

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TANELENDİRME/YOĞUNLAŞTIRMA SİSTEMİ İLE
ÇAMURUN SUSUZLAŞTIRILMASI**

Hatice ERDEM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ELAZIĞ, 2005

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TANELENDİRME/YOĞUNLAŞTIRMA SİSTEMİ İLE
ÇAMURUN SUSUZLAŞTIRILMASI**

Hatice ERDEM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Nusret ŞEKERDAĞ

Üye: Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU

Üye: Yrd. Doç. Dr. Nilüfer NACAR (KOÇER)

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15.../07/2005 tarih ve 2005/22-3..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÖR

Bu tez çalıőmamın yűrűtűcűlűėűnű űstlenen ve çalıőma boyunca yardımlarını esirgemeyen danıőman hocam Prof. Dr. Nusret ŐEKERDAė'a ve beni daima destekleyen aileme teőekkűr ederim. Ayrıca çalıőmamın yűrűtűlmesinde maddi destek saėlayan Fırat Ŭniversitesi Bilimsel Araőtırma Projesi Birimi (FŬBAP) alıőanlarına teőekkűr ederim.

Hatice ERDEM



İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	III
ÇİZELGELERİN (TABLOLARIN) LİSTESİ.....	IV
EKLERİN LİSTESİ	V
KISALTMALAR	VI
SİMGELER.....	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Çamur Şartlandırma	4
2.1.1. Kimyasal Şartlandırma	5
2.1.2. Isıl İşlem	8
2.1.3. Dondurma	8
2.1.4. Elutrasyon	9
2.1.5. Radyasyonla Şartlandırma	9
2.1.6. Biyolojik Şartlandırma	9
2.2. Şartlandırıcı Verimini Etkileyen Faktörler	10
2.3. Çamurun Susuzlaştırılması	11
2.3.1. Vakum Filtrasyon	12
2.3.2. Santrifüjleme	13
2.3.3. Filtre Presler	14
2.3.4. Bantlı Filtre Presler	16
2.3.5. Çamur Kurutma Yatakları	17
2.3.6. Çamur Lagünleri	18
2.3.7. Tanelendirme/Yoğunlaştırma Sistemi ile Susuzlaştırma	19
3. MATERYAL VE METOD	21

SAYFA

3.1. Numune Alma ve Karakterizasyon Çalışmaları	21
3.2. Yapılan Analizler ve Analiz Metodları	21
3.2.1. Kapiler Emme Süresi	21
3.2.2. Özgül Filtre Direnci	22
3.2.3. Filtrasyon Süresi	23
3.3. Deney Düzeneginin Dizaynı ve Susuzlaştırma Çalışmaları	23
4. BULGULAR	27
4.1. Ham Çamurun Özellikleri	27
4.2. Optimum pH'ın Belirlenmesi	27
4.3. Şartlandırma ve Susuzlaştırma Verimleri	28
5. SONUÇLAR	38
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	43
EKLER	44

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1. Tipik Bir Vakum Filtre Sistemine Ait Akım Diyagramı	14
Şekil 2.2. Helezonik Milli Santrifujler	15
Şekil 2.3. Filtre Pres Tipleri	16
Şekil 2.4. Bantlı Filtre Presin Kademeleri	17
Şekil 2.5. Tanelendirme/Yoğunlaştırma Sisteminin Akım Şeması.....	19
Şekil 3.1. Kapiler Emme Süresi Cihazının Şematik Gösterimi	22
Şekil 3.2. Süzülme Direnci Tayin Cihazı	23
Şekil 3.3. Deney Düzenineğinin Şematik Gösterimi	24
Şekil 3.4. Laboratuar - Ölçekli Tanelendirme/Yoğunlaştırma Sistemi	25
Şekil 4.1. Tanelendirme/Yoğunlaştırma Sisteminden Geçirilmiş Çamurun Su İçeriği	27
Şekil 4.2. Farklı Demir (III) Klorür ve Alum Dozajlarındaki SRF Değerleri.....	28
Şekil 4.3. Farklı Demir (III) Klorür ve Alum Dozajlarındaki CST Değerleri	29
Şekil 4.4. Farklı Demir (III) Klorür ve Alum Dozajlarındaki FS Değerleri	29
Şekil 4.5. Farklı Polimer Dozajlarındaki SRF Değerleri	30
Şekil 4.6. Farklı Polimer Dozajlarındaki CST Değerleri	30
Şekil 4.7. Farklı Polimer Dozajlarındaki FS Değerleri.....	31
Şekil 4.8. Farklı Hızlı Karıştırma Sürelerindeki SRF Değerleri.....	32
Şekil 4.9. Farklı Hızlı Karıştırma Sürelerindeki CST Değerleri.....	32
Şekil 4.10. Farklı Hızlı Karıştırma Sürelerindeki FS Değerleri.....	33
Şekil 4.11. Farklı Yavaş Karıştırma Sürelerindeki SRF Değerleri	33
Şekil 4.12. Farklı Yavaş Karıştırma Sürelerindeki CST Değerleri.....	34
Şekil 4.13. Farklı Yavaş Karıştırma Sürelerindeki FS Değerleri	34
Şekil 4.14. Farklı FeCl ₃ /Alum Karışım Oranlarındaki SRF Değerleri	35
Şekil 4.15. Farklı FeCl ₃ /Alum Karışım Oranlarındaki CST Değerleri	36
Şekil 4.16. Farklı FeCl ₃ /Alum Karışım Oranlarındaki FS Değerleri	36

TABLolarIN LİSTESİ

Tablo 2.1. Klasik Atıksu Arıtma Tesislerinde Katı Madde ve Çamur Kaynakları	3
Tablo 2.2. Çamur Şartlandırma Yöntemleri ve Amaçları	4
Tablo 4.1. Ham Çamurun Özellikleri	27
Tablo 4.2. FeCl ₃ ve Alum İçin Elde Edilen Optimum İşletme Şartları.....	35



EKLERİN LİSTESİ

Ek 1. Tanelendirme/Yoğunlaştırma Sisteminden Geçirilmiş Çamurun Su İçeriği Değerleri	44
Ek 2. Farklı Demir(III)Klorür Dozajlarındaki CST, SRF ve FS Değerleri.....	44
Ek 3. Farklı Polimer Dozajlarındaki CST, SRF ve FS Değerleri	44
Ek 4. Farklı Hızlı Karıştırma Sürelerindeki CST, SRF ve FS Değerleri	45
Ek 5. Farklı Yavaş Karıştırma Sürelerindeki CST, SRF ve FS Değerleri	45
Ek 6. Farklı Alum Dozajlarındaki CST, SRF ve FS Değerleri	45
Ek 7. Farklı Polimer Dozajlarındaki CST, SRF ve FS Değerleri	46
Ek 8. Farklı Hızlı Karıştırma Sürelerindeki CST, SRF ve FS Değerleri	46
Ek 9. Farklı Yavaş Karıştırma Sürelerindeki CST, SRF ve FS Değerleri	46
Ek 10. Farklı FeCl ₃ /Alum Karışım Oranlarındaki CST, SRF ve FS Değerleri.....	47



KISALTMALAR

- CST : Kapiler Emme Süresi (sn)
SRF : Özgül Filtre Direnci (m/kg)
FS : Filtrasyon Süresi (sn)
S_i : Su İçeriği (%)
TKM : Toplam Katı Madde (mg/L)
UKM : Uçucu Katı Madde (mg/L)
AKM : Askıda Katı Madde (mg/L)
ÇHİ : Çamur Hacim İndeksi (mL/g)



SİMGELER

- A : Filtre alanı (m^2)
P : Basınç (N/m^2)
 R_m : Filtre malzemesinin başlangıçtaki direnci (m/kg)
 μ : Süzüntü suyunun vizkozitesi ($N.sn/m^2$)
r : Çamurun özgül direnci (m/kg)
V : Süzüntü suyunun hacmi (mL)
C : Süzüntü suyunun birim hacminde çöken katı madde konsantrasyonu (gr/L)
t : Zaman (sn)
b : V'ye karşı t/V 'nin grafiği çizildiğinde ortaya çıkan eğim



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TANELENDİRME/YOĞUNLAŞTIRMA SİSTEMİ İLE ÇAMURUN SUSUZLAŞTIRILMASI

Hatice ERDEM

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

2005, Sayfa : 47

Bu çalışmada, çamur susuzlaştırma ve bertarafı ile ilgili problemleri ortadan kaldırmak için son yıllarda geliştirilmiş olan bir tanelendirme/yoğunlaştırma sistemi kullanılarak evsel atıksu çamurunun susuzlaştırılabilirliği incelenmiştir. Bu sistemdeki şartlandırma işleminde demir(III)klorür ve alum, susuzlaştırma işleminde ise polimer kullanılmıştır. Susuzlaştırma çalışmalarında laboratuvar ölçekli bir deneysel düzenek kullanılmıştır ve susuzlaştırma verimi; kapiler emme süresi (CST), özgül filtre direnci (SRF) ve filtrasyon süresi (FS) parametreleri ile değerlendirilmiştir.

