınık Tabaka’ denilen bölge yer almaktadır. Bu iki tabakanın tümüne birden ise ‘Çift Tabaka Adı’ verilmektedir. Bu tabakada esasen partikülün yüküne zıt iyonlar bulunmakla beraber aynı işaretli iyonlar az da olsa bulunur.

Partikülden uzaklaştıkça aynı işaretli iyonlar azalır ve belirli bir noktada zıt yüklü iyonların sayıları eşit olur. İzoelektrik nokta denilen bu noktada potansiyel sıfıra eşittir. Çamur partikülünün yüzeyi ile içinde bulunduğu sıvı arasındaki elektriksel potansiyel farkına ‘Zeta Potansiyeli’ denir. Zeta Potansiyeli, partikülün kesme yüzeyi üzerinde yer almaktadır. Bu potansiyel, partikülün dış difüzyon bölgesinin veya elektriksel çift tabakasının elektrostatik yükünün bir göstergesidir. Uygulanan belirli bir voltaj altında bazı partiküllerin hız ve doğrultusuna göre zeta potansiyelinin değeri belirlenebilir.

Çekme olayı. Van Der Waals kuvvetleri ve rastgele oluşan Brownian hareketlerin ortaya çıkardığı kinetik enerjiyle oluşturulurken, itme kuvvetleri de elektriksel çift tabakanın aşırı yüklenmesinden oluşmaktadır. (Vesilind, 1971). Bu kuvvetler şekil 4.6’da görülmektedir. (Eroğlu, 1995)



Şekil 4.6 Partiküllere etki eden itme çekme kuvvetleri

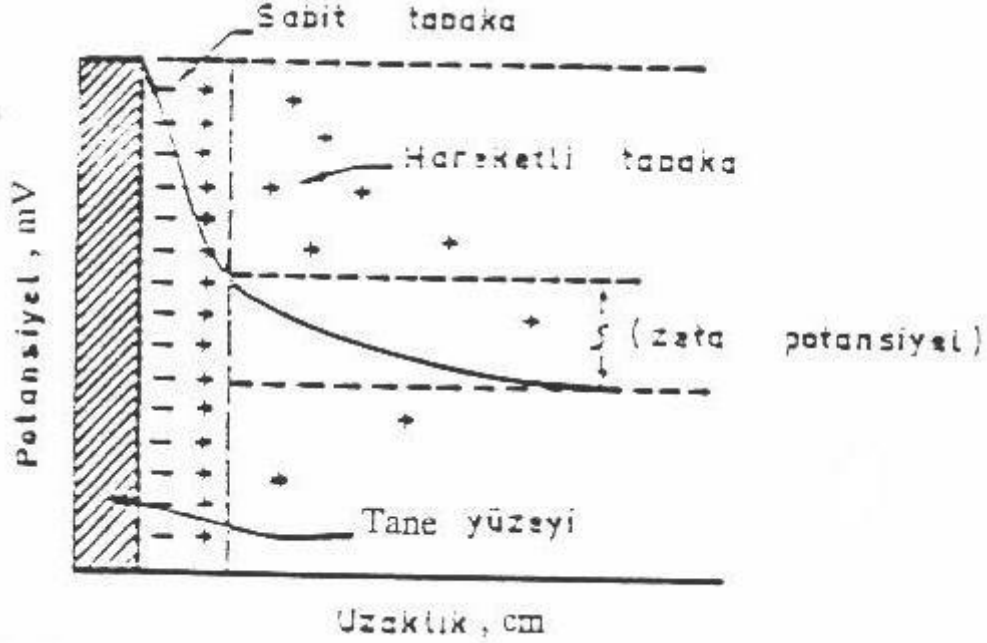
Çamura uygun bir şartlandırıcı ilave edildiğinde, şartlandırıcı öncelikle itme kuvvetlerini azaltmaya veya yok etmeye çalışır. Böylece partiküller arasındaki çekme kuvvetleri baskın hale gelerek flok oluşumuna katkıda bulunabilirler.

4.5.6 Zeta Potansiyeli Ölçümü

Zeta potansiyel ölçümleri, ince taneli sistemlerde bir çok özelliklerin açıklanması için kullanılmaktadır. Zeta potansiyeli, sistemdeki katı taneye, bu tanelerin dağıtıldığı ortama ve bu ortamın pH'sına bağlıdır. Belli bir pH değerinde katının yüzey yükü nötr olmaktadır. Zeta potansiyel değerinin sıfır olduğu bu noktaya izoelektrik nokta (syn) denmektedir.

Kollaidal taneler üzerindeki elektrik yükünün varlığı elektroosmosis ve elektroforesis olaylarıyla gösterilmektedir. Elektroforesis, uygulanan bir elektrik alanının etkisiyle, kollaidal tanelerin hareketidir. Tane yükü, sıvı fazdaki yük ile dengelendiği için kollaidal karışımların net bir elektrik yükü olmadığı kabul edilmektedir (Günay ve diğ., 1995). Sonuç olarak

katı tane ile sıvı ara yüzeyinde “elektiriksel çift tabaka” oluşmaktadır. Şekil 4.7 ’de çift tabakadaki zıt yüklü iyonlar arayüzeye elektrostatik olarak toplanırken, sistemde bir konsantrasyon farkı oluşur.



Şekil 4.7 Zeta potansiyeli elektiriksel çift tabaka

Buna bağılı olarak da iyonlar tane yüzeyinin terkederek konsantrasyonun daha düşük olduğu bölgeye yayılır. Bu şekilde gerçekleşen sistem dengesinde tane yüzeyinde zıt yüklü iyonların konsantrasyonu fazla olup, katı-sıvı ara yüzeyinden itibaren geçici olarak azalır. Geçiş tabakasındaki potansiyel değişimini ise, tane yüzeyindeki değişime göre daha az olmaktadır. Potansiyeldeki bu geçici azalma “zeta potansiyel” olarak tanımlanmakta ve disperse sistemin kararlılığını göstermektedir. Zeta potansiyeli aşağıdaki formüle göre hesaplanır (Hunter, 1981).

$$\varepsilon = \frac{U \cdot 4 \cdot \pi \cdot \eta}{\zeta}$$

Burada

ε : Zeta potansiyeli (mV)

U : Elektroforetik mobilité ($\mu. s^{-1} / volt.cm^{-1}$)

η : Viskozite (poise)

ζ : Dielektrik sabiti

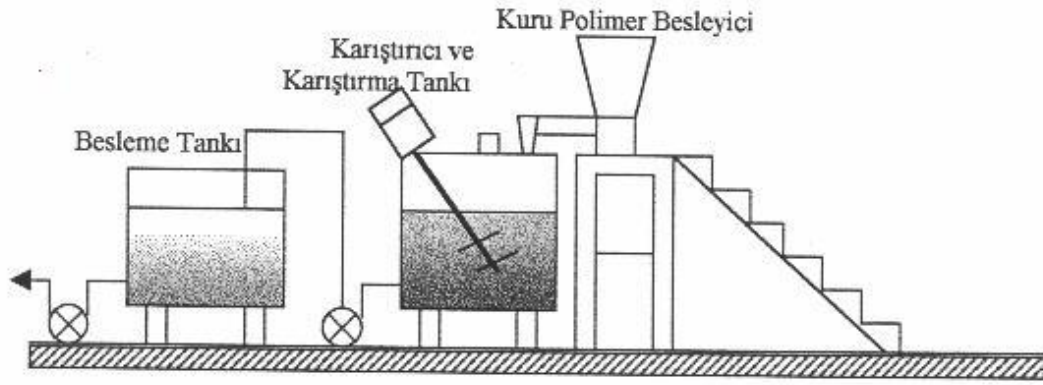
4.6 Polimer Türleri ve Sisteme Beslenmesi

Çamur şartlandırmada kullanılan polimerler 5 ayrı türde üretilirler. Bunlar; Kuru, emülsiyon, sıvı, Mannich ve jel kıvamlı polimer türleridir. Bunların herbirinin ayrı birer besleme ekipmanı ve çözelti hazırlama yöntemi bulunmaktadır. Uygulanacak şartlandırma prosesine göre herbir şartlandırıcının avantaj ve dezavantajı iyice incelenmelidir.

4.6.1 Kuru Polimerler

Kuru polimerler toz, granüler ve boncuk tipinde olabilirler. Polimerin şeklini üretildiği prosesin türü belirler. Kuru polimerlerin aktiviteleri oldukça yüksektir. Çözeltideki aktif madde konsantrasyonları % 90- 95 arasında değişir. Nemle temas ettiğinde kekleşerek işe yaramaz hale gelir. Bu nedenle serin ve kuru yerlerde muhafaza edilmelidir.

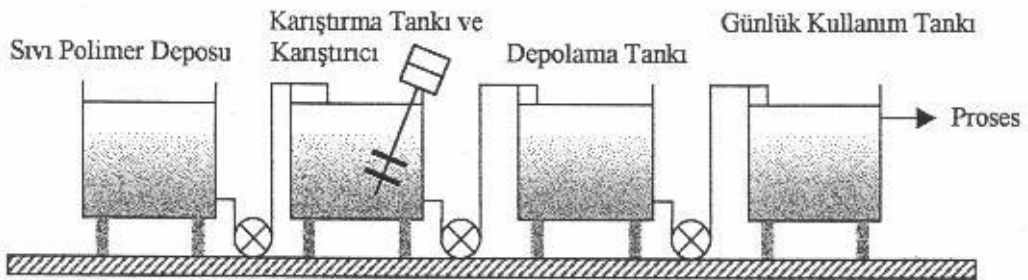
Kuru polimerlerin çözünmesinde de çok dikkatli davranılmalıdır. Şekil 4.8' de tipik bir kuru polimer çözeltisi hazırlama sistemi verilmektedir. Sistemin başında polimer partiküllerinin karıştırma tankına girişinden önce ıslatılmasını temin eden bir ıslatıcı mekanizma bulunmaktadır. Ön ıslatmaya tabi tutulan polimerler karıştırma tankına alınarak tamamen çözülünceye kadar karıştırılır. Buradaki karıştırma süresinin en az 1 saat olması gerekir. Tamamen çözünmeyen polimerler sistemde bazı önemli işletme sorunlarına yol açabilirler. Örneğin dozlama pompalarının ve borularını tıkanmasına veya filtre kumaşlarının zamanından önce aşınmasına yol açabilirler. Karıştırma ile polimerlerin olgunlaşması ve tam aktivite olabilmeleri için bir süre sağlanmış olur. Bu sürede moleküller zincir haline gelerek çamurun flokleşmesini temin ederler. Yeterli sürenin sağlanmaması durumunda polimerlerden beklenen verim alınamayabilir.



Şekil 4.8 Kuru polimer hazırlama sisteminin genel görünüşü

4.6.2 Sıvı Polimerler

Bu polimerler konsantre sulu çözeltilerdir. Sıvı polimerlerin viskozitesi Mannich tipi polimerlerinkinden daha düşük olup aktif madde konsantrasyonu yaklaşık % 25'tir. Soğuk iklimlerde bu tip polimerlerin soğumaması ve donmaması için gerekli önlemler alınmalıdır. Aksi takdirde polimerin viskozitesi pompalanamayacak kadar artabilir. Sıvı polimerler kolayca çözeltiye karıştıklarından ayrıca karıştırmaya gerek yoktur.



Şekil 4.9 Sıvı polimer hazırlama sisteminin genel görünüşü

Şekil 4.9'.da gösterilen sıvı polimer hazırlama sisteminde, karıştırma tankı ve seyreltilen polimerin depolanacağı bir tank bulunmalıdır (EPA, 1982). Uygulamalarda polimer genelde %0,1'lik çözeltileri hazırlanarak kullanılırlar. Homojen bir karışım için konsantre polimer ile suyun yaklaşık 30dk karıştırılması

sağlanır. Seyreltilen polimer en fazla 24 saat süreyle karalı kalabildiğinden sadece gerektiği kadar polimer hazırlanmalıdır. Emülsiyon polimerler ise, polimerlerin hidrokarbon yağı içindeki dispersiyonudur. Bunların aktif madde içeriği %25-50 arasında değişmektedir. Emülsiyonlar herhangi bir aktivite kaybı olmaksızın aylarca depolanabilirler. Fakat suyla seyreltilmeleri halinde 24 saat içinde bozunurlar.

Mannich türü polimerler %2-6 oranında aktif madde içerirler ve berrak görünümlüdürler. Ham halde aktivitelerinde bir değişim olmadan birkaç hafta saklanabilirler, fakat sulu çözeltilerinin ömrü sadece bir kaç saattir. Mannich polimerleri yüksek pH değerlerine sahip olduklarından işletmede sıkı bir pH kontrolüne ihtiyaç duyulur. Jel tipi polimerler, polyacrylamid polimerin sulu çözeltileri olup görünümleri berraktır. Aktif madde içeriği %30-35 arasındadır.

5. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Kağıthane içme suyu arıtma tesisi durultucu ve filtre geri yıkama suları dip çamuru kullanılmıştır. Kağıthane içme suyu İstanbul'un Avrupa yakasının doğu kısmına, Boğaziçi ve Haliç ile sınırlı bölgelerine hizmet vermektedir.

5.1. Kağıthane Su Arıtma Sistemi

Kağıthane içme suyu arıtma tesisine sular Alibeyköy Barajı ve Terkos Gölü'nden gelmektedir. Yıldırım Beyazıt Han tesisinde 7 adet çöktürme tankı, 25 adet hızlı filtre, alum dozlaması yapılan 2 adet akımdağıtıcı, dairesel dipten çamur çekme tabanlı durultucu mevcuttur. Çelebi Mehmet Han tesisinde 2 adet hızlı karıştırma odası, 4 adet flokülasyon havuzu, 3 adet çöktürme havuzu ve 20 adet hızlı filtre mevcuttur. Genel sistemde 3 adet çamur yoğunlaştırma tankı ve tesis çamurlarının koyulaştırılıp atılacak üzere kullanıldığı 2 adet dengeleme havuzu ve 2 adet çamur lagünü bulunmaktadır.

Tablo 5.1 Arıtma tesisinin kapasitesi

Tesis	Proje Kapasitesi (m ³ /gün)	Hydrolik Kapasite (m ³ /gün)
Ertuğrul Gazi	70000	120000
Yavaş Kum Filtreleri	30000	48000
Yıldırım Beyazıt Han	200000	280000
Çelebi Mehmet Han	300000	378000

Kağıthane su arıtma sisteminde sular mevcut iki tesise verilmektedir. Bu tesisler; Yıldırım Beyazıt Han ve Çelebi Mehmet Han tesisleridir. Çelebi Mehmet Han tesisine gelen ham su, yumuşatma ve koagülasyon prosesleri netabii tutulduktan sonra çökeltme havuzlarına alınır. Buradan çıkan durusular kum filtrelerinde süzülür ve filtre üst suları temiz su deposuna iletilir. Filtre geri yıkama suyu iyileştirme tankı ile çöktürme havuzu dip çamurları dengeleme havuzuna alınır. Üst sular tekrar tesis

başına iletilip dip çamurları ise yoğunlaştırılardan doğrudan lagünlere verilmektedir. Yıldırım Beyazıt Han tesisine Terkos galeri hattından ham sular yavaş kum filtrelerinden geçtikten sonra klorlanarak doğrudan temiz su deposuna verilir. Filtre geri yıkama atıkları ise; ana istasyondan gelen ham suların çöktürme havuzları dip çamurları ile filtre geri yıkama sularının alındığı çamur dengeleme tankına iletilir. Buradan çıkan çamurlar da doğrudan lagünlere iletilir, üst suları tekrar tesis başına iletilir. İki tesisin tüm filtre üst suları temiz su depolarında klorlandıktan sonra, arıtılmış su olarak, alçak ve yüksek kotlu su şebekelerine verilmektedir. Ek1 ‘de Kağıthane İçme Suyu Arıtma Sisteminin mevcut akılaşması verilmektedir.

5.2 Deney Malzemeleri ve Yöntemler

Deneylerde kullanılan çamur örnekleri Kağıthane İçme Suyu Arıtma Tesisinde bulunan Yıldırım Beyazıt Han durultucu dip çamur ve filtre geri yıkama suyu örnekleridir. Gelen çamur örnekleri aynı gün içerisinde deneye tabi tutulmuştur. Eğer ham çamur numunelerinde deneyler uzun sürecekse en çok 4 gün 4° C sıcaklıkta bekletilmişlerdir. Deneylere başlanmadan önce numunelerin pH₁, sıcaklığı, katı madde konsantrasyonu ölçülmüştür. Deney aşamasında çamurun, çökeltme hızı, çamur hacmi, Kapiler Emme Süresi, Özgül Drenaj ve Zeta Potansiyeli değerleri ölçülmüştür.

Ham çamur için farklı konsantrasyonlar elde edilmiş ve bu farklı konsantrasyonlar için değişik şartlandırıcılar kullanılarak optimum şartlandırıcı ve optimum şartlandırıcı dozu belirlenmeye çalışılmıştır. Deneylerde ham sudan farklı konsantrasyonların elde edilmesinde; numunenin süpernatantı ayrılmış, dipte çöken çamurla, farklı oranlarda karıştırılarak farklı numune konsantrasyonları elde edilmeye çalışılmıştır.

Deneylerde kullanılan şartlandırıcılar, kireç, demir(III) klorür ve farklı yükte polielektrolit çözeltileridir. Tüm çözeltiler %0.1 ‘lik hazırlanmıştır. Kullanılan polielektrolitler; Praestol 851BC, Praestol 853, Praestol 2445, Praestol 2500, Henkel 8766 P3 Ferrocryl, Henkel 8721 Ferrocryl, ticari markalı granüler haldeki polielektrolitlerdir. Bu polielektrolitlerden Praestol 851BC Düşük katyonik ve kuru birim ağırlığı 570-670 kg/ m³ , Praestol 853 Kuvvetli katyonik kuru birim ağırlığı

570-670 kg/ m³, Henkel 8766 P3 Ferrocryl Orta katyonik kuru birimi ağırlığı 700 (+ - 50) kg/ m³. Her bir polielektrodit için 50 ml %0.1'lik çözelti hazırlanmıştır. Suyla çözelti haline getirilen polimerler literatürdeki verilere göre en fazla 48 saat aktivitelerini koruyabildiklerinden, deneylerde kullanılan polielektrodit çözeltileri deneyin yapılacağı gün hazırlanarak kullanılmıştır. Toplam Katı Madde, çamur hacmi indeksi ve pH ölçümlerinde Standart Metotlardan yararlanılmıştır.

Çökelme deneylerinde kullanılan düzenek 1.8 lt hacminde 90 cm uzunluğunda 5 adet dereceli koldan oluşmaktadır. Farklı konsantrasyonlardaki çamur kolları aktarılmalı ve ayrışma fazı görülmesiyle birlikte çamurun çökelme süreci izlenmiştir. Çamurun çökelme eğrileri Ek 2' de verilmiştir. Çamurun çökelme eğrileri yardımıyla çamur çökelme hızı hesaplanır.

Çamur ile şartlandırıcı maddenin karışımı şekil 5.1'de verilen Arnfield marka 10 ayrı karıştırma hızına sahip Jar Test aletinde gerçekleştirilmiştir. Ham çamur, kireç + demir klorür ve farklı polielektroditlerle şartlandırılmıştır. Karıştırma işlemi esnasında çamurla şartlandırıcıların yeterince homojen karışması için çamur hacmi 200 ml alınmıştır. 100 devir/dak'lık hızlı karıştırma ve 20 devir /dak'lık yavaş karıştırma uygulanmıştır. Jar test sonucu elde edilen şartlandırılmış çamurun KES, Özgül direnci ve zeta potansiyeli ölçülmüştür.



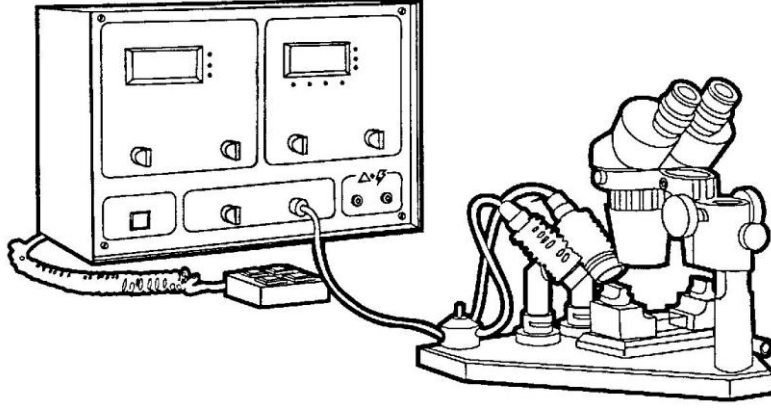
Şekil 5.1 Jar test aleti

Filtre edilebilirlik ölçümlerinde Triton Elektronik şirketinin ürettiği KES aleti kullanılmıştır. KES aletiyle, incelenen süspansiyondan kaynaklanan süzüntünün filtre kağıdının belirli bir alanını kaplanmasıyla filtrasyon süresi elektronik olarak ölçülmektedir. KES aleti esas olarak iki ayrı kısımdan oluşmaktadır; Filtrasyon birimi, Elektronik zamanlayıcı. Filtrasyon birimi, akrilik taban bloğu ve ortasında 1.9 cm çapında dairesel bir boşluğu olan üst bloğu, bir adet çelik numune silindiri, elektrotları zamanlayıcıya bağlayan bir kablo ve 7x9 cm boyutlarında kesilmiş Whatman No: 17 kromtografi kağıdından ibarettir. Uygulama başlangıcında çamur numunesi çelik numune silindrine tamamen doldurulur. Çelik silindir içindeki numunenin filtreye uyguladığı emme basıncıyla süzüntü filtre kağıdındaki boşluklardan ilerlemeye başlar. İlerleyen süzüntü halkası ilk elektrot çiftine ulaştığında elektronik zamanlayıcı çalışmaya başlar. Süzüntü üçüncü elektrotla ulaştığında zamanlayıcının çalışması sona erer ve ölçülen değer numunenin Kapiler emme süresi gösterir. Şartlandırılmış numunelerde oluşan flokların bozulması için numuneler ucu kırık pipet yardımıyla alınmıştır.

Özgül Drenç ölçümleri Buchner hunisi deney düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Bu düzenek; Buchner hunisi, elek, debi kontrol bölümü, vakum ölçer mezür, vakum deposu ve vakum pompası birimlerinden oluşmaktadır. Filtre edilecek çamur hacmi; seyreltik çamurlarda 200 ml, koyu çamurlarda 50 ml olarak belirlenir. Buchner hunisine Whatman No: 2 dairesel olarak kesilmiş 9 cm çapında filtre kağıdı konularak filtre kağıdının elek yüzeyine iyice yapışması sağlanır. 50 ml'lik çamur numunesi konularak iki dakika süzülmesi beklenir, süre sonunda mezürde biriken değer okunarak kaydedilir. İki dakikanın sonunda 0.5 atmosferlik basınç uygulanarak numune bu basınç altında süzülür. Her 15 saniyede bir, mezürde biriken süzüntü hacmi okunarak kaydedilir. Vakum kırılıncaya kadar yada numunenin tamamen süzülünceye kadar deneye devam edilir. Filtre kağıdı üzerinde oluşan çamur kekinin katı madde miktarı ölçülür. Zamana karşı süzüntü hacmi grafiği çizilir, doğrunun eğmi alınarak her bir numune için özgül drenç değeri hesaplanır.

Zeta potansiyeli ölçümleri için, mikroişlemdonanımlı (mikroelektroforez tekniği ile çalışan) Şekil 5.2'de verilen Zeta METER 3.0 cihazı kullanılmıştır. Cihaz, voltaj ve tane hızını dikkate alarak, zeta potansiyel değerinin otomatik olarak hesaplayabilmektedir. Cihazın numune konulan hücresi pleksiglastan imal edilmiştir. 30 ml numune alınarak cihazın pleksiglas hücresine hava kabarcığı kalması için

taşırlarak konur ve cihaza yerleştirilir. Farklı voltajlar uygulanarak çözelti içerisindeki partiküllerin belli bir mesafeyi alması süresi ölçülür.



Şekil 5.2 Zeta potansiyeli ölçüm aleti

5.3 Deney Bulguları

Kağıthane İçme Suyu arıtma Tesisi'nden getirilen ham çamur numunelerinin çamur karakterizasyonu yapılmıştır. Bu aşamada çamurun çökeltme hızı, K_M konsantrasyonu, Çamur Hacı m_i indeksi, Bulanıklık değerleri ölçülmüştür. Yapılan araştırmalar ham çamurun Tablo 5.2'deki gibi karakterize edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 5.2 Çamur karakterizasyonu

Çamur kaynağı	FGY	FGY	FGY	D**	D	D	D	D	D	D
K _M gr/L	0.38	0.16	1	3.66	1.71	3.1	1.6	1.2	0.8	1.86
H _z m/sa	1.21	2.55	3.65	0.03	1.2	0.11	1.47	1.1	1.59	1.1
CHİ ml/gr	91.1	208	40	265	552	-	187	-	143	-
pH	6.7	6.7	6.8	6.9	6.9	6.9	6.7	6.8	6.9	6.8
Sıcaklık °C	12	12	11	12	13	11	12	16	13	15
Al dozu gr/m ³	-	-	-	-	-	45	60	50	50	50
Toplam Sertlik	-	-	-	-	-	18	118	12	12	13
Bulanıklık NTU	-	-	-	-	-	30	6.8	7.6	1.35	12.4
KES sn	16.1	14.6	43	72.6	-	-	-	85	90	89.2
Özgül direnç	16.27	15.6	107	234	128	-	-	-	385	-

*FGY: Filtre Geri Yıkama

**D Dürültücü

Şartlandırıcıda kullanılan kimyasal madde ile çamur partiküllerinin yüzey yükü pH'a bağlı olarak değişmektedir. Şartlandırıcının koagülasyon aşaması koagülant ile partikül yüzeyi arasında gerçekleşir. Bu sebeple pH flokulasyonunu, yapısını ve uygulanan kimyasal madde dozunu etkiler. Artan pH değeri ile kullanılan kimyasal dozunun miktarı artar. Yapılan ölçümlerde durultucudan alınan çamur örneğinin pH'ı nötr civarında bulunmuştur bu nedenle partikül yüzeyi şartlandırıcıdan etkilenmez. Çamur konsantrasyonu - Çamur Hacı mİndeksi - Çökelme hızı arasında beklenen ilişkiler gözlenmemiştir. Bu durumda, çamur numunelerinin farklı zamanlarda alınmış olması ve dolayısıyla farklı özellikteki alüminyum çamurlarının kullanılması nın yol açtığı düşünülmektedir. Çökelme hızı ortalama 1 m/sa arasındadır ve ham çamurun çökelme hızı yüksek değildir. KES'ler karşılaştırıldığında ham çamurun ortalama KES'i 84 sn olarak bulunur. Ham çamur suyunu zor salar. Buda bize alüminyum çamurlarının susuzlaştırılması zor çamurlar arasında olduğunu kanıtlar. Alüminyum çamurunun ortalama ÇHI değeri 286'dır. SVI > 100 olduğundan problemli çamurlar arasında olduğu söylenebilir.