Tanelendirme/yoğunlaştırma sisteminden geçirilmiş çamurun su içeriğinin pH=7’de %94 iken pH=2.5’de %75.5 değerine kadar düştüğü dolayısıyla en düşük su içeriği değerine pH=2.5’de ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Sistemin şartlandırma kademesinde çamur öncelikle demir(III)klorür ve alum kullanılarak ayrı ayrı şartlandırılmış ve bu deneylerden elde edilen sonuçlar demir(III)klorürün çamur şartlandırma işleminde alümandan daha etkili olduğunu ve alumla kıyasla daha iyi susuzlaştırılabilirlik sağladığını göstermiştir. Daha sonra, deneyler bu iki koagülantın belirli oranlarda karıştırılması suretiyle gerçekleştirilmiş ve en iyi şartlandırmanın FeCl₃/alum=1/4 oranında meydana geldiği bulunmuştur. Elde edilen bu bulgular gözönünde tutulduğunda, şartlandırma işleminde bu koagülantların 1/4 oranında karıştırılarak kullanılmasının alum veya FeCl₃’ün tek başına kullanılmasından daha iyi bir susuzlaştırma verimi sağladığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, tanelendirme/yoğunlaştırma sistemi ile yapılan susuzlaştırma işleminin klasik susuzlaştırma teçhizatları kullanılarak yapılan susuzlaştırma işlemi kadar iyi olduğu ve hatta kullanılan kimyasal tipine bağlı olarak daha da iyi verim sağladığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Tanelendirme/yoğunlaştırma sistemi, çamur, susuzlaştırma, şartlandırma, kapiler emme zamanı, özgül filtre direnci, filtrasyon süresi

ABSTRACT

MS THESIS

SLUDGE DEWATERING BY PELLETIZATION/THICKENING SYSTEM

Hatice ERDEM

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

2005, Page: 47

In this study, dewaterability of municipal wastewater sludge using a pelletization/thickening system that was recent developed in order to eliminate problems associate with sludge dewatering and disposal has been investigated. In this system, ferric chloride and alum for conditioning and a polimer for dewatering was used. A laboratory-scale experimental equipment was utilized for dewatering. Dewatering efficiencies have been evaluated according to capillary suction time, specific resistance to filtration and filtration time.

It was established that the water content of sludge passed from a pelletization/thickening system was 75.5% at 2.5 of pH while 94% at 7 of pH and that the lowest water content was reached at 2.5 of pH.

In the conditioning stage of the system, first sludge was separately conditioned using ferric chloride and alum, and results of these experiments showed that ferric chloride was more effective than alum in sludge conditioning and provided a better dewaterability in comparison with alum. Then, the experiments was conducted by mixing at a specific ratios of this two coagulants, and it was found that the best conditioning was occurred at mixing ratio of $\text{FeCl}_3/\text{alum}=1/4$. When obtained these findings were considered, it was established that using at mixing ratio of 1/4 of these coagulants provided a better dewatering efficiency than using a single coagulant (alum or ferric chloride).

Finally, it was appeared that the dewatering performed using a pelletization/thickening system was as good as that of a conventional dewatering equipment, and even provided a better efficiency than that a conventional dewatering equipment due to the chemical type used.

Keywords: Pelletization/thickening system, sludge, dewatering, conditioning, capillary suction time, specific resistance to filtration, filtration time

1.GİRİŞ

Aktif çamur prosesi genellikle evsel ve endüstriyel kaynaklardan gelen atıksuların arıtılmasında kullanılır. Bununla birlikte atıksu arıtımı esnasında bertaraf edilmediği takdirde çevre kirliliğine sebep olacak büyük miktarda atık çamur oluşur. Oluşan bu çamurlar sıvı yada yarı katı halde, kokulu ve uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ağırlıkça % 0,25-12 katı madde içerirler.

Atıksu arıtım tesislerinde çamur; ızgaralarda, kum tutucularda, ön çökeltme tanklarında, kimyasal çökeltme tanklarında ve biyolojik arıtma sistemlerinin son çökeltme tanklarında oluşur ve oluşan bu çamur atıksu arıtımı boyunca istenmeyen bir ürün olarak göz önünde tutulur.

Arıtma vasıtasıyla uzaklaştırılan çamur hacimce diğerlerinden daha büyüktür ve işlenmesi, tekrar kullanılması ve bertarafı atıksu arıtma alanında mühendislerin karşılaştıkları en kompleks problemdir. Bunun nedeni:

- Genellikle arıtılmamış atıksuyun tiksindirici özelliğini karakterize eden çok miktarda besi maddesi içerir.
- Biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamur, ham atıksu içerisindeki organik maddelerin bileşimi halinde fakat başka bir yapıda bozunma ve kokuşma eğilimindedir.
- Çamurun yalnızca çok az bir kısmı katı madde içerir.

Atıksu arıtma tesislerinde arıtma prosesleri sonucunda ortaya çıkan biyolojik ve kimyasal çamurlar çeşitli kirleticilerle birlikte yüksek düzeyde su içermekte ve nihai bertaraf öncesinde, su içeriğinin mümkün olduğunca azaltılması gerekmektedir. Bu amaçla genellikle son işlem olarak su içeriği yüksek olan çamurun susuzlaştırılması gerekir. Susuzlaştırma işleminin esas gayesi etkili bir şekilde mümkün olduğunca çok su uzaklaştırarak kek katı konsantrasyonunu artırmaktır. Çamurun susuzlaştırılması için vakum filtre, santrifüj, bantlı filtre pres, filtre presler, çamur kurutma yatakları ve lagünler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlara ilaveten son yıllarda geliştirilen ve etkili bir susuzlaştırma verimi sağlayabilen tanelendirme/yoğunlaştırma sistemi de susuzlaştırma işleminde kullanılabilir.

Bu çalışmada son yıllarda geliştirilmiş olan tanelendirme/yoğunlaştırma sistemi kullanılarak evsel atıksu çamurunun susuzlaştırılabilirliği incelenmiştir. Bu nedenle, bu sistemde kullanılan ve en uygun verimi sağlayacak olan optimum kimyasal madde dozajı ve tipi tespit edilmeye çalışılmıştır. Optimum kimyasal madde dozajı ve tipi kapiler emme süresi (CST), özgül filtre direnci (SRF) ve filtrasyon süresi (FS) parametreleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu çalışma FÜBAP tarafından 980 no'lu projeye desteklenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Çevre mühendisliğinde uygulanan su ve atıksu işlemlerinin hemen hepsi bir tür atık oluşturur. Bu atıklar arasında miktar ve uzaklaştırılma zorluğu açısından en önemlisi arıtma çamurlarıdır (Kocasoy, 1991).

Yakın gelecekte, atıksu çamuru oluşumunun artması ve bertaraf olanaklarının azalması çok muhtemel olduğundan atıksu çamur kütlesi ve hacminin azaltılması çok önemlidir. Bu nedenle atıksu çamuru birçok işleme tabi tutulur (Herwijn ve diğ., 1995).

Çamura uygulanan birim işlemler ve yöntemlerin gayesi;

- Çamurun su ve organik madde muhtevasını azaltmak,
- Nihai bertaraf ve tekrar kullanımını sağlamaktır (Filibeli, 1996).

Çamurun işlenmesi ve bertarafı uzun zamandır evsel ve endüstriyel su arıtımının en güç aşamasını oluşturmaktadır. Atıksu arıtım tesislerindeki çok etkili gelişmelerle birlikte üretilen çamurları işlemek daha da zorlaşmıştır. Bu nedenle son birkaç yıl içerisinde çevre kontrolünün bu aşaması gittikçe zorlaşan bir problem haline gelmiştir. Bu problemin diğer bir yönü, evsel ve endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atıksuların arıtımında gelen çamurların miktarının artması ile çamurun bertarafı ve çevre kirliliğinin kontrolü için mevcut alanların azalmasıdır. Bu koşullar, uygun çamur bertaraf yöntemlerinin seçimini oldukça zorlaştırmaktadır (Eckenfelder ve Santhanam, 1981).

Arıtma tesisinde oluşan katı maddelerin kaynakları tesisin tipine ve işletme metoduna göre değişir. Klasik bir atıksu arıtma tesisinde oluşan katı madde ve çamur kaynakları Tablo 2.1'de verilmiştir.

İnsanlar yıllardır değişik hallerdeki çamur su içeriğini sınıflandırmayı denemişler ve su içeriğini basit bir şekilde bağlı ve serbest su olarak iki sınıfa ayırmışlardır (Lee ve Hsu, 1995). Mekanik yollarla uzaklaştırılamayan çamurdaki su içeriği bağlı su olarak tanımlanmış ve bağlı su içeriğinin ölçülmesi için değişik metodlar kullanılmıştır (Chu ve Lee, 1999; Chen ve diğ., 1997; Robinson ve Knocke, 1992).

Bir çamurdaki nem dağılımı, birçok prosesin verimi ile bağlı su içeriği arasındaki ilişkiyi gösterdiği için önemlidir (Lee ve Hsu, 1995; Chen ve diğ., 1997).