5.4 FeCl₃ ve Ca(OH)₂'in Çökelmeye Etkisi

Ham çamur numuneleri için uygulanacak FeCl₃ ve Ca(OH)₂ miktarları Tablo 5.3'te verilmiştir. İçme suyundan alınan alüminyum çamurunun öncelikle çökelme hızı kontrol edilmiştir. Daha sonra farklı konsantrasyonlarda şartlandırılmış çamurun çökelme hızına bakılarak FeCl₃ + Ca(OH)₂ 'nin çökelme hızını iyileştirip iyileştirmediği kontrol edilmiştir. Çamur kimyasal şartlandırıcılarla 3 dakika hızlı karıştırmaya ve 5 dakika yavaş karıştırmaya tabii tutulmuştur.

Tablo 5.3 Ham çamur numunelerine uygulanacak FeCl₃ +kireç dozaj ve çözelti hacimleri

Ca(OH) ₂ Dozajı (mg KM gr AKM) %5 'lik çözelti	FeCl ₃ Dozajı (mg KM gr AKM) %0.5 'lik çözelti
250	15
300	25
350	45
400	70
450	100

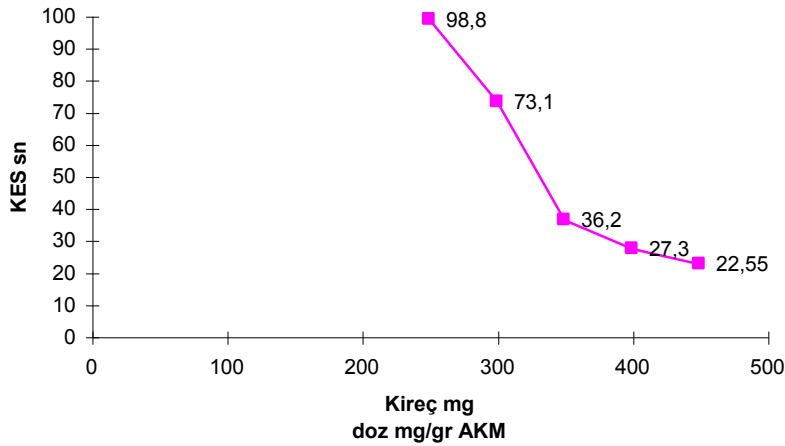
Ham çamurun çökme hızı 0.11 m/saattir. Şartlandırılmış çamurun çökme hızları Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4 FeCl_3 + Kireç'le şartlandırılan çamurun çökme hızları

Dozlar (ml)	Çökme hızı (m/sa)
3 ml kireç + 1,8ml FeCl_3	0.52 m/sa
3,6 ml kireç + 5 ml FeCl_3	0.624 m/sa
4,2 ml kireç + 5,4 ml FeCl_3	0.8 m/sa
4,8 ml kireç + 8,4 ml FeCl_3	0.756 m/sa
5,4 ml kireç + 12 ml FeCl_3	0.72 m/sa
8,4 ml kireç + 4 ml FeCl_3	0.42 m/sa

Yukarıda verilen tabloya göre FeCl_3 + Ca(OH)_2 ilavesiyle ham çamurun çökme hızı artmaktadır.

Ham çamurun FeCl_3 + Ca(OH)_2 ile şartlandırılmasıyla elde edilen KES değerleri aşağıdaki Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3 Kireç + FeCl_3 ile şartlandırılan ham çamurun KES değişimi

Şekilde 5.3'de görüldüğü üzere ham alum çamurunun FeCl_3 + Ca(OH)_2 ile şartlandırılması deneyinde optimum KES değeri FeCl_3 + Ca(OH)_2 miktarı arttıkça artmaktadır.

5.5 Farklı Polielektrolit Dozlarının Susuzlaştırmaya Etkisi

İçmesuyu alümina çamurundan alınan numuneler farklı polielektrolitlerle şartlandırılmış KES ve özgül direnç değerleri belirlenerek optimum polielektrolit dozu bulunmaya çalışılmıştır. Şartlandırma da kullanılan çamurun TKM konsantrasyonu 1000 mg/l'dir. Polielektrolitler 100 devir/dakikalık hızlı karıştırma esnasında çamura verilmiştir. 30 sn çamur + polielektrolit karışımı hızlı karıştırma ya tabii tutulmuş, bu sürenin sonunda çamur 1 dakika 20 devir/dakikalık yavaş karıştırma ya tabii tutulmuştur. Hızlı karıştırma ve yavaş karıştırma süre ve hızları Wörle ve diğ (1984)'e göre seçilmiştir. Kullanılan polielektrolitler ve çözelti hacimleri aşağıdaki Tablo 5.5 ve Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.5 Hama çamur numunesine uygulanan polimer dozajları ve çözelti hacimleri (TKM 1000 mg/L'dir)

Polielektrolit Dozajı (mgPE/gr AKM)	100 ml'lik Numunenin Çözelti Miktarı, ml
0.2	0.04
0.6	0.12
1	0.2
2	0.4
5	2

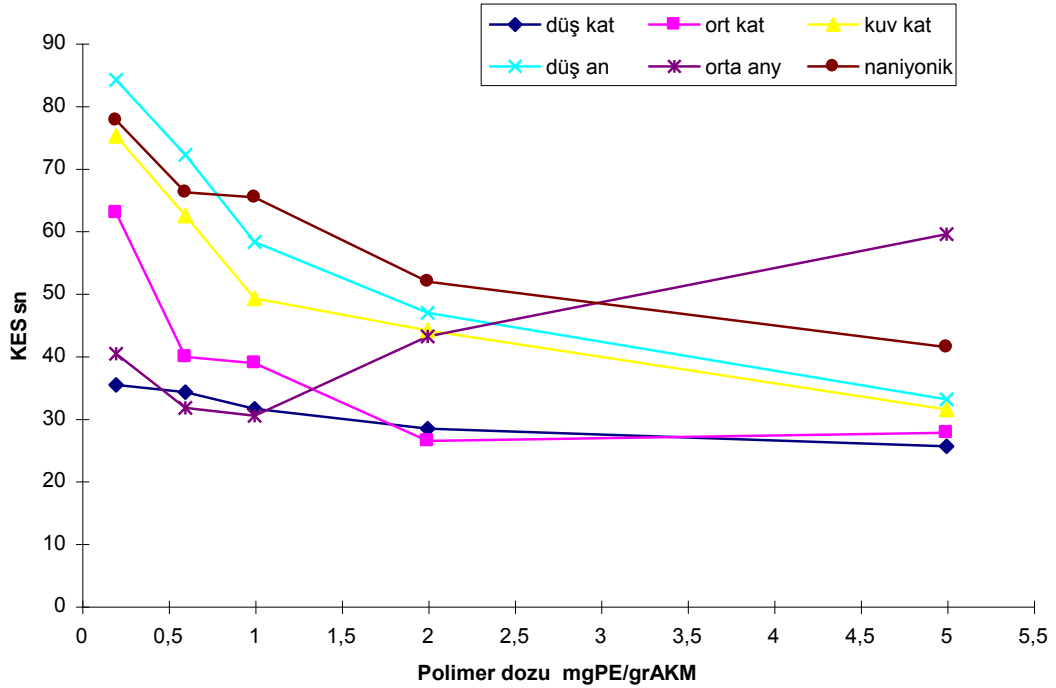
Tablo 5.6 Kullanılan Polielektrolitler

Düşük katyonik : 851 Praestol
Orta katyonik : 8766 Henkel P3 Ferrocril
Kuvvetli katyonik : 853 Praestol
Düşük anyonik : 2445 Praestol
Orta anyonik : 8721 Henkel
Nanionik : 2500 Praestol

Tablo 5.7 Polimer dozu ve KES süreleri

	Kapiler	Emme	Süresi	(sn)		
Polimer Dozu mgPE/gr AKM	851 Praestol	8766 Henkel	853 Praestol	2445 Praestol	8721 Henkel	2500 Praestol
0.2	35.5	62.85	75.1	84.05	40.3	77.6
0.6	34.15	39.8	62.4	72.1	31.65	66.1
1	31.5	38.8	49.15	58.15	30.4	65.3
2	28.3	26.35	44	46.85	43.05	51.8
5	25.5	27.65	31.4	33	59.4	41.35

Aşağıda Şekil 5.4’de ham çamurun farklı polielektrolit çeşitleri ve farklı dozlarla verdiği KES deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.4 Farklı polimerlerin çeşitli dozlarda KES değişimi

Deneyler sonucu elde edilen KES değerlerinde Düşük katyonik 851 Praestol’de optimum KES değeri polielektrolit dozajı arttıkça artmaktadır (dozaj arttıkça maliyet artmaktadır), Orta katyonik 8766 Henkel P3 Ferrocril’de optimum KES değeri 2 mg PE/ gr AKM de , Orta anyonik 8721 Henkel’de ise optimum KES değeri 1 mgPE/ gr AKM olarak bulunmuştur.

5.6 Optimum Şartlandırıcı Dozunun Belirlenmesi

Optimum şartlandırıcı dozu belirlenmesinde, şartlandırıcı olarak kullanılan tüm maddelerin KES deney sonuçları karşılaştırılarak deneylere inorganik kimyasal şartlandırıcı maddelerle mi (Kireç + demir klorür), yoksa organik kimyasal maddelerle mi (polielektrolitler) devam edileceğine karar verilmiştir. Kireç + demir klorür elde edilmesi ve maliyeti düşük olmasına rağmen susuzlaştırma verimi polielektrolitler kadar yüksek olmamaktadır, kimyasal dozu arttıkça daha iyi KES sonuçları elde edilmektedir fakat bu durum maliyeti arttırır. Bu şartlandırıcılar genelde mekanik susuzlaştırma yapılan tesislerde tercih edilmektedir. Tüm deney

sonuçları karşılaştırıldığında en iyi sonuçları veren kimyasal maddeler, Düşük katyonik 851 Praestol, Orta katyonik 8766 Henkel P3 Ferrocryl ve Orta anyonik 8721 Henkel Ferrocryl polielektrolitlerdir.

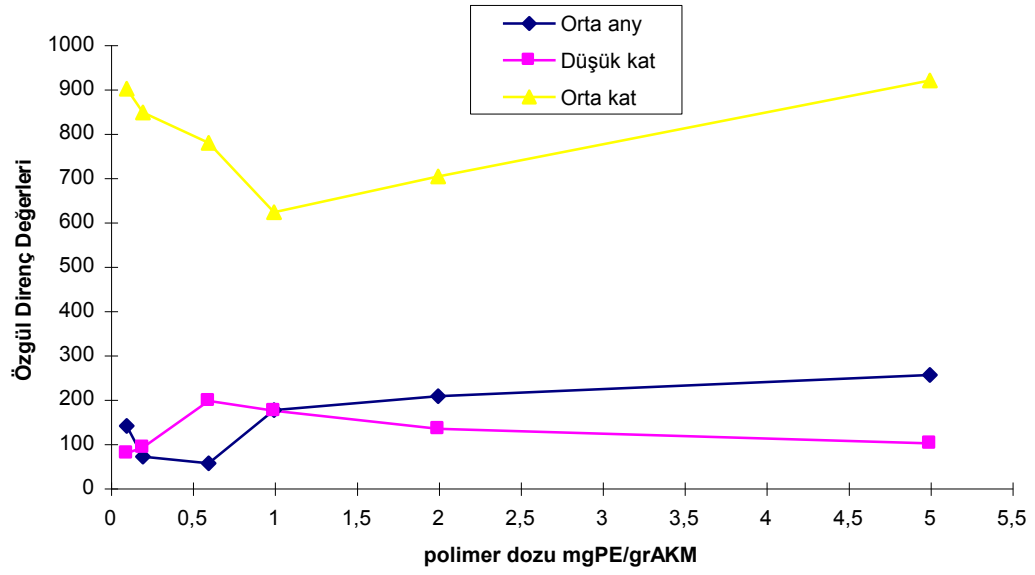
Bu polielektrolitler için aynı verileri verip vermediğinin anlaşılması amacıyla Özgül Drenç deneyleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneyleri daha geniş aralıkta değerlendirilmek üzere, 01 mgPE/ gr AKM dozuda eklenmiştir. Numunelere uygulanan dozajlar ve çözelti hacimleri Tablo 5.8’de verilmiştir. Deneyde kullanılan numunenin TKM konsantrasyonu 1933 mg/l’dir

Tablo 5.8 Numunelere uygulanan polimer dozajları ve çözelti hacimleri (TKM 1933 mg/ L’dir)

Polielektrolit Dozajı (mgPE/ gr AKM)	100 ml’lik Numunenin Çözelti Miktarı, ml
0.1	0.024
0.2	0.05
0.6	0.14
1	0.24
2	0.48
5	1.2

Tablo 5.9 Uygulanan polimer dozu ve Özgül Drenç Değerleri

	Özgül Drenç Değerleri Tm/kg		
Polimer Dozu mg PE/ gr AKM	851Praestol Düşük kat poli	8766Henkel Orta kat poli	8721Henkel Orta any poli
0.1	77.8	900	139.186
0.2	91.03	846.68	69.834
0.6	195.36	777.66	55.31
1	173.2408	621.49	175.01
2	132.83	702.35	206.41
5	99.67	918.816	254.07

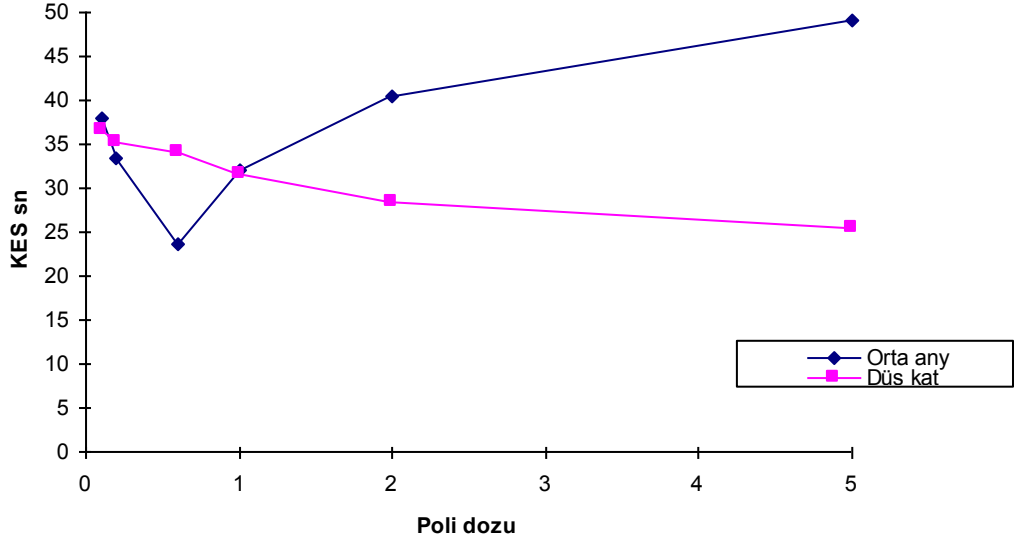


Şekil 5.5 Polielektroditle şartlandırılmış çamurun KES değeri

Şekil 5.5’deki grafikten anlaşılabileceği üzere Özgül Direnç deneyleri sonucunda en optimum değerler Orta anyonik polielektroditde 0.6 mgPE/ gr AKM (55.7 Tm/kg), düşük katyonik polielektroditde 0.1 mgPE/ gr AKM (77.8 Tm/kg) ‘de, Orta katyonik polielektroditte ise 1 mgPE/ gr AKM(621.49 Tm/kg) olarak bulunmuştur. Optimum değerler karşılaştırıldığında Özgül direnci en düşük olan orta anyonik polielektrodit en optimum değeri vermektedir. Özgül Direnç değeri, en düşük iki polielektroditin(Orta anyonik ve düşük katyonik polielektrodit) KES deney sonuçları ile benzer değerleri vermiştir. KES deney sonuçları orta anyonik polielektroditin daha düşük KES değerini verdiği doğrular. Tablo 5.10’da düşük anyonik ve orta katyonik polielektrodit için KES sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.10 Polimer dozu ve elde edilen KES değerleri

Polimer Dozu mgPE/ gr AKM	Kapiler Emme Süresi (sn)	
	851Praest d Düşük Katyonik Polielektrodit	8721 Henkel Orta anyonik Polielektrodit
0.1	36.5	38
0.2	35.3	33.5
0.6	34.15	23.53
1	31.5	32.05
2	28.3	40.45
5	25.5	49.2

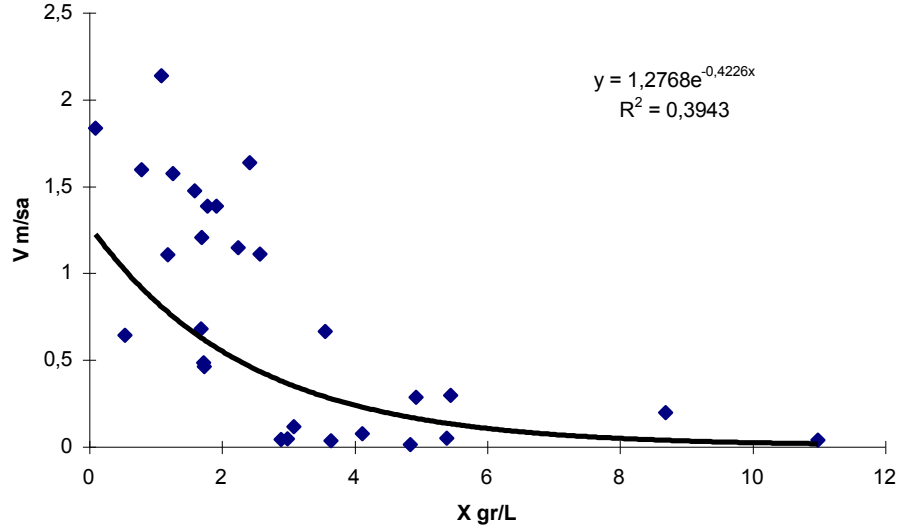


Şekil 5.6 Poli mer dozu ve KES değışi mi

Yapılan bu dene meler sonucu opti mum sonucu veren polielektroitin Orta anyonik polielektroit 8721 Henkel 0.6 mgPE/ gr AKM(KES 23.53 sn) oldu ğu bulun muşt ur. Düş ük katyonik i ç in yüksek dozlarda düşük KES ve Özgöl direnç değ erleri elde edilir fakat yüksek doz yüksek maliyet de nektir. Bundan sonraki ç ökel me hız ı, akı eğ risi hesapla ması deneylerinde orta anyonik polielektrolit 0.6 mgPE/ gr AKM dozu ile ç alış ıl maya baş lan mış tır.

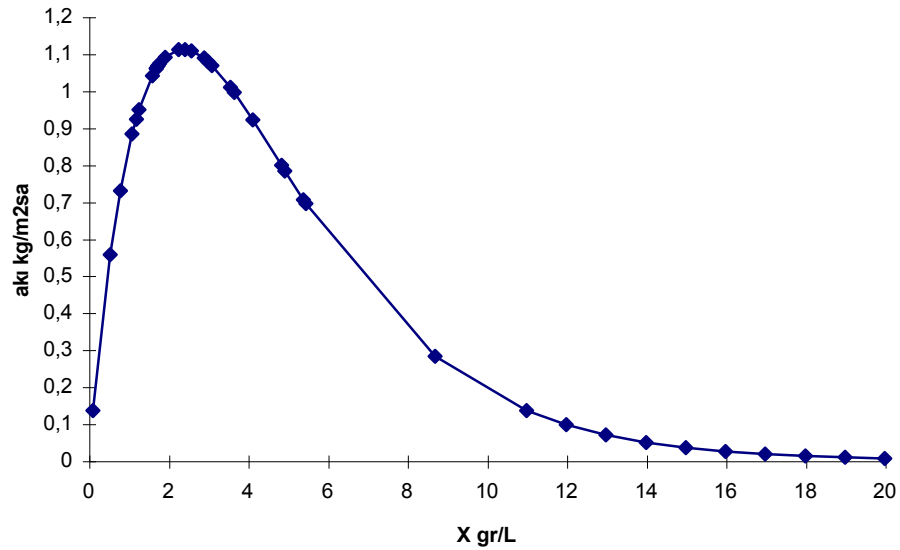
5.7 Ç ökel me Ö zelli klerini n İ ncel en mesi

İ ç me suyu durultucu di p sava ğ ından alınan al um ç a m ur u nu m enesi ni n sü per net an tı ayrı larak di p teki ç a m ur a farklı konsantrasyonlarda eklen mi ş tir. Böylece ç a m ur nu m enesi farklı konsantrasyonlara ayrı l mış tır. H a m ç a m ur ve 06 mgPE/ gr AKM Orta anyonik 8721 Henkel ticari markalı polielektrolitle ş artlandırıl mış ç a m urlar ın ç ökel me hız ları değ erlendirilerek ç ökel me hız ı konsantrasyon eğ rileri elde edil mi ş tir. Bu eğ riler ilerde iç me suyu tesisine ilave edilebilecek bir yoğunlaşt ırıcı boyutlandırıl masında kullanılabilir.



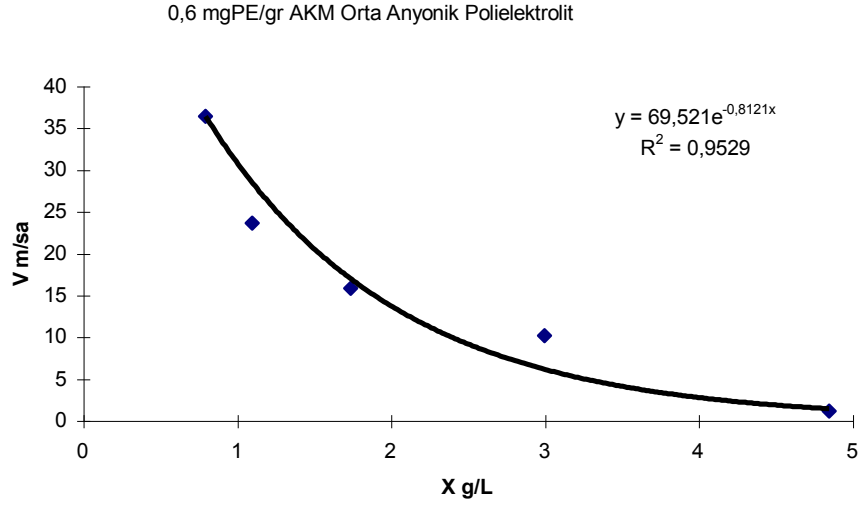
Şekil 5.7 Hamsu numunesi için Çökelme Hızı- Konsantrasyon İlişkisi

Hamsu numunesi için hız $V = V_0 \cdot \exp(-n \cdot X)$ denklemi ne uyduğu görülmüştür. Grafikten elde edilen hız ifadesi $V = 1.2768 \cdot \exp(-0.4221 \cdot X)$ dir. Çamur katı madde konsantrasyonunun çökelme hızı ile çarpım “ katı madde akısı olarak ” tanımlanır. Akı G ile gösterilip G (kg/ m².sn) = $V \cdot X = (m/s) \times (mg/l) \cdot 10^{-3}$ şeklinde hesaplanır. Hamsu akısı Şekil 5.8’da verilmiştir.



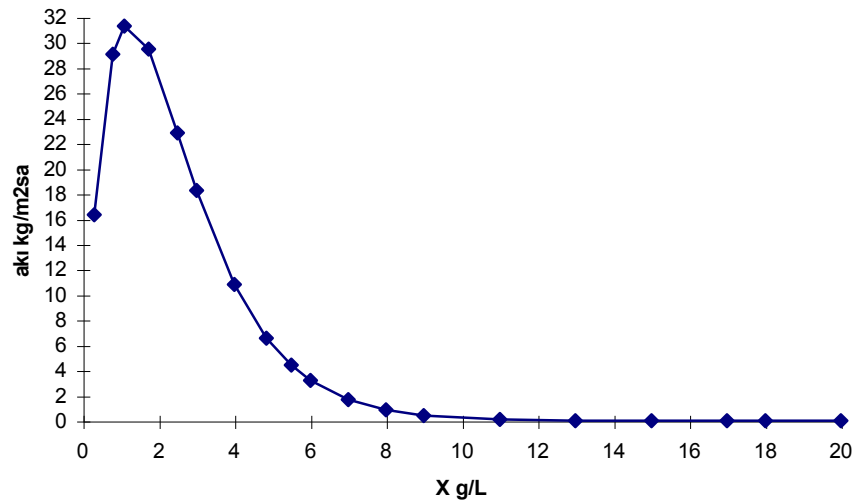
Şekil 5.8 Hamsu için Akı Eğrisi

Şekil 5.8’de çeşitli katı madde yükleri için teğetler çizilerek yoğunlaştırıcı da kullanılacak katı madde yükleri ve akılar belirlenebilir. Şartlandırılmış çamur numunesi için oluşturulan çökeltme hızı çamur konsantrasyonu grafiği Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.9 Polielektroditle ilave çamurun Çökeltme Hızı - Konsantrasyon İlişkisi

Şartlandırılmış çamur için sonuçların $V = 69.51 \cdot \exp^{-0.8121 \cdot X}$ denklemine uyduğu görülmüştür. Şartlandırılmış çamur için elde edilen akı grafiği ise Şekil 5.10’da verilmiştir.