Çamurdaki suyu dört grupta toplayabiliriz (Vesilind ve Martel, 1990; Vesilind, 1994; Vaxelaire ve Cezac, 2004):

- **Serbest Su:** Çamurdaki katı partiküllere bağlı olmayan ve onlardan etkilenmeyen sudur. Serbest su çamurdan uzaklaştırılması en kolay olan ve basit yerçekimi ile çamurdan ayrılabilen sudur.

- **Flok (Arayer) Suyu:** Flokların ve organizmaların arayer boşluklarında ve çatlaklarında tutulan sudur. Mekanik su alma işlemleri ile uzaklaştırılabilirler.
- **Kapiler Su:** Adsorpsiyon ve adhezyonla katı partiküllerin yüzeyine tutunmuş olan çok tabakalı su molekülleridir.
- **Kimyasal (Hidrasyon) Su:** Kimyasal olarak partiküllere bağlı olan ve sadece termal enerji kullanılarak uzaklaştırılabilen sudur.

Tablo 2.1. Klasik Atıksu Arıtma Tesislerinde Katı Madde ve Çamur Kaynakları (Filibeli, 1996)

Birim İşlem veya Proses	Katı Madde veya Çamur Tipi	Açıklama
Izgara	Kaba katı maddeler	Kaba katı maddeler mekanik olarak veya elle temizlenen ızgaralarla giderilir.
Kum Tutucu	Kum ve Köpük	Köpük giderme işlemi çoğunlukla kum tutucularda kum ayırma ile birlikte gerçekleştirilir.
Ön Havalandırma	Kum ve Köpük	Bazı tesislerde köpük giderme işlemi ön havalandırma tanklarında sağlanamaz. Ön havalandırma havuzlarında kum birikimi olabilir.
Ön Çökeltim	Ön Çökeltim Çamuru ve Köpük	Çamur ve köpük miktarı toplama sisteminin yapısına ve endüstriyel atıkların sisteme deşarj edilip edilmemesine bağlıdır.
Biyolojik Arıtma	Askıda Katı Maddeler	Askıda katı maddeler BOI'nin biyolojik giderimiyle oluşurlar. Biyolojik arıtmadan çıkan çamuru yoğunlaştırmak için yoğunlaştırıcı gerekebilir.
Son Çökeltim	Son Çökeltim Çamuru ve Köpük	Biyolojik arıtma ünitelerinden gelen çamurun ayrıldığı yerdir.
Çamur İşleme Üniteleri	Çamur, Kompost ve Küller	Nihai ürünlerin özellikleri artıtılacak çamurun özelliklerine, kullanılan işlem ve proseslere bağlıdır. Kalıntıların bertarafı ile ilgili düzenlemeler çok sıklıdır.

2.1. Çamurun Şartlandırılması

Şartlandırma, çamur suyunun uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak için çamura uygulanan bir ön işlemdir (Kocasoy, 1991). Çamur şartlandırma, su içinde bulunan kolloidal veya partikül halindeki askıda katı maddelerin üzerinde fiziksel ve kimyasal kuvvetlerin etkisiyle oluşan elektriksel yükleri nötralize etmek veya kararsız hale getirmek demektir (Filibeli, 1996).

Çamurun uygun bir şekilde şartlandırması, susuzlaştırma ekipmanlarının optimum işletimi için en önemli faktör durumundadır (Öztürk, 1999; Sara ve Şekerdağ, 2005). Çünkü çamurun susuzlaştırıcı ekipman içinde suyunu en kısa sürede bırakması ancak bu şartlandırmanın verimine bağlıdır (Erdoğan, 2004).

Çamur şartlandırma amacıyla kullanılabilen pek çok yöntem olmakla birlikte en yaygın kullanılan yöntemler kimyasal şartlandırma işlemi ve ısıl işlemdir. Dondurma, radyasyonla şartlandırma, elutrasyon ve biyolojik şartlandırma gibi başka şartlandırma yöntemleri de vardır

(Metcalf ve Eddy, 1991). Kullanılan çeşitli şartlandırma yöntemleri, şartlandırma işleminin uygulandığı arıtma kademesi ve amacı Tablo 2.2'de açıklanmaktadır (Eckenfelder ve Santhanam, 1981).

Tablo 2.2. Çamur Şartlandırma Yöntemleri ve Amaçları (Eckenfelder ve Santhanam, 1981)

Şartlandırma Yöntemi	Uygulama Kademesi	Amaç
Polimer İlavesi	Yoğunlaştırma	Katı madde içeriğini, yükleme oranını ve yoğunluğunu artırmak
Polimer ilavesi	Su Alma	Çamur keki katı madde muhtevasının arttırmak
İnorganik Kimyasal Madde İlavesi	Su Alma	Çamur keki katı madde muhtevasını arttırmak
Elutrasyon	Su Alma	Asidik özelliği olan kimyasal şartlandırıcı ihtiyacını azaltmak ve katı madde muhtevasını arttırmak
Isıl İşlem	Su Alma	Kimyasal madde kullanımını azaltmak veya tamamen kaldırmak ve çamur keki katı madde muhtevasını arttırmak; stabil çamur elde etmek
Kül İlavesi	Su Alma	Vakum filtrelerde kek ayırımını kolaylaştırmak, filtredeki basıncı ve filtre verimini arttırmak ve kimyasal madde kullanımını azaltmak

2.1.1. Kimyasal Şartlandırma

Atıksu arıtım tesislerinde oluşan çamurlar genellikle mekanik susuzlaştırmaya karşı dirençlidirler. Bu nedenle, atıksu çamurları suyunu verme özelliğini ve mekanik susuzlaştırma teçhizatının verimini arttırmak amacıyla kimyasal madde ilave edilerek şartlandırılırlar (Christensen ve diğ. , 1993; Novak ve diğ., 1988; Wu ve diğ., 2003a).

Genellikle çamur şartlandırma işlemi 3 mekanizma ile olmaktadır. Bunlar: yüklü çamur partiküllerinin nötralizasyonu, yumak içerisinde dağılmış partiküllerin birbirine bağlanması ve yardımcı faktörlerdir (Eckenfelder ve Santhanam, 1981).

Kimyasal şartlandırma, adsorplanan suyun açığa çıkması ve katı maddelerin pıhtılaştırılması ve yumaklaşması esasına dayanır (Filibeli, 1996). Kimyasal şartlandırma için genellikle organik polimerler ve inorganik koagülanlar kullanılmaktadır (Reynolds, 1982).

Kimyasal şartlandırma için kullanılan inorganik kimyasal maddeler $FeCl_3$, $FeSO_4$, $FeClSO_4$ ve $Al_2(SO_4)_3$ gibi katyonik metal tuzlarıdır. Fe^{+3} bugüne kadar biyolojik arıtma tesisi çamurlarının şartlandırılmasında en yaygın şekilde kullanılan tuzdur. Demir tuzları çift yönlü etkiye sahiptirler :

- Çamur partikülleri ile zıt yüklü olmaları nedeniyle etkili pıhtılaşma sağlar.

- Oluşan sulu hidroksit, $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6(\text{OH})_3]_n$, bileşiklerinin polimer etkisi ile aynı zamanda iyi bir yumaklaşma da gerçekleşir.

Organik çamurların şartlandırılmasında demir tuzu+kireç kullanımı yaygındır. Sulu hidroksit çamurlarının şartlandırılmasında ise genellikle kireç ilavesi yeterlidir. İnorganik kimyasal dozları çamur tipi ve istenen katı madde yüzdesine göre değişir. İnorganik kimyasal şartlandırıcı kullanımı çamur hacmini artırır (Öztürk, 1999).

Arıtım proseslerinde kullanılan sentetik organik polimerler (anyonik, katyonik, non-iyonik) uzun zincirli küçük alt birimler veya monomerlerden oluşurlar ve genellikle polielektrolit olarak adlandırılırlar (Kerri, 1996). Polielektrolitler polimer zincirindeki yük türüne göre sınıflandırılırlar. Negatif yüklü polimerler anyonik, pozitif yüklü polimerler katyonik ve hiçbir serbest elektriksel yük taşımayan polimerler non-iyonik polielektrolitler olarak adlandırılırlar (Kerri ve diğ., 1995).

Anyonik polimerlerin en yaygın tipleri; poliakrilik asit, hidrolize poliakrilamid, polisitrin sülfonattır. Katyonik polimerlere ise dimetil amonyum örnek olarak verilebilir (Filibeli, 1996).

Katyonik polimerler negatif yüklü partiküller üzerine adsorplanma ve yüklerini nötralleştirme kabiliyetine sahiptirler. Ayrıca bu polimerler partikülleri toplayan partiküller arası bir bağ da oluşturabilirler (Kerri, 1996). Anyonik ve non-iyonik polimerler genellikle partiküller arasında köprü kurarak flok oluşturmak için kullanılırlar (Zeta-meter, 1993).

Organik polimer ilavesi ile yapılan şartlandırma işleminin mekanizması aşağıdaki kademelerde gerçekleşir (Filibeli,1996):

1. Çamur partiküllerine polimerin ön adsorpsiyonu,
2. Stabiliği bozulmuş partiküllerin flok haline gelmesi
3. Flok haline gelen çamur partiküllerinin üzerine polimerin tekrar adsorpsiyonu
4. İlave polimerle ilk adsorpsiyon
5. Flokların kırılması ve parçalanması
6. Flok parçaları üzerine polimerin yeniden adsorpsiyonu

Evsel ve endüstriyel atıksuların biyolojik arıtımında oluşan çamur organik çamur olarak tanımlanır ve genellikle çok büyük miktarda negatif yüklü kolloidal madde ihtiva eder. Elektrostatik itmeye bağlı olarak çamur partikülleri sıvı içerisinde homojen bir şekilde dağılırlar ve fazla miktarda su ihtiva ederler. Bu nedenle, şartlandırmada kullanılan hem organik hem de inorganik kimyasallar katyonik yüklüdürler (Watanabe ve diğ., 1999).

Kaynak ve Filibeli (2005) kimyasal şartlandırma işleminin arıtma tesisi çamurlarının su verme kapasitesi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla üç farklı katyonik polimer, bir anyonik polimer ve bir non-iyonik polimer ile jar testini kullanarak çamur örneklerini şartlandırmışlar ve

çalışmalarının sonucunda katyonik polimer ile yapılan şartlandırma işleminin arıtma çamurlarının su verme özelliklerinin geliştirilmesinde önemli rol oynadığını bulmuşlardır.

Birçok atıksu polimerlerin tek başına kullanılması ile arıtılamaz. Bu nedenle, ikinci bir polimer veya inorganik tuz (alüminyum ve demir tuzları) ile birlikte kullanılmaları gerekir (Hammer ve Hammer, 1996).

Kocakulak ve diğ. (2005) alum çamurlarını tekli ve ikili polielektrolitlerle şartlandırarak bu çamurların susuzlaşabilirliğini araştırmışlardır. Araştırma sonunda ikili şartlandırmanın tekli şartlandırmaya göre daha iyi susuzlaşabilirlik sağladığını, daha düşük polielektrolit dozajı ile minimum kapiler emme süresi (CST) değerine ulaştığını ve daha güçlü yumaklar elde edildiğini görmüşlerdir.

Sıvı formdaki kimyasal maddeler daha kolay kullanılır ve ölçülür. Eğer kimyasallar toz durumda ise çözelti hazırlama tanklarına gerek vardır. Bu tanklar en azından bir günlük kimyasal madde gereksinimini karşılayacak hacimde ve korozyona dirençli malzemeden imal edilmiş olmalıdır. Polivinil klorür, polietilen ve lastik malzemeler bu tip tanklar ve asit çözeltilerin taşıyan boru hatları için uygundur (Filibeli,1996).

Proses kontrolündeki en önemli husus kimyasal madde tipi ve miktarının seçilmesidir. Bu tespit genellikle laboratuvar şartlarında yapılır. Belirli bir kimyasal madde tipi seçilmesi esnasında oluşan çamur miktarı ve katı içeriği ile nihai bertaraf metodları göz önünde tutulmalıdır (Kerri, 1996). Kimyasal madde dozları, filtre verimleri ve uygun filtre malzemesinin belirlenmesi için filtre testleri yapılır. Zor susuzlaştırılan çamurların kimyasal madde gereksinimleri daha fazladır ve kuru bir çamur keki elde edilmesi zordur (Metcalf ve Eddy, 1991).

Uygun olmayan şartlandırıcı seçimi ve/veya aşırı dozlama çamurun su verme kapasitesini azaltıcı ve şartlandırıcı maliyetini arttırıcı bir etkiye sahip olabilir. Bu etkenler göz önüne alındığında en uygun şartlandırıcı tipinin ve dozunun belirlenmesi çamur şartlandırma işleminde en önemli faktör olarak görülmektedir (Werle ve Novak, 1984; Christensen ve diğ., 1993; Wu ve diğ., 2003a).

Belirli bir çamurda optimum su verme kapasitesine ulaşmak için kullanılan şartlandırıcının etkisinin tespit edilmesine yönelik olarak kullanılan pek çok laboratuvar testi mevcuttur. Özgül filtre direnci (SRF) ve kapiler emme süresi (CST) en uygun şartlandırıcı ve dozunun belirlenmesi amacıyla kullanılan testlerdir (Eckenfelder ve Santhanam, 1981; Vesilind, 1988; Wu ve diğ., 2003b).

a) Özgül Filtre Direnci (SRF)

Çamurun suyunu verme özelliği çamur özgül direnci bakımından tanımlanabilir (Eckenfelder, 2000). Coakley ve diğ. tarafından geliştirilen özgül filtre direnci (SRF) testi ilk olarak kullanılan çamur karakterizasyon tekniğidir ve meydana gelen bu karakterizasyon parametresi geçirgenlikle ilgilidir (Vesilind, 1988).

Özgül direnç genellikle çamurun filtrelenebilirliğinin belirlenmesinde, şartlandırıcı veriminin değerlendirilmesinde ve uygun dozajın seçilmesinde kullanılır (Rebhun ve diğ., 1989; Novak ve diğ., 1999).

Çamurların filtrasyon hızı Carman, ve Coakley ve Jones tarafından Poiseuille ve Darcy kanunlarına göre formüle edilmiştir:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{PA^2}{\mu(rCV + R_m A)} \dots\dots\dots(1)$$

Burada:

- V: Süzüntü suyunun hacmi, mL
- t: Zaman, sn
- P: Uygulanan basınç, N/m²
- A: Filtre alanı, m²
- μ: Süzüntü suyunun viskozitesi, N.sn/m²
- r: Özgül direnç, m/kg
- C: Süzüntü suyunun birim hacmindeki katı madde ağırlığı, g/L

Filtre malzemesinin başlangıçtaki direnci (R_m) filtre keki tarafından neden olunan dirence kıyasla küçük olduğundan genellikle ihmal edilebilir. Özgül direnç (r) çamurun filtrelenebilirliğinin ölçüsüdür ve kekin birim ağırlığındaki birim viskozitenin süzüntü akımının birim hızını oluşturmak için gerekli basınç farkına eşittir.

Eşitlik (1)'in integrasyonu ve tekrar düzenlenmesi ile;

$$\frac{t}{V} = \left(\frac{\mu r C}{2PA^2} \right) + \left(\frac{\mu R_m}{PA} \right) \dots\dots\dots(2)$$

Eşitlik (2)'den V' ye karşı t/V grafiği çizilirse lineer bir eğri elde edildiği görülür. Özgül direnç bu eğrinin eğiminden hesaplanabilir:

$$r = \frac{2bPA^2}{\mu C} \dots\dots\dots(3)$$

Burada

b: V'ye karşı t/V'nin grafiği çizildiğinde ortaya çıkan eğim

Filtrelenebilirlik partikül boyutu, şekli ve yoğunluğundan ve partikülün elektriksel yükünden etkilenir (Eckenfelder, 2000).

b) Kapiler Emme Süresi (CST)

Gale ve Baskerville 1967 yılında kapiler emme süresi (CST) cihazı adını verdikleri bir cihaz geliştirmişlerdir (Lee ve Hsu 1992;1993;1994). Bu teknik atıksu çamurlarının suyunu verme özelliğinin ölçülmesinde kullanılan basit, hızlı ve pahalı olmayan bir metoddur ve SRF'nin alternatifi olarak tasarlanmıştır. CST testi deneyimli teknisyenler gerektirmeyen ve çamurun suyunu verme özelliğine kimyasal şartlandırıcıların etkisinin değerlendirilmesini sağlayan bir testtir (Vesilind, 1988).

Belli bir hacimdeki çamurun, kapiler basınçla filtre kağıdına emdirilmesi için gereken zamana kılcal emme zamanı adı verilir ve saniye olarak ifade edilir. Kapiler emme zamanı değeri, kabaca çamurun süzülme özelliğinin ve ne kadar kimyasal madde gerektiğinin tahmin edilmesinde yardımcı olur (Kocasoy, 1994).

CST ve SRF birbiri ile ilişkilidir ve uzun kapiler emme süresi yüksek özgül direnç anlamına gelmektedir (Lee ve Hsu 1992;1993;1994).

2.1.2. Isıl İşlem

Isıl işlem basınç altında kısa zaman periyotlarında çamurun ısıtılmasını kapsayan hem şartlandırma hem de stabilizasyon işlemidir. Isıyla arıtma katıları pıhtılaştırmak, jelatimsi yapıyı kırmak ve çamurdaki katı maddelerin su tutma özelliğini azaltmak için kullanılır (Filibeli,1996). Bu işlemde sıcaklık, basınç ve arıtım süresi önemlidir ve genellikle sırasıyla 177-204°C, 250-400 psi (1720-2750 kPa) ve 15-60 dakikadır (Reynolds, 1982).