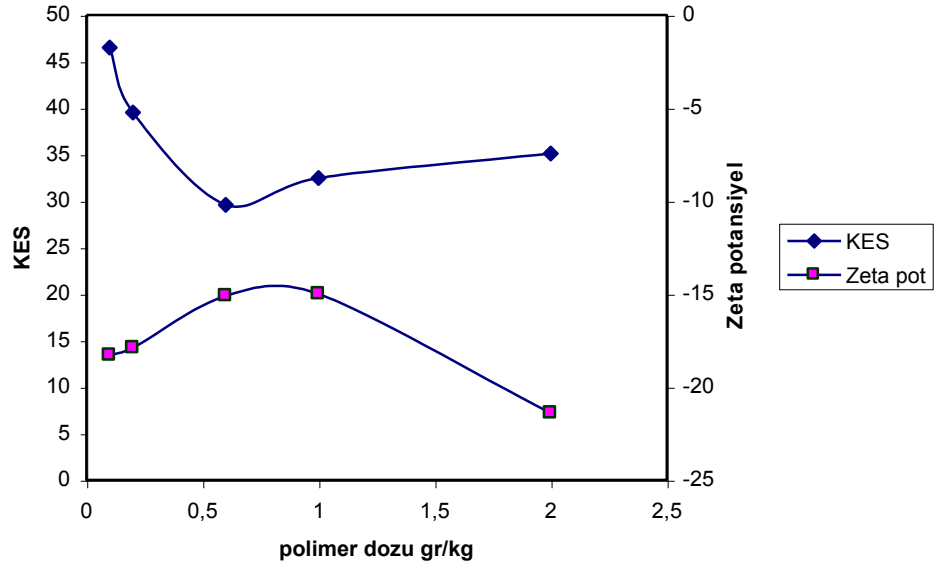
Şekil 5.10 Polielektroditle ilave çamurun Akı Eğrisi

İçme suyu üretimi esnasında oluşan alüminyum çamurlarının yoğunlaştırılması amacıyla yoğunlaştırıcı geliştirilmiştir (katı yatak yüksekliği 5- 6 m). Başlangıç araştırmalarında, yeterli dozda polielektrodit ile floküle edilse bile yoğunlaştırılıp çöken çamur katı maddesi %3-4 civarında ve jel kıvamında olduğu görülmüştür. % 0.6 kuru katı oranına sahip olup, 60 saatlik yoğunlaşma ve düşük kesme oranında 1rpm'de karıştırma ile, polielektrodit - floküle olmuş çamur konsolide olur ve %17 katı madde oranına ulaşır. Çamurun yoğunlaşması partiküllerin ağırlığı yüzündedir. Bu sonuçtaki mümkün mekanizma, partiküller arası bağları yoğunlaştırma ve sediment yatağındaki sıvı kanalları ortadan kaldırarak sağlanır. Süper yoğunlaştırıcı gelecekte susuzlaştırma için geleneksel mekanizmaların (santrifüjler, belt filtreler, döner tamburlu yoğunlaştırıcılar, basınçlı filtreler) yerini alabilir

5.8 Zeta Potansiyeli ve KES Arasındaki İlişki

Zeta potansiyeli ölçümlerinde amaç çamurun yük nötralizasyonunun ölçümüdür. Zıt yüklü polimer partikül yükleri ve partikülün zeta potansiyeli sıfıra yakın bir değer olarak ölçülür. Deneylerde kullanılan alüminyum çamurun ortalama zeta potansiyeli - 17.9 mV'dur. Alüminyum çamurunda yapılan KES ve özgül direnç ölçümleri sonucunda uygun şartlandırıcı anyonik polielektrodit olarak belirlenmiştir. Ölçümler sonucunda çamur yükü ve polielektrodit yükü aynı olduğu için zeta potansiyeli nde sıfıra yakın bir değer elde edilmiştir. Bunu nedeni bir polimerin partiküle köprülenerek adsorbe olması için bir çok yol vardır. Partikül ve polimer aynı yükte iseler adsorbsiyon için bazı özel etkileşimler olmalıdır. Bunlar hidroforobik bağlar, Hidrojen bağları ve dipol kristal etkidir. Şekil 5.11'de polielektrodit dozu zeta potansiyeli ve KES arasındaki ilişki açıklanmaktadır.

Şekil 5.11'den görüldüğü üzere optimum zeta potansiyeli 06 mgPE/ gr AKM konsantrasyonlu polielektrodit dozunda elde edilmiş ve KES sonuçları ile örtüştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 5.11 Polimer dozu Zeta Potansiyeli ve KES arasındaki ilişki

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Su arıtma çamurlarında etkili bir susuzlaştırma sağlanması uygun susuzlaştırma yöntemine bağlıdır. Çamurun özelliklerinin bilinmesi ve bu özellikleri göre susuzlaştırma yönteminin seçilmesi gereklidir. Alum çamurları içerdikleri yüksek su muhtevası nedeniyle mekanik yöntemlerle susuzlaştırılmazlar. Bu çamurların susuzlaştırılmalarında kimyasal yöntemler kullanılır. Etkili bir susuzlaştırma için şartlandırma ve uygulanan kimyasal madde miktarı önemli faktörlerdir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan çamur numuneleri İSKİ Kağıthane Arıtma sistemiindeki durultucu ve filtrelerden alınmıştır. Alum çamurlarının etkin olarak yoğunlaştırılması ve susuzlaştırılması için en uygun kimyasal madde ve dozu belirlenmeye çalışılmıştır. Doz ve verim belirlemede çökelme hızı, KES ve özgül direnç değerleri ile Zeta potansiyeli değerlerine bakılmıştır. Deneylerde kullanılan şartlandırıcılar, kireç, demir (III) klorür ve farklı yükte polielektrolit çözeltileridir. Tüm çözeltiler %0.1 'lik hazırlanmıştır. Farklı konsantrasyonlardaki çamur kolanlara aktarılmış ve ayrışma fazı görülmesiyle birlikte çamurun çökelme süreci izlenmiştir. Yapılan ölçümlerde durultucudan alınan çamur örneğinin pH'ı nötr civarında bulunmuştur bu nedenle partikül yüzeyi şartlandırmadan etkilenmez. Ham çamurun çökelme hızı ortalama 1 m/sa arasındadır. Kapiler emme süreleri karşılaştırıldığında hamçamurun ortalama KES'i 84 sn olarak bulunur. Ham çamur suyunu zor salar. Buda bize alum çamurlarının susuzlaştırılması zor

çamurlar arasında olduğunu göstermektedir. Al um çamurunun ortalama CHİ değeri 286'dır. Bu yoğunlaşabilme özelliğinin kötü olduğunu göstermektedir. Demir +kireç Çamur kimyasal şartlandırıcılarla 3 dakika hızlı karıştırmaya ve 5 dakika yavaş karıştırmaya tabii tutulmuştur. ham alum çamurunun $\text{FeCl}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ ile şartlandırılması deneyinde optimum KES değeri $\text{FeCl}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ miktarı arttıkça artmaktadır. Polielektrolitler 100 devir/dakikalık hızlı karıştırma esnasında çamura verilmiştir. 30 sn, çamur + polielektrolit karışım hızlı karıştırmaya tabii tutulmuş, bu sürenin sonunda çamur 1 dakika 20 devir/dakikalık yavaş karıştırmaya tabii tutulmuştur. KES deneyleri sonucunda farklı polielektrolitle şartlandırılan çamurda elde edilen optimum dozlar ; Düşük Katyonik; 2 mg PE/ gr AKM için KES 25.5 sn

Kuvvetli Katyonik; 5 mg PE/ gr AKM için KES 31.4 sn

Orta Katyonik; 2 mg PE/ gr AKM için KES 26.35 sn

Düşük Anyonik; 5 mg PE/ gr AKM için 33 sn

Naniyonik; 5 mg PE/ gr AKM için KES 41.35 sn

Orta Anyonik polielektrolit; 0.6 mgPE/ gr AKM için KES 23.53 olduğu bulunmuştur. En düşük optium doz miktarını veren üç polielektrolit için özgül direnç değerlerine bakılmıştır. Özgül Direnç deneyleri sonucunda en optimum değerler Orta anyonik polielektrolitte 0.6 mgPE/ gr AKM (55.7 Tm/ kg), düşük katyonik polielektrolitte 01 mgPE/ gr AKM (77.8 Tm/ kg) 'de, Orta katyonik polielektrolitte ise 1 mgPE/ gr AKM (621.49 Tm/ kg) olarak bulunmuştur. Optimum değerler karşılaştırıldığında Özgül direnci en düşük olan orta anyonik polielektrolit en optimum değeri vermektedir. Özgül Direnç değeri, en düşük iki polielektrolitin (Orta anyonik ve düşük katyonik polielektrolit) KES deney sonuçları ile benzer değerleri vermiştir. KES deney sonuçları orta anyonik polielektrolitin daha düşük KES değerini verdiğini doğrular. Yapılan bu denemeler sonucu optimum sonucu veren polielektrolitin Orta anyonik polielektrolit 0.6 mgPE/ gr AKM için KES 23.53 olduğu bulunmuştur.

İçme suyu durultucu dip savağından alınan alum çamuru numunesi farklı konsantrasyonlara ayrılarak, ham çamur ve 06 mgPE/gr AKM Orta anyonik polielektrolitle şartlandırılmış çamurların çökelme hızları değerlendirilerek çökelme hızı konsantrasyon eğrileri elde edilmiştir. Bu eğriler ilerde içme suyu tesisine ilave edilebilecek bir yoğunlaştırıcı boyutlandırılmasında kullanılabilir.

KAYNAKLAR

AKÇA, L. , (2001), Arıtma Çamurlarının Susuzlaştırılması Ders Notları , İTÜ

BAYKAL, D. , (2001), Arıtma Çamurlarının Susuzlaştırılması Dersi sunum , İTÜ

BİÇEROĞLU, N. , (2001), Santrifüjler için UygunÇamur Şartlandırma Yöntemlerinin Belirlenmesi , Yüksek Lisans Tezi, İTÜ

CASEY, T. J. , (1997), Unit Treatment Processes in Water and Wastewater Sludges, John Wiles & Sons Ltd, England

CRISTOPER, P. , NOVAK, J. , KNOCKE W, SHERRARD, J. , (1988), Mxing Intensity and Polimer sludge Contioning , J. Env. Eng. Div. Am Soc. Of Ci v. Eng. , 110

CORNWELL, D. , BISHOP, M, GOULD, R, VANDERMEYDEN, C. , (1987), AWWA Research Foundation - Water Treatment Plant Waste Management , Env. Eng. Tech. Inc. Newport News, Virginia

EKAMA, G A , BARANARD, J. L. , GUNTHER, F. W, KREBS, P. , MCCORQUOLE J. A. , PARKER, D. S. , WAHLBERG, E. J. , (1997), Secondary Settling Tanks , IAWOQ London

EROGLU, V. , (1995), Su Tasfiyesi , İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası İstanbul

FİLİBELİ, A. , (1998), Arıtma Çamurlarının İşlenmesi , DEÜ Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir

GREGORRY, J. , (1985), The Action Of Polymeric Flocculants , Flocculation, Sedimentation and Consaladition, Engineering Foundation Conference , Georgia USA

HIZAL, Z. , (2000), Santrifüjlerde Çamur Susuzlaştırma Etkinliğinin Belirlenmesi İçin Uygun Parametrelerin Araştırılması , Yüksek Lisans Tezi, İTÜ

HIGGINS M J. , NOVAK J. T. , (1997), The Effects of Cations on the Settling and Dewatering of Activated Sludges , Wat. Env. Res. Vvol.69.215.