Çeşitli şartlandırma teknikleri arasında bugüne kadar katı partiküllerin suyunun alınmasındaki en etkin yöntem ısıl işlemdir. İnorganik kimyasallarla gerçekleştirilen kimyasal yumaklaştırma ile de çamur partiküllerindeki bağlı su azaltılmakla birlikte termal şartlandırmadaki seviyeye indirilemez (Öztürk, 1999).

Sonuç olarak; çamur sterilize olur, kokusu gider ve kimyasal madde ilave edilmeksizin vakum filtrelerde veya pres filtrelerde kolayca suyunu verir. Isıl işlem daha çok diğer yollarla şartlandırılması ve stabilizasyonu güç olan biyolojik çamurlara uygulanır (Metcalf ve Eddy, 1991).

Ekipmanın yüksek yatırım maliyeti büyük tesislerde kullanılmasını sınırlandırır ve ayrıca yer sorunu olan tesislerde de kullanımları sınırlıdır (Metcalf ve Eddy, 1991).

2.1.3. Dondurma

Dondurma ve çözme işleminin çamurun suyunu verme özelliğini etkilediği uzun yıllardan beri bilinmektedir (Vesilind ve Martel,1990). Bu işlemde, çamur önce yavaşça dondurulur ve daha sonra donan çamur çözülür. Böylece çamurun stabilizasyonu sağlanır (Filibeli, 1996).

Atıksuların donma/çözülme işlemi ile şartlandırılması; genellikle çamur susuzlaştırma karakteristiklerini önemli ölçüde geliştiren, flok yapısını daha yoğun şekle dönüştüren ve çamurun bağlı su içeriğini azaltan bir fiziksel çamur şartlandırma metodu olarak kabul edilir. Donma ya doğal olarak yada mekanik dondurma prosesleri ile gerçekleştirilir (Aslan ve Şekerdağ, 2005).

Çamurun dondurulması işlemi aşırı enerji gerektirir ve ekonomik açıdan fazla tercih edilen bir sistem değildir (Eckenfelder ve Santhanam, 1981). Ayrıca, böyle sistemler geniş arazi alanı ve önemli çamur depolama teçhizatları gerektirirler (Vesilind ve Martel,1990).

2.1.4. Elutrasyon

Elutrasyon, daha ileri bir şartlandırma işlemi uygulanmadan önce anaerobik olarak çürütülmüş çamurların şartlandırılmasında kullanılan bir yıkama ve seyreltme işlemidir.

Daha sonraki susuzlaştırma işlemi olumsuz etkileyebilecek bileşikler bu işlemle giderilir. Çamur alkalinitesini düşürmesi, bazı kimyasal bileşikleri gidermesi ve çamurun ince katı madde içeriğinin azaltılması bu şartlandırma işleminin avantajlarıdır. Elutrasyon işleminde karşılaşılan temel problem geri devire bağlı olarak arıtma tesisinde ince katı maddelerin birikmesidir. Ayrıca çamurdaki azotu gidererek çamurun gübre değerinin azalmasına da neden olur (Eckenfelder ve Santhanam, 1981).

2.1.5. Radyasyonla Şartlandırma

Çamurun dezenfeksiyonu amacıyla gama ışınlarıyla şartlandırılma işlemidir (Filibeli, 1996). Patojen giderimi (bakteriler, virüsler ve parazitler) ve toksik organiklerin transformasyonu bu yöntemle sağlanır. Radyasyonla şartlandırılan çamurun su verme kapasitesi artar ve çamurun içindeki su muhtevası azalır (Eckenfelder ve Santhanam, 1981). Ancak bu işlemin maliyeti oldukça yüksek olduğu için tercih edilen bir yöntem değildir (Filibeli, 1996).

2.1.6. Biyolojik Şartlandırma

Çamuru stabil hale getirmek için belirli organizmaların çamura ilave edilmesi susuzlaştırma ve/veya nihai bertaraf işleminden önce çamur şartlandırılmasında kullanılabilecek bir metod olarak incelenmiştir.

Ototrofik sülfür oksitleyici bakterilerin aerobik şartlarda çürütülmüş çamura uygulanması çamurun pH'ını düşüren ve susuzlaştırma prosesinin verimini arttıran asitlerin oluşmasını sağlar. Toprak solucanlarıyla şartlandırmanın çamurun suyunu verme özelliğini arttırdığı ve işlenecek çamur miktarını azalttığı gözlenmiştir.

Biyolojik şartlandırma işleminde kullanılacak organizmaların seçimi sırasında ortama uyum sağlayabilme özellikleri araştırılmalı, çamur tipi ve bileşimi tespit edilmeli ve çamur ön arıtımının muhtemel kronik toksik etkileri değerlendirilmelidir (Eckenfelder ve Santhanam, 1981).

2.2. Şartlandırıcı Verimini Etkileyen Faktörler

Şartlandırma verimini etkileyen başlıca faktörler pH, sıcaklık, katı madde konsantrasyonu, çamur kaynağı, koagülant tipi, şartlandırma işlemi öncesi çamura uygulanan işlemler, şartlandırıcı kullanım sırası ve karıştırma işlemidir.

İlk çamur, atık aktif çamur ve çürütülmüş çamur gibi çamur kaynakları gerekli olan muhtemel şartlandırıcı dozaj aralığının belirlenmesinde önemlidir. Katı madde konsantrasyonları şartlandırıcı kimyasalların dozajını ve dağılımını etkileyecektir. pH özellikle inorganik şartlandırıcıların verimini etkileyebilir. Kireç susuzlaştırma işleminde yüksek pH'da kullanıldığında güçlü amonyak kokusu ve kireç ayarlama problemleri meydana çıkar (Metcalf ve Eddy, 1991). Chen ve diğ. (2001; 2004) sülfürik asit ve yüzey aktif maddelerin çamurdaki hücre dışı polimere, çamurun susuzlaştırma ve çökelme kapasitesine yaptığı etkiyi incelemişlerdir. Çalışmaların sonunda düşük pH değerlerinde çamurda bulunan mikroorganizmaların yüzey özelliklerinin dolayısıyla hücre dışı polimerin yapısının bozulduğunu ve çamurun su içeriğinin % 73,99'a kadar düşürülebildiği için santrifüjleme ile susuzlaştırma veriminin arttığı bulunmuştur.

Şartlandırma işlemine girmeden önce çamura uygulanan yöntemler ve depolama özellikleri şartlandırıcı niteliklerini etkiler. Örneğin yüksek hızlı biyolojik prosesler ve sonra graviteli yoğunlaştırıcı sonrası, çamur yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğundan ve biyolojik olarak parçalanma eğilim olduğundan dolayı, genellikle büyük miktarda şartlandırıcı gereksinimi vardır (Filibeli, 1996).

Çamur ve koagülantın homojen bir şekilde karıştırılması şartlandırmanın tam yapılması açısından önemlidir. Karıştırma işlemi flokları kırmadan yapılmalıdır (Metcalf ve Eddy, 1991). Uygulanacak karıştırma için gerekli enerji çamurun yapısına, kullanılan şartlandırıcının cinsine ve dozajına, karışım zamanına, karıştırıcı cinsine ve sonraki arıtım prosesine bağlıdır (Filibeli,1996). Yetersiz karıştırma işlemi çarpışmaların etkisiz ve flok oluşumunun zayıf olmasına ve aşırı karıştırma işlemi ise yumaklaşmış olan partiküllerin birbirlerinden ayrılıp parçalanmalarına neden olabilir (Kerri, 1996)

İki veya daha fazla şartlandırıcı kullanıldığı zaman, şartlandırıcılar kullanım sırası şartlandırıcı verimini etkileyen bir diğer faktördür ve kullanım sırası en iyi şekilde deneme yanılma yöntemi ile belirlenir. Tipik bir örnek verecek olursak, demir(III)klorür ve kireç birlikte kullanıldığında öncelikle demir(III)klorür ilave edilir. Çift polimerli sistemlerde katyonik

polimerler ilave edilmeden önce az bir miktarda anyonik polimer ilave edilir. Anyonik-katyonik-anyonik, katyonik-anyonik ve katyonik-anyonik-katyonik kullanım sıralarının da etkili olduğu bulunmuştur (Eckenfelder ve Santhanam, 1981).

Kocakulak ve diğ. (2005) alum çamuru kullanarak yaptıkları ikili şartlandırma işleminde anyonik polielektrolit üzerine katyonik polielektrolit ilave edilerek elde edilen susuzlaşabilirliğin katyonik polielektrolit üzerine anyonik polielektrolit ilave edilerek elde edilen susuzlaşabilirlikten daha iyi olduğunu gözlemişlerdir.

Ayrıca şartlandırma için anyonik ve iyonik olmayan polielektrolit kullanıldığı zaman çamur iyonik olmayan polielektrolitten önce katyonik polielektrolit ile şartlandırıldığında daha iyi bir susuzlaştırma verimi sağlandığı bulunmuştur (Lee ve Liu, 2000; 2001).