JOHNSON, S. B. , SCALES, P. T. , DIXON, D. R. , PASCOE, M. , (1999), Use Of Superthickener Device to Concentrate Potable Water Sludge , Wat. Res. Vol.34, 288

KARAGÖZ, S., (1995), Su Arıtma Tesisi Çamurları ,
Bitirme Ödevi, İTÜ

KARA, M, (1999), Toksik Ağır Metal İyonlarının Sepyolit
Üzerine Absorbsiyon Mekanizması , *Doktora Tezi, İTÜ*

KEENAN H E., PAPAVALOPOULOUS, E. N., BACHE D. H , (1998),
Measurements of Polymer Residuals in an Alum Sludge ,
Wat. Res. Vol.32, 3173

LEE. C. H , LI U., J. C., (2000) Enhanced Sludge Dewatering
by Dual Polyelectrolytes Conditioning , *Wat. Res. Vol.*
34. 4430

METCALF & EDDY Inc (1991), “ Wastewater Engineering
Treatment Disposal and Reuse. 4th Ed. *Mc Graw Hill co,*
New York

PAPAVALOPOULOUS, E. N., BACHE D. H , (1998), On the Role
of Aluminum Hydroxide in the Conditioning of an Alum
Sludge , *Wat. Sci. Tech. Vol. 38,33*

PAN, J. R., HUANG , C., FU, C. G., (2000) Effect of
Surfactant on Alum Conditioning and Dewaterability ,
Wat.Sci.and Tech. Vol 41, 17

SEL, İ., (1999), Anaerobik Çürütülmüş Çamurların Farklı
Kimyasal Maddelerle Şartlandırılması , *Yüksek Lisans*
Tezi, İTÜ

UĞUR, Y., (2001), Su arıtma Çamurlarının
Uzaklaştırılması , *Bitirme Ödevi, İTÜ*

VESILIND, P., (1980), Treatment and Disposal of Waste
Water Sludges , *Ann Arbor Science Publishers, Inc.*
Michigan

VESILIND, P. A., (1994), The Role of Water in Sludge
Dewatering , *Wat.Env. Res. Vol.66,4*

WILLIAMS, R., CULP, G., (1986), Sludge Handling and
Disposal , *Von Nostrand Reinhold Company Inc. New York*

WU, C. C., LEE, D. J., HUANG , (2000), Determination of
Optimal Dose of Polyelectrolyte Sludge Conditioner
Considering Particle Sedimentation Effects , *Advances in*
Env. Res. 4 (2000) 245-249

WU, C. C., HUANG C., LEE. D. J., (1997), Effects of
Polymer Dose on Alum Sludge Dewatering Characteristics
and Physical Properties , *Colloidal and Surfaces A:*
Physicochemical and Engineering Aspects 122 (1997) 89-96

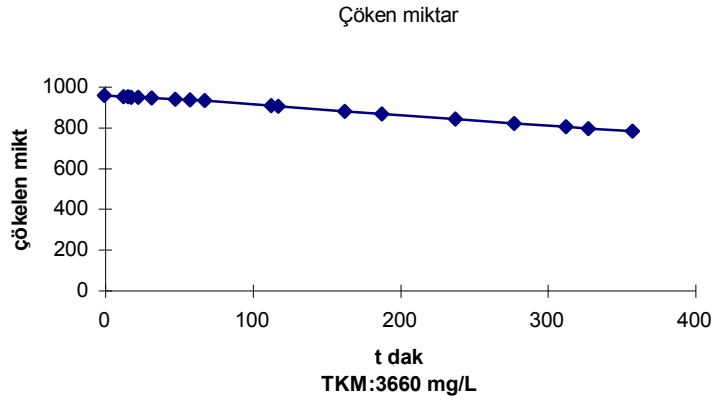
STANDART METHODS. APHA AWWA Yayını 20. Baskı 1998

ZETA METER SYSTEM 3.0 Operating Instructions. (1992)

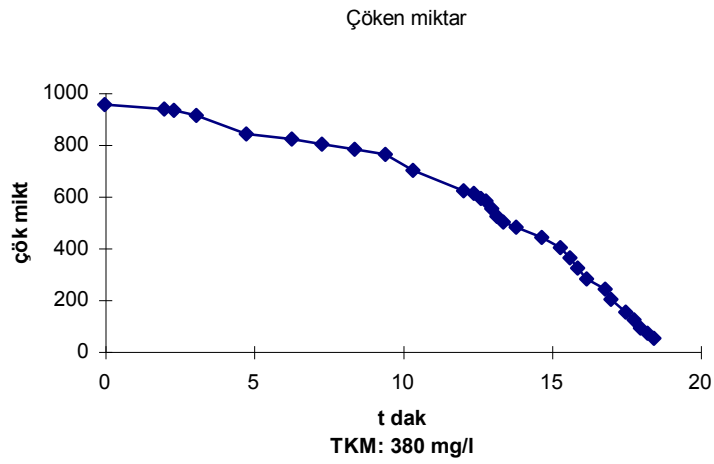
EKLER

Ek 1 Kağıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi Mevcut Akım Şeması

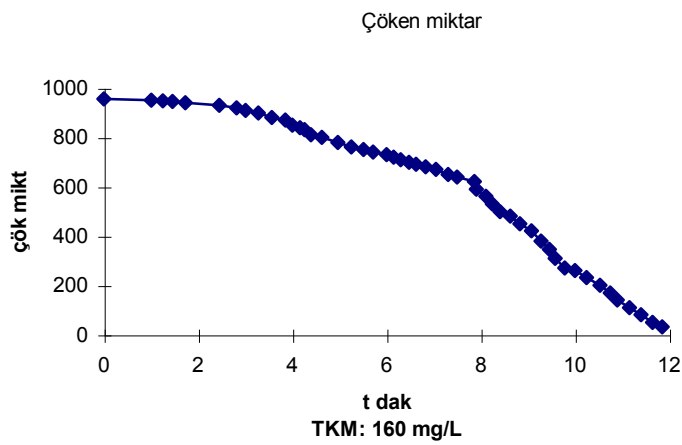
Ek 2 Ham çamur ve Şartlandırılmış Çamurun Çökme Hızları



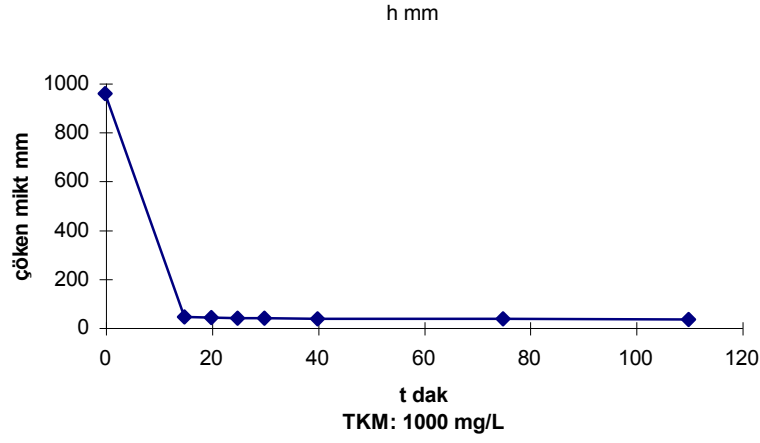
Ek2. 1 Durul tucu (02/ 11/ 2001) Ham Çamur



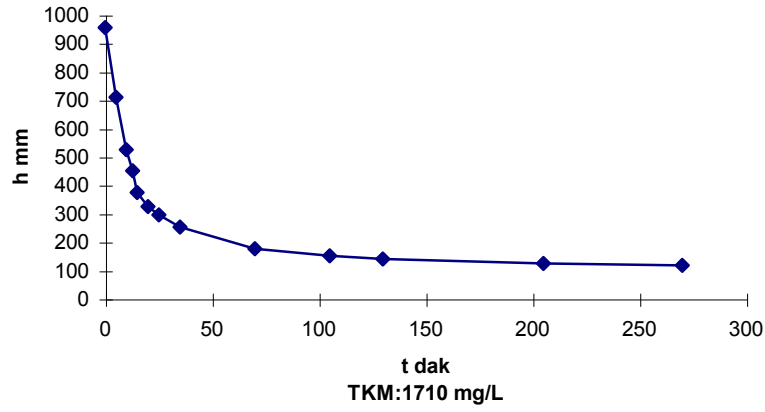
Ek 2. 2 12. Filtre (02/ 11/ 2001) (Ham Çamur)



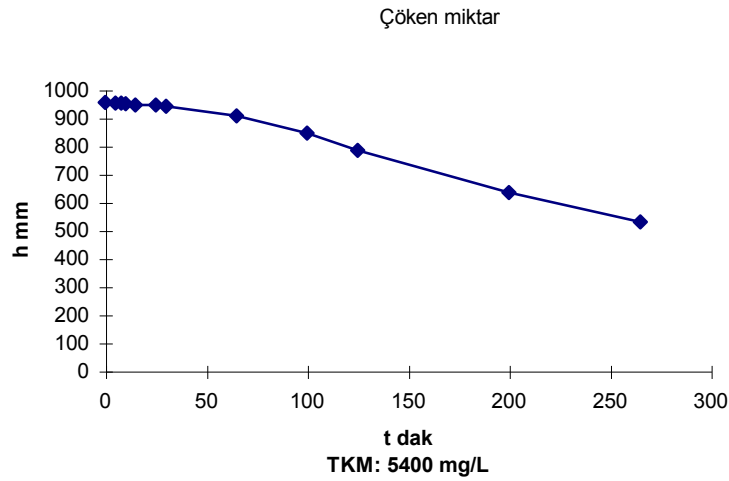
Ek 2. 3 13. Filtre (02/ 11/ 2001) (Ham Çamur)



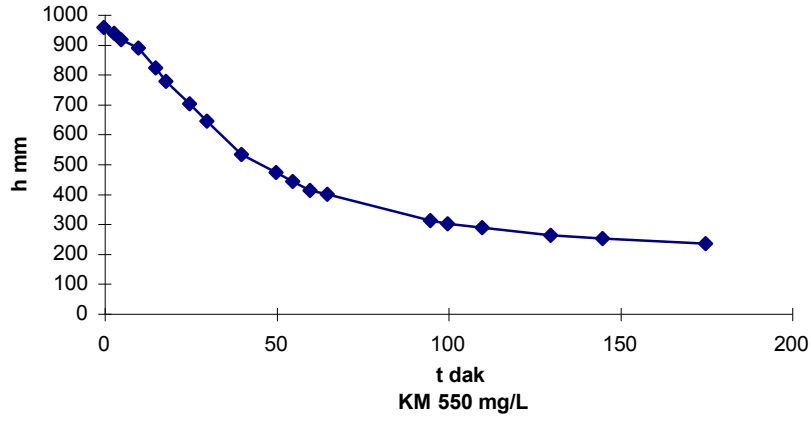
Ek 2.4 Filtre 09/11/2001 Ham çamur



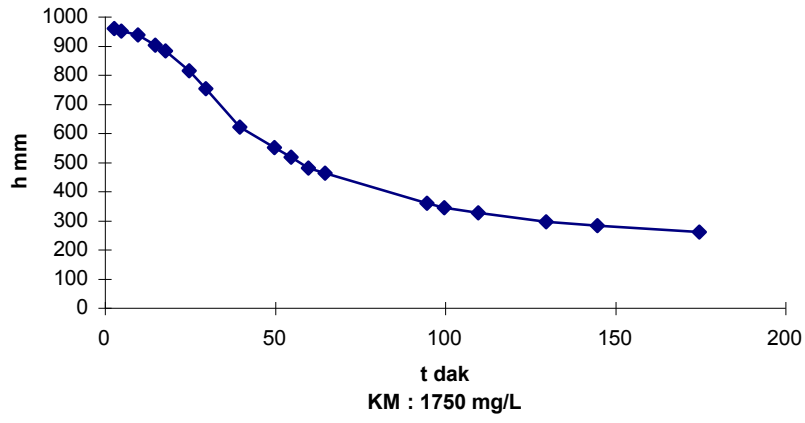
Ek 2.5 Durultucu 09/11/2001 (Ham Çamur)