2.3. Çamurun Susuzlaştırılması

Arıtma tesisinden çıkan çamurun kolayca uzaklaştırılabilmesi için sıvı halinden çıkıp katı hale dönmesi gerekmektedir. Bu nedenle çamur içerdiği su miktarının azaltılması için değişik işlemlere tabi tutulur. Arıtma çamurları, genellikle yoğunlaştırma işlemi sonrasında susuzlaştırma işlemine tabi tutulurlar. Susuzlaştırma öncelikle son arıtma, uzaklaştırma veya faydalı kullanım proseslerinin yatırım ve işletme maliyetini azaltmak için yapılır (Metcalf ve Eddy, 1991). Bununla birlikte çamur suyunu azaltmada kullanılan fiziksel (mekanik) bir işlem olan susuzlaştırma aşağıdaki nedenlerden dolayı yapılır (Öztürk, 1999):

- Çamurun su muhtevası azaldığında hacmi de azalacağından nihai uzaklaştırma sahasına nakil masrafı azalır.
- Kürek, kepçe, nakil bandı, traktör gibi vasıtalarla taşınabildiğinden sıvı haldeki çamura göre daha kolay nakledilebilir.
- Yakma bahis mevzuu olduğu zaman, su muhtevası azaldığında yakılması daha da kolaylaşır.
- Çamurun tamamen kokusuz olmasını ve ayrışmamasını temin eder.
- Çamurun nihai olarak araziye serilmesi durumunda, yeraltına sızma sonucu yer altı suyunun kirlenmesi önlenir.

Atıksu arıtım tesislerinin işletilmesinde çamurun suyunun alınması ve bertaraf edilmesi, önemli bir ekonomik faktör olup, genellikle çok güç yerine getirilmektedir (Mikkelsen ve Keiding, 2002; Chen vd., 1997). Tek başına çamur susuzlaştırma yıllık işletme masrafının %30-50'sini oluşturmaktadır. Buna ilaveten aşağıdaki faktörler ele alınarak optimum çamur bertarafı belirlenebilir:

- Bertaraf için düşük çamur kütlesi (susuzlaştırılmış çamur kekinin yüksek kuru madde içeriği ve düşük katı kütlesi vasıtasıyla),

- Yüksek susuzlaştırma hızı,
- Düşük şartlandırıcı dozu (Mikkelsen ve Keiding, 2002).

Çamurun suyunun alınmasında çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bazı durumlarda, katı maddeleri susuzlaştırmak için doğal buharlaşma ve sızma yöntemleri kullanılır. Mekanik su alma teçhizatları çamuru daha hızlı şekilde susuzlaştırma için mekanik olarak yardımcı yollar kullanılır. Bu fiziksel yollar, filtrasyon, donma, kapiler emme, vakum uygulama, santrifüjle ayırma ve sıkıştırma.

Mevcut susuzlaştırma prosesleri vakum filtreler, santrifüjler, filtre presler, bantlı filtre presler, kurutma yatakları ve lagünlerdir (Metcalf ve Eddy, 1991; Jin ve diğ., 2004). Bununla birlikte, son yıllarda geliştirilen tanelendirme/yoğunlaştırma sistemi de arıtma çamurunu susuzlaştırmak için kullanılmaktadır (Watanabe ve Tanaka, 1999).

2.3.1. Vakum Filtrasyon

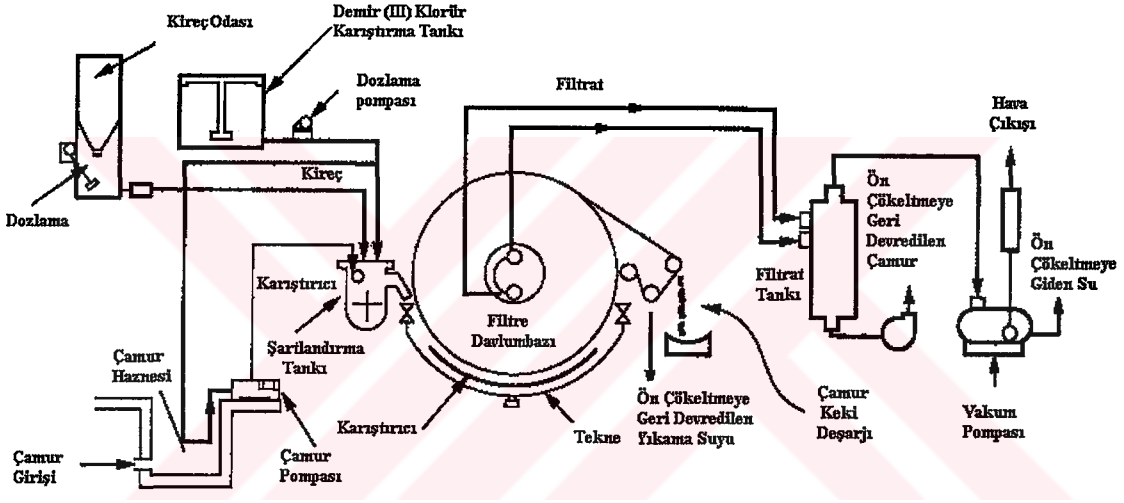
Vakum filtre çamurun mekanik olarak susuzlaştırılmasında en yaygın kullanılan metodlardan biridir (Eckenfelder, 2000). Döner vakum filtreler ham ve çürütülmüş çamurların suyunun alınmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip filtrelerin tasarımı şartlandırılmış çamurun özellikleri, kurutma süresi, viskozite, uygulanan vakum, çamur kekinin özgül direnci, filtre bezi tipi ve filtre verimi gibi faktörler önem taşımaktadır (Öztürk, 1999).

Vakum filtre susuzlaştırılacak çamurun bulunduğu bir tekneden sürekli olarak geçen döner bir tamburdan ibarettir. Bu silindirik tambur doğal veya sentetik lifli bez, sarmal yay veya tel örgülü bezden oluşabilen bir filtre malzemesine sahiptir ve tekne içerisine yaklaşık %20-40 batık durumdadır (Kerri ve diğ., 1995). Tambur birkaç bölgeden oluşmaktadır. Her bölge otomatik olarak vakum altına girer. Tambur çamur haznesi içinden geçerken vakum uygulanır ve filtre malzemesi üzerinde çamur tabakası oluşur. Bu bölge çamur haznesi içine tekrar girinceye kadar vakum korunur. Bu noktada çamur keki otomatik olarak sıyrılır (Filibeli, 1996). Ayrı vakum-dren hatları her bölgeyi tambur ekseninde bulunan ve tamburla birlikte dönen vanaya bağlar. Bu vana, filtre devrinin çeşitli fazlarını kontrol eder ve süzüntü suyunun tamburdan atılmasını sağlar. Ayrıca tambur dönerken kek oluşumu, kekin susuzlaştırılmasını, kekin sıyrılması fazlarının gerçekleşmesini sağlar (Metcalf ve Eddy, 1991). Vakum filtrelerin yüzey alanı 5 ile 60 m² arasında değişir ve filtre bezi normalde filtre üreticisi firmalardan sağlanır (Öztürk, 1999).

Vakum filtre sistemi genellikle çamur besleme pompası, kimyasal besleme ekipmanı, çamur şartlandırma tankı, filtre davlumbaz, çamur keki taşıyıcısı veya sıyrıcısı, vakum sistemi ve süzüntü uzaklaştırma sisteminden oluşur. Tipik bir vakum filtrasyon sistemi Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

Vakum filtre sisteminde elde edilen sonuçlar filtrelenecek çamurun özellikleri ile oldukça değişmektedir. Çamurun katı madde içeriği diğer parametreler arasında çok önemli bir yere sahiptir. Filtrasyondan önce çamurun kimyasal şartlandırılması katı içeriğini artırmak, katı maddelerin sızmasını azaltmak ve susuzlaştırma özelliklerini iyileştirmek için yapılır. Filtrasyon için optimum katı içeriği yaklaşık %6-8'dir. Daha yüksek katı içeriği çamuru susuzlaştırmak için şartlandırma ve dağılımı zorlaştırır; daha düşük katı içeriği vakum filtrelerin gerekenden daha fazla kullanılmasına neden olur .

Mekanik su giderme tekniklerinin en eskisi olan vakum filtrasyonu bugün çok sınırlı bir uygulamaya sahiptir. Vakum filtrasyonunun çok sınırlı bir uygulamaya sahip olmasının nedenlerinin başında yüksek işletme ve bakım masrafı, kimyasal madde ihtiyacı ve sistemin kompleksliğidir (Metcalf ve Eddy, 1991).



Şekil 2.1. Tipik Bir Vakum Filtre Sistemine Ait Akım Diyagramı (Metcalf ve Eddy, 1991)

2.3.2. Santrifüjleme

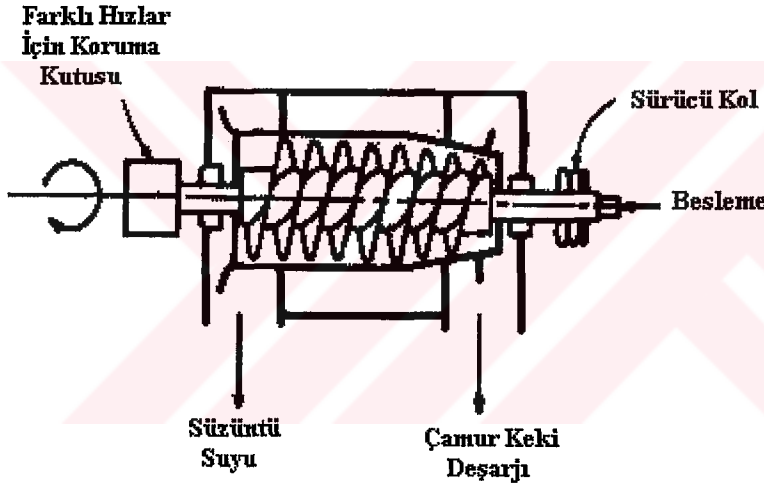
Santrifüjleme işleminde merkezkaç kuvvet etkisi altında çamur katı maddeleri çamur suyundan ayrılır. Çamur suyu savaklanarak sistemden uzaklaştırılır (Filibeli, 1996). Farklı yoğunluktaki sıvıları ayırmak, çamuru yoğunlaştırmak veya katı maddeleri uzaklaştırmak için santrifüjleme prosesi endüstride çok kullanılmaktadır. Çamur susuzlaştırma sepet tipi santrifüjler (dönen kaplı) ve helezonik milli santrifüjler (burgu pres) ile yapılabilir (Metcalf ve Eddy, 1991).

Sepet tipi santrifüjler dik eksen boyunca dönen ve kesikli olarak işletilen bir kaptan ibarettir (Kerri ve diğ., 1995). Sıvı haldeki çamur düşey olarak monte edilmiş olan silindirik hazne içerisine gönderilir. Katı maddeler silindirik haznenin iç çeperlerinde birikir, çamur suyu

ise ayrılır (Filibeli, 1996). Bu sistemde köpük oluşur ve oluşan bu köpüğün hacmi kap hacminin yaklaşık %5-15'idir. Köpük atıksu arıtma sisteminin başına geri devredilir.

Sepet tipi santrifüjler bilhassa küçük tesislerde susuzlaştırma amacıyla kullanılmaktadır. Bu tip santrifüjler hiçbir kimyasal madde kullanmadan %90'ın üstünde katı tutma hızıyla atık aktif çamuru yoğunlaştırmak ve susuzlaştırmak için kullanılabilir (Metcalf ve Eddy, 1991).

Helezonik milli santrifüjler en gelişmiş santrifüjlerdir. Bu tip santrifüjlerin işletilmesi süreklidir (Filibeli, 1996). Bu santrifüjler yatay bir eksen boyunca dönen bir tamburdan oluşmaktadır (Kerri ve diğ., 1995). Girişten çıkışa doğru kesiti daralan bir tambur ve onun içinde aynı şekilde burguları gittikçe küçülen helezonik bir mil vardır. Baştan verilen çamur kesit daralması sonucu sıkıştırılır ve çıkışta yoğun bir kek şeklinde çıkar. Çıkan çamur kekinin su içeriği %70-80 civarındadır (Metcalf ve Eddy, 1991). Helezonik milli santrifüjler Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Helezonik Milli Santrifüjler (Metcalf ve Eddy, 1991)

2.3.3. Filtre Presler

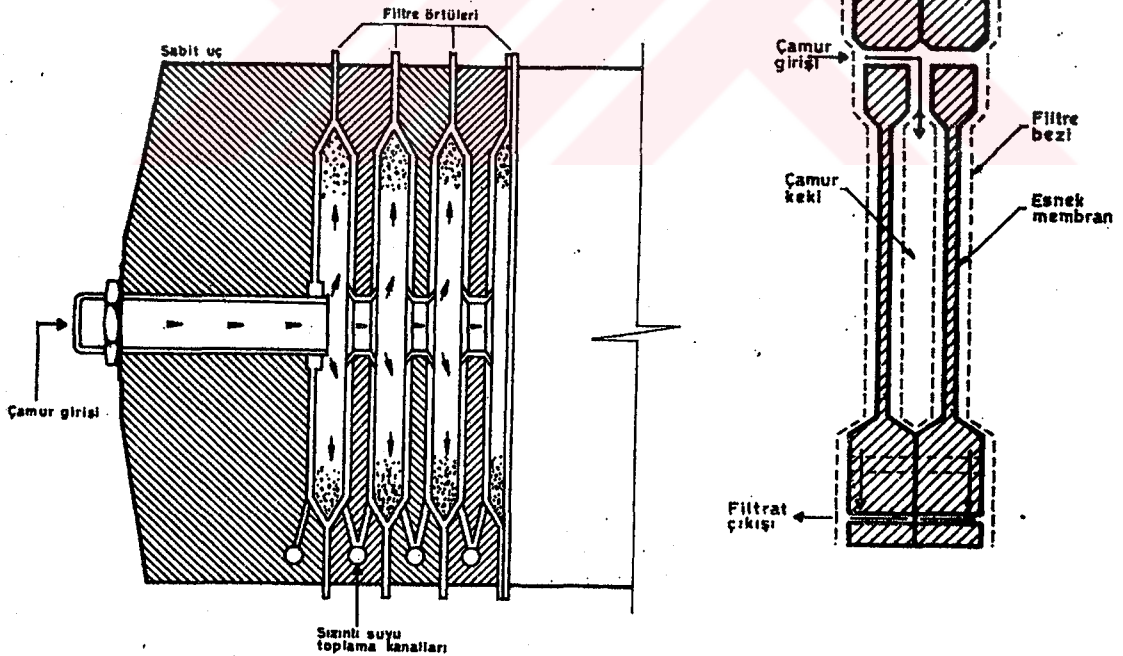
Filtre preste yüksek basınç altında çamurdan suya uygulanan kuvvet vasıtasıyla susuzlaştırma gerçekleştirilir. Kesikli çalışmasına rağmen arıtma çamurlarının suyunun alınmasında en yaygın kullanılan yöntemdir.

Bu filtrelerin avantajları; yüksek konsantrasyonda kek sağlanması, filtrelenen çamur suyunun berraklığı, yüksek katı tutma kapasitesi, kimyasal madde sarfiyatıdır (Metcalf ve Eddy, 1991) Dezavantajları; mekanik olarak kompleks yapıya sahip olması, yüksek kimyasal madde maliyeti, yüksek işletme maliyeti ve filtre kumaşı ömrünün sınırlı olmasıdır. Değişik filtre pres

tipleri çamuru susuzlaştırmak için kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan iki tipi sabit hacimli ve değişken hacimli filtre preslerdir (Şekil 2.3) (Filibeli, 1996).

a) Sabit Hacimli Filtre Presler :

Sabit hacimli plakalı filtre presler, sabit ve hareket edebilen çerçeve üzerine düşey olarak yüz yüze gelecek şekilde yerleştirilmiş ve her iki yüzünde boşluklar bulunan dikdörtgen şekilli plakalardan oluşmuştur. Girintili şekilde bir seri dikdörtgen basınca maruz plakalardan ibarettir. Bu plakaların her iki yüzü girintilidir ve düşey istikamette yüz yüze gelecek şekilde sabit ve hareketli bir baş kısmıyla bir yapı oluştururlar. Filtre bezi her bir plakanın üzerine sarılır. Süzütünün akışını sağlamak üzere plakaların yüzeyinde çizikler bulunur. Plakalar arasındaki sızdırmazlık hidrolik presle sağlanır (Filibeli, 1996). İşletmede kimyasal olarak şartlandırılmış çamur plakalar arasındaki boşluğa pompalanır ve $690-1550 \text{ kN/m}^2$ 'lik basınç uygulanır (1-3 saat sürdürülür). Daha sonra plakalar ayrılır ve çamur uzaklaştırılır. Süzüntü normalde arıtma tesisinin başına geri devredilir. Çamur keki yoğunluğu yaklaşık olarak 25-38 mm arasında değişir ve nem içeriği %48-70 arasında değişir. Filtrasyon devir süresi 2-5 saat arasında değişir ve (1) presi doldurmak, (2) basınç altındaki presi korumak, (3) presi açmak, (4) keki yıkamak ve deşarj etmek ve (5) presi kapatmak için gerekli süreyi kapsar (Metcalf ve Eddy, 1991). Sabit hacimli filtre presin boyuna kesiti Şekil 2.3a'da gösterilmektedir.



a) Sabit Hacimli Filtre Presin Boyuna Kesiti

b) Değişken Hacimli Filtre Presin Kesiti

Şekil 2.3. Filtre Pres Tipleri (Metcalf ve Eddy, 1991)

b) Değişken Hacimli Filtre Presler

Atıksu çamurunun susuzlaştırılması için kullanılan başka bir filtre pres tipi de genellikle “diyafram pres” olarak adlandırılan değişken hacimli filtre preslerdir. Şekil 2.3b’de gösterildiği gibi bu filtre pres tipi lastik diyaframın filtre malzemesi arkasına yerleşik durumda olması dışında sabit hacimli prese benzemektedir. Lastik diyafram nihai sıkıştırma basıncını meydana getirmek için genleşir, böylece sıkışma kademesi boyunca kek hacmi azalır. Genellikle presi doldurmak için 10-20 dakika gerekir ve 15-30 dakikalık sabit basınç istenen katı içeriğine keki susuzlaştırmak için gereklidir. Değişken hacimli presler iyi bir sonuçla çok çeşitli çamurları bertaraf edebilirler fakat fazla bakım gereklidir (Metcalf ve Eddy, 1991).