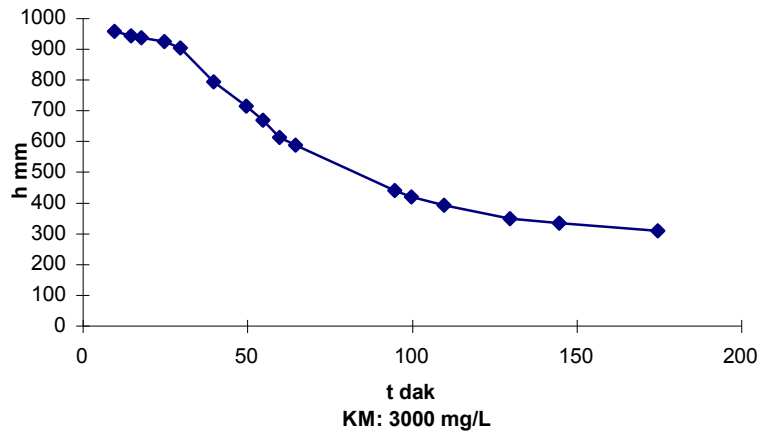
Ek 2.6 Durultucu 09/11/2001 Ham çamur



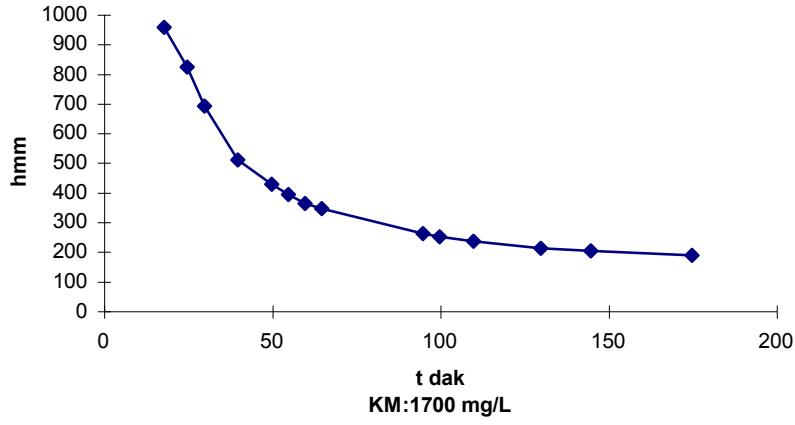
Ek 2.7 Durul tucu 20/12/2001 Ham çamır



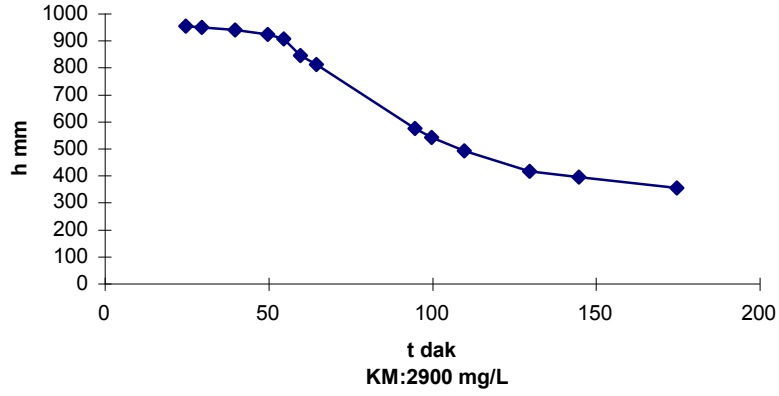
Ek 2.8 Durul tucu 20/12/2001 Ham çamır



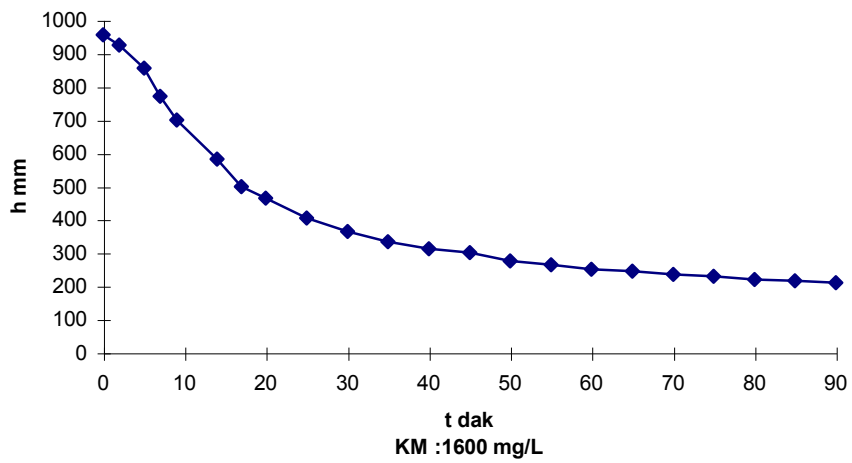
Ek 2.9 Durul tucu 20/12/2001 Ham çamır



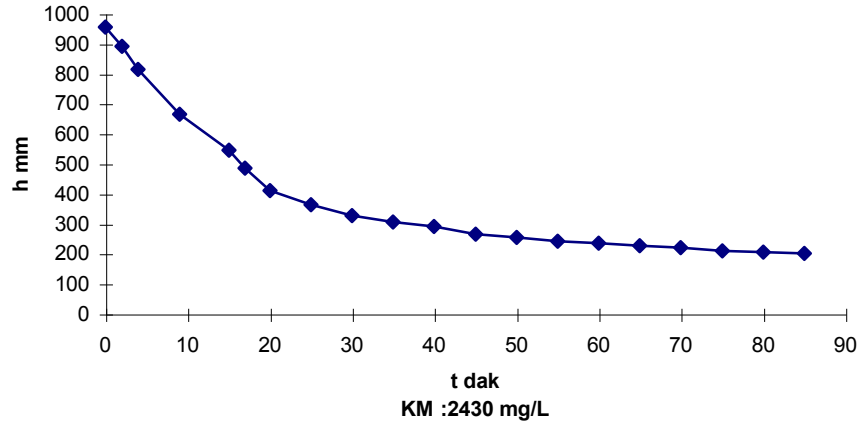
Ek 2. 10 Durul tu cu 20/ 12/ 2002 Ham  amur



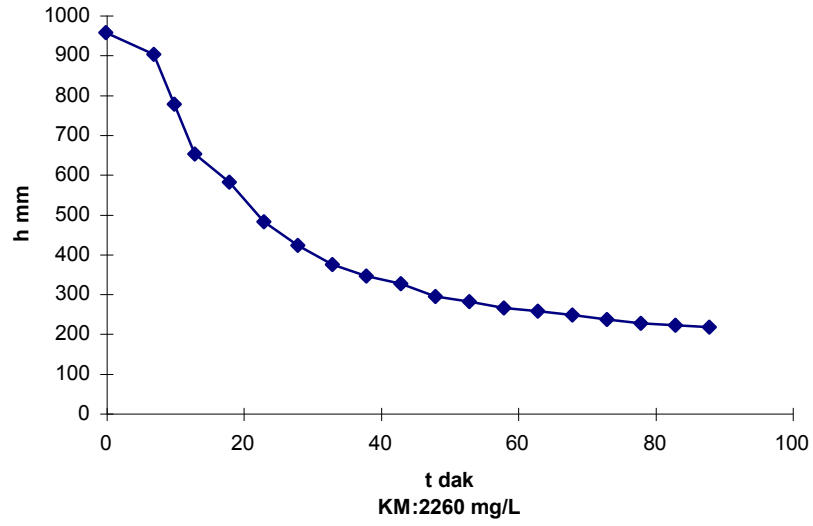
Ek 2. 11 Durul tu cu 20/ 12/ 2001 Ham  amur



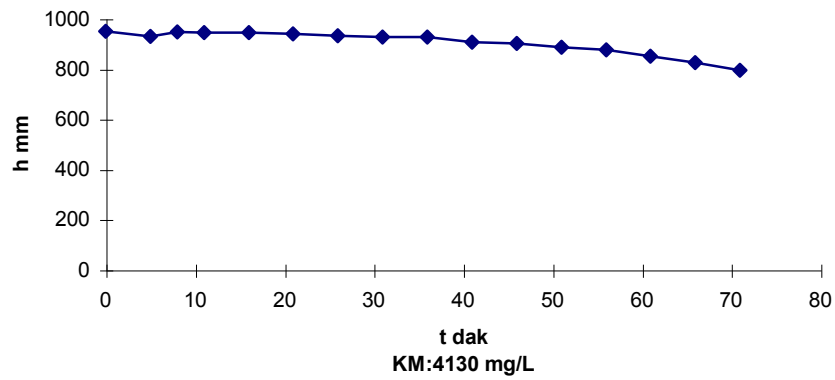
Ek 2. 12 Durul tu cu 31/ 01/ 2002 Ham  amur



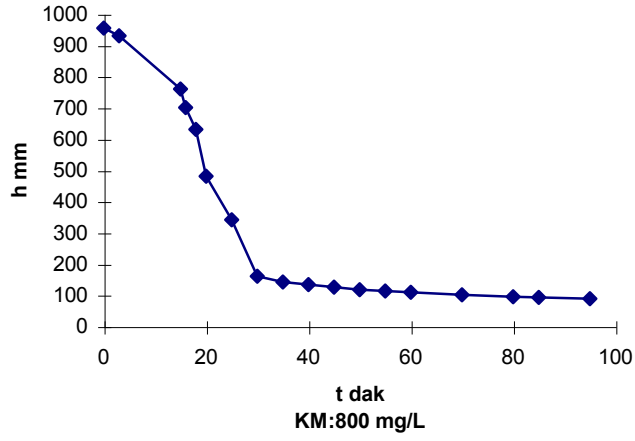
Ek 2. 13 Dür ü l t ü cü 31/ 01/ 2002 H a m ç a m ı r



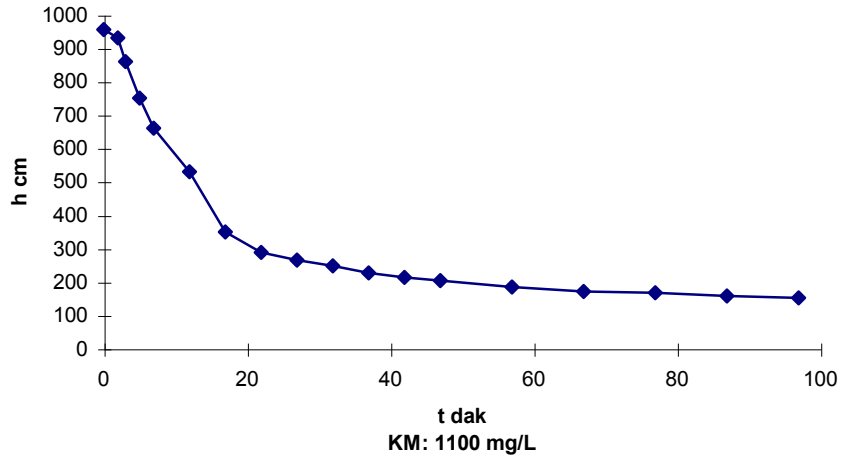
Ek 2. 14 Dür ü l t ü cü 30/ 01/ 2002 H a m ç a m ı r



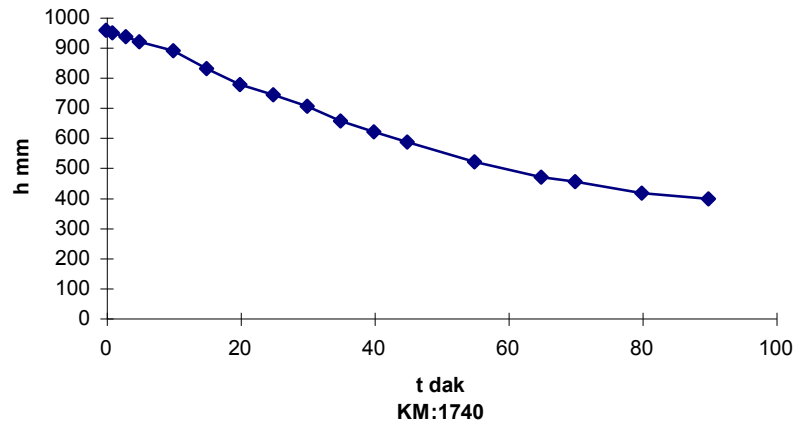
Ek 2. 15 Dür ü l t ü cü 30/ 01/ 2002



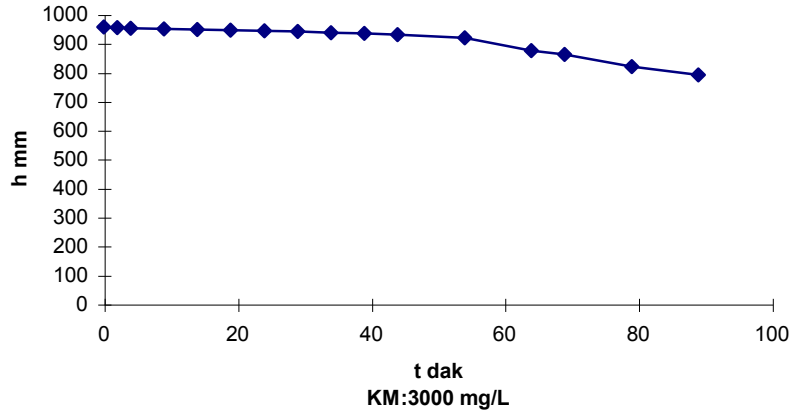
Ek 2. 16 Durul tucu 05/ 03/ 2002 Ham ç amur



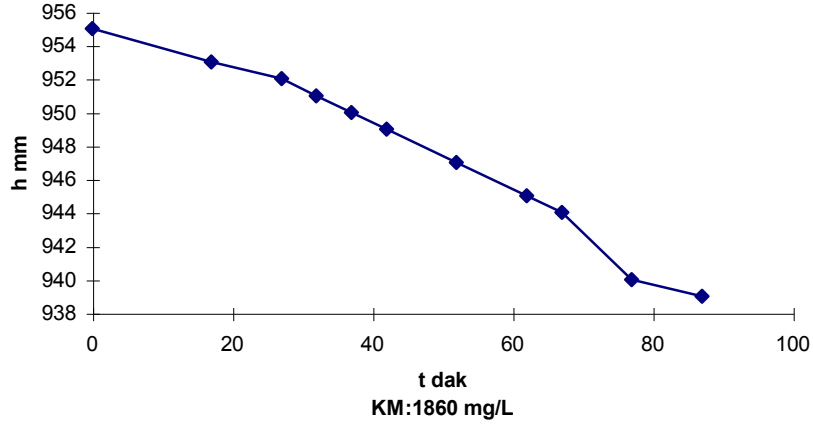
Ek2. 17 Durul tucu 05/ 03/ 2002 Ham ç amur