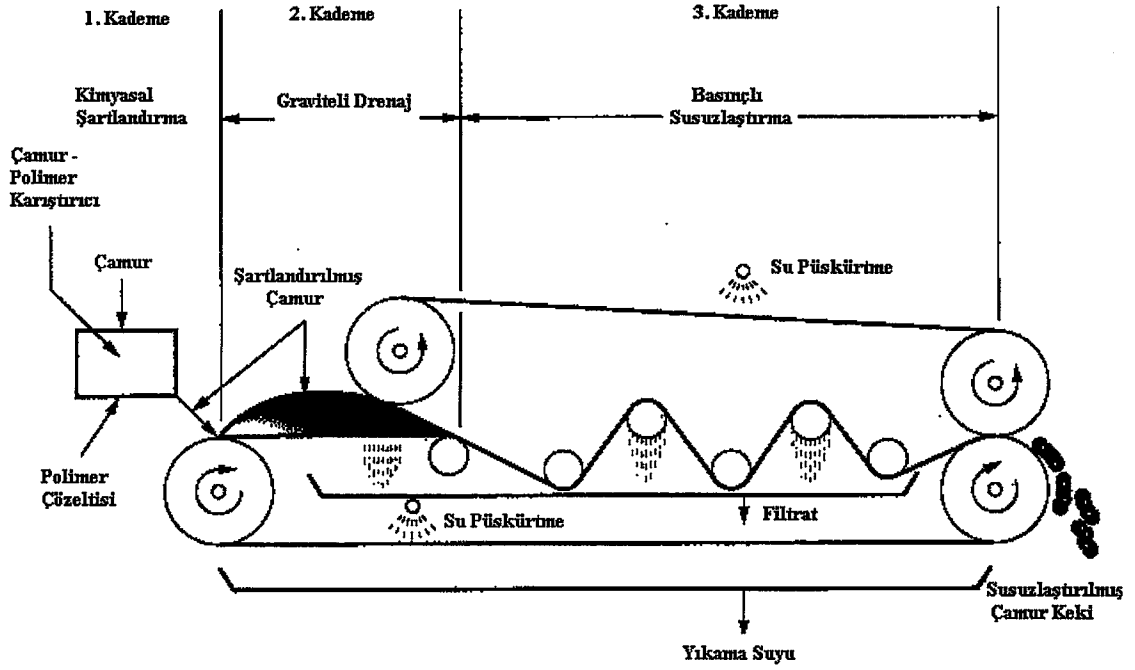
2.3.4. Bantlı Filtre Presler

Bantlı filtre presler çalışma prensibi oldukça basit olan sürekli beslemeli mekanik su alma düzenekleridir (Metcalf ve Eddy, 1991). Bu teçhizat evsel ve endüstriyel çamurların susuzlaştırılmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Eckenfelder, 2000).

Kimyasal şartlandırma, graviteli drenaj ve çamur suyunu almak için mekanik olarak basınç uygulanması kademelerinden oluşmaktadır (Şekil 2.4) (Filibeli,1996). Birçok bantlı filtre pres tipinde, şartlandırılan çamur ilk olarak yoğunlaştırmanın meydana geldiği graviteli drenaj bölümünde ortaya çıkar. Bu bölümde serbest suyun büyük bir bölümü graviteyle çamurdan uzaklaştırılır. Bazı ünitelerde bu bölüm drenajı artıran ve kokuları azaltmaya yardımcı olabilen vakum yardımı ile sağlanır. Graviteli drenajı takiben basınç çamurun karşılıklı gözenekli kumaş bantlar arasında sıkıştırıldığı düşük basınçlı bölümde uygulanır. Bazı ünitelerde düşük basınçlı bölümü çamurun bir dizi silindirden geçen bantlarla kesme kuvvetlerine maruz bırakıldığı yüksek basınçlı bölüm takip eder. Böylece sıkıştırma ve kesme kuvvetleri çamurdan fazla su miktarının tahliye edilmesine neden olurlar. Nihai olarak susuzlaştırılan çamur keki kazıyıcı bıçaklarla bantlardan uzaklaştırılır (Metcalf ve Eddy, 1991).

Filtre bant baş kısmı geri dönmeden önce yüksek basınçlı spreyley vasıtasıyla yıkanır. Bantlı filtre preslerin kullanılması halinde, çamuru şartlandırmak amacıyla sentetik organik polimerler kullanılabilir (Eckenfelder ve diğ., 1986).

Bantlı filtre preslerin verimini etkileyen başlıca faktörler çamur tipi, şartlandırma, bant gerilimi veya basıncı, bant hızı, hidrolik yük ve bant tipidir (Kerri ve diğ., 1995).



Şekil 2.4. Bantlı Pres Filtrenin Kademeleri (Metcalf ve Eddy, 1991)

2.3.5. Çamur Kurutma Yatakları

Çamurun suyunu almak için kullanılan en eski yöntemlerden birisidir. Genellikle çürümüş çamurların suyunu almak için çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Eckenfelder ve Santhanam, 1981).

Dört farklı tipte çamur kurutma yatağı kullanılmaktadır. Bunlar klasik kurutma yatakları, kaplamalı tip kurutma yatakları, sentetik malzemeli kurutma yatakları ve vakumlu kurutma yataklarıdır.

Klasik tipte kum yataklı çamur kurutma yataklarının ekonomik olarak kullanılmakta, genellikle küçük ve orta büyüklükteki yerleşim birimleri için sınırlıdır. 20 000'nin üzerinde nüfusu olan kentler için, alternatif çamur su alma yöntemleri düşünülmelidir. Büyük yerleşim birimlerinde ilk yatırım maliyeti, çamur uzaklaştırma maliyeti ve değiştirilen kumun maliyeti ve büyük alan gereksinimi, kurutma yataklarının kullanımını sınırlayan etkenlerdir.

Kum yataklı kurutma yataklarına alternatif olarak iki farklı tipte kaplamalı tip kurutma yatağı kullanılmaktadır. Drenaj tipi yatakların fonksiyonu esas itibariyle klasik kurutma yataklarına benzemektedir. Drenaj suyu taban drenajı ile toplanır, fakat çamur öne ve arkaya hareketli sıyrıcılar vasıtasıyla toplanır. Bu tip yataklar normal olarak dikdörtgen kesitli, 6-15 m genişlikte ve 21-46 m uzunlukta yapılıdır. Dekantasyon (çökeltmeli) tipi yataklar ise oldukça yeni bir uygulamadır ve ılık, kurak ve yarı kurak iklimler için avantajlıdır. Bu tip yataklarda;

1) Toprak çimento karışımı kaplama malzemesi, 2) Çamur suyunun dekantasyonu için drenaj borusu, 3) Kurutma yatağının merkezinde çamur besleme borusu bulunur.

Sentetik malzemeli kurutma yatakları paslanmaz çelik tel örgü veya yüksek yoğunluklu poliüretan gibi yapay malzemelerin kullanıldığı kurutma yatağı tasarımları son yıllarda geliştirilmiştir. Çamur keki oluşturmak için kullanılan temel iki mekanizma drenaj ve buharlaşmadır.

Vakumlu kurutma yatakları, çamurun suyunu alma ve kurutmayı hızlandırmak için kullanılan bir yöntemdir. Suyunu alma ve kurutma işlemleri, gözenekli filtre plaklarının alt kısmına vakum uygulamak suretiyle sağlanır.

Çamur kurutma yataklarının en önemli avantajları maliyetinin düşük olması, işletilmesi için özel bir itina gerektirmemesi ve elde edilen çamur kekinin katı madde içeriğinin yüksek oluşudur. Kurutma işleminden sonra da nihai bertaraf amacıyla düzenli depolama sahalarına gönderilir veya tarımsal amaçlı gübre olarak toprakta kullanılır (Filibeli, 1996).

Çamur kurutma yataklarının projelendirilmesi, kullanımı ve verimini etkileyen faktörler çamur tipi, şartlandırma işlemi, iklim şartları, çamur özellikleri, çamur tatbik hızı ve derinliğidir (Eckenfelder ve diğ., 1986; Kerri ve diğ., 1995).

İklim şartları en önemlisidir. Çöktürme hızı ve miktarı, güneş ışığı, hava sıcaklığı, nispi nem ve rüzgar hızı kurutma işlemi önemli ölçüde etkiler. Genellikle yüksek sıcaklık