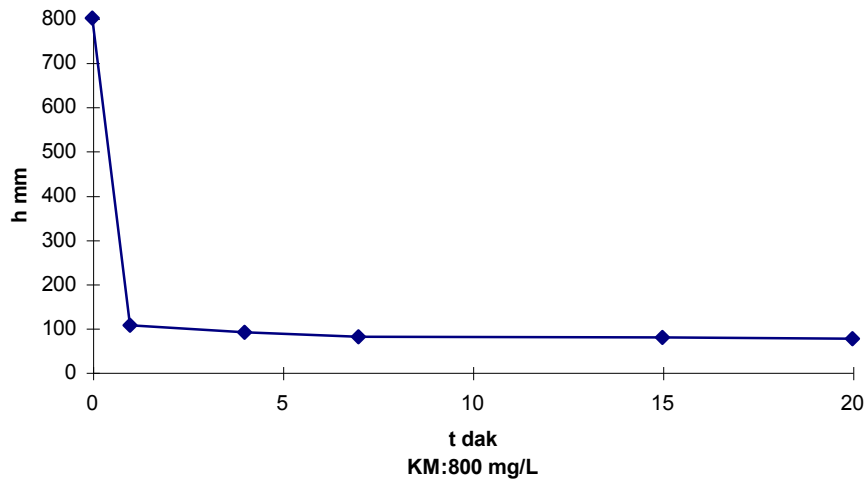
Ek 2. 18 Durul tucu 05/ 03/ 2002 Ham ç amur



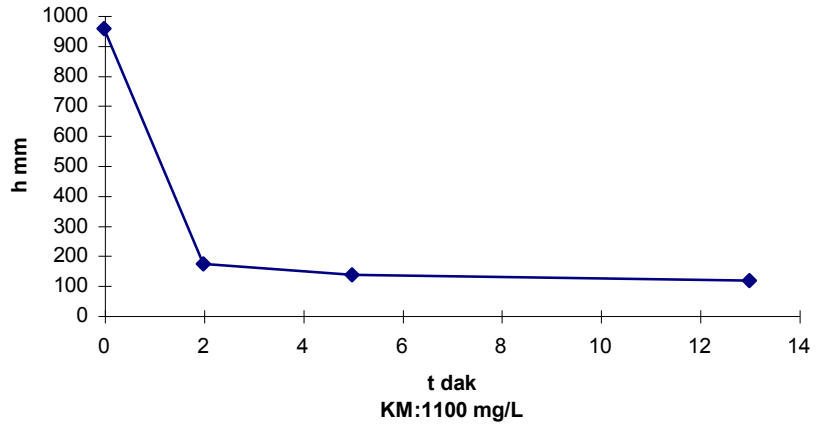
Ek 2.19 Dürültücü : 05/03/2002 Ham çamur



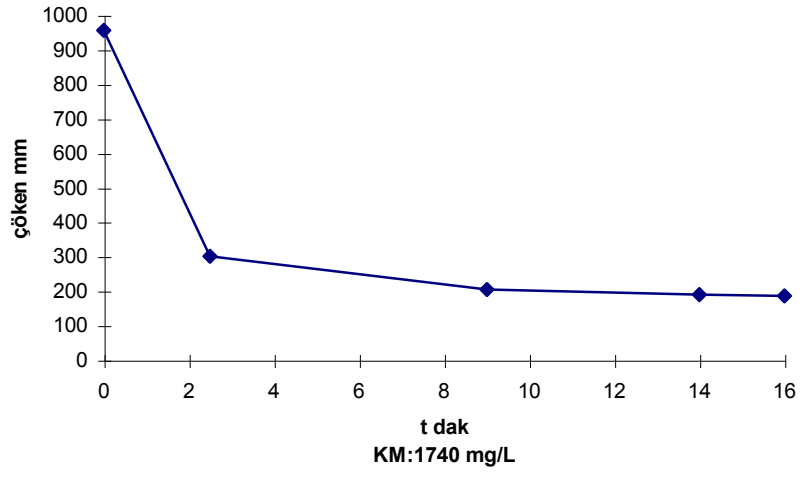
Ek 2.20 Dürültücü 05/03/2002 Ham çamur



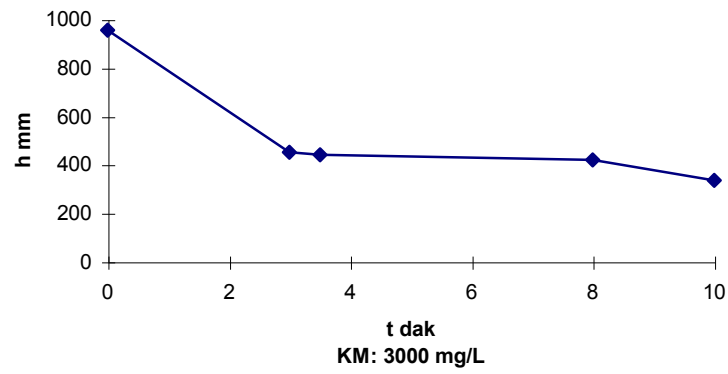
Ek 2.21 Dürültücü 06/03/2002 Şartlandırılmış çamur



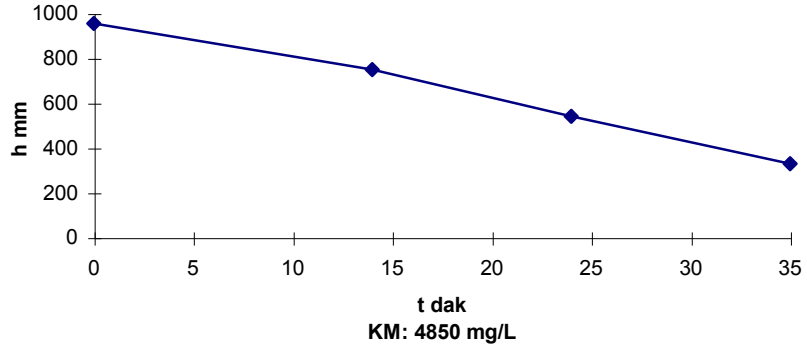
Ek 2.22 Durultucu 06/03/2002 Şartlandırılmış çamur



Ek 2.23 Durultucu 06/03/2002 Şartlandırılmış çamur

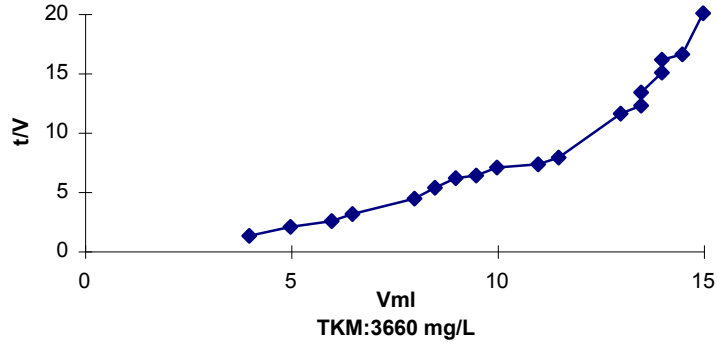


Ek2.24 Durultucu 06/03/2002 Şartlandırılmış çamur

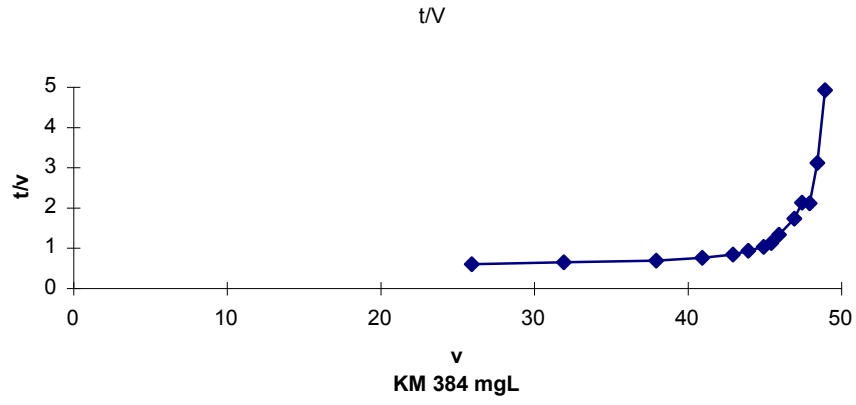


Ek2. 25 Durul tucu 06/ 03/ 2002 Şartlandırılmış çamur

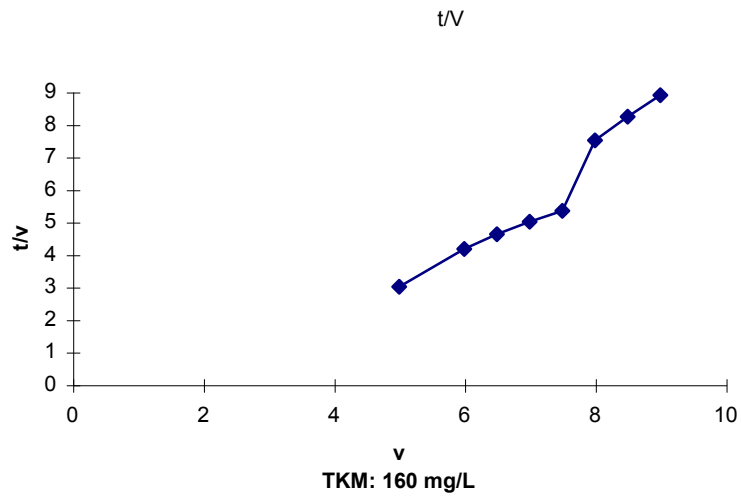
EK 3 Ham Çamurun Özgöl Di renç Değerleri



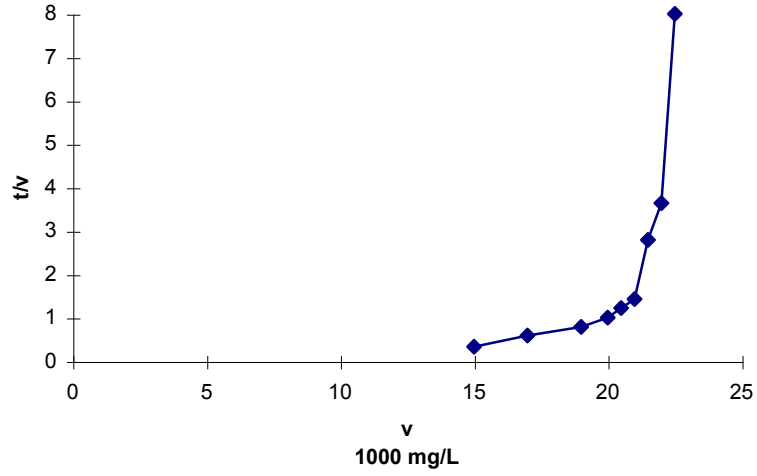
EK 3. 1 Durul tucu 2/ 11/ 2001 Öz gül Direnç Ham çamur



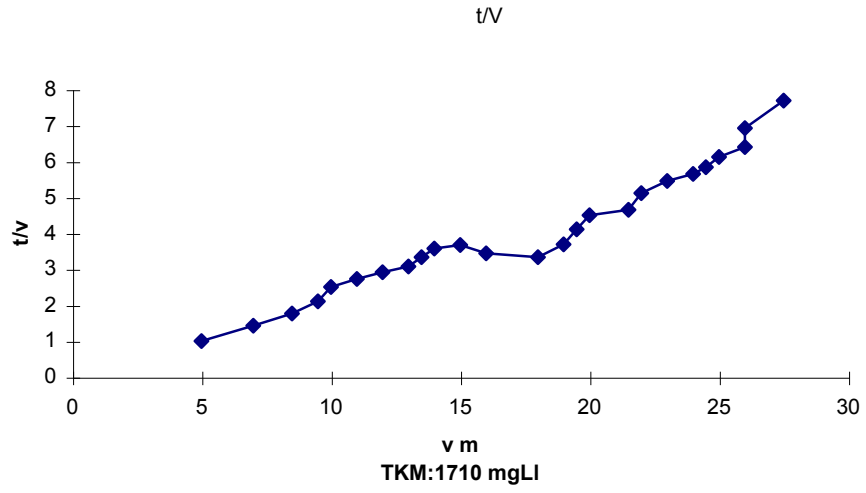
Ek 3. 2 12 Filtre 2/ 11/ 2001 Ham Çamur



Ek3. 3. 13 Filtre 2/ 11/ 2002 Ham çamur



Ek 3.4 Filtre Çamuru 9/11 /2001 Ham çamur



Ek 3.5 Durul tucu 9/11/2001 Ham çamur

ÖZGEÇMİŞ

Banu SIZIRICI 6 Mart 1979 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğretimi Siyavuş Paşa İlkokulunda tamamladı. Ortaokul ve lise eğitimi B. evler Kocasınan Lisesinde tamamladı. 1995 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümüne girdi ve 1999 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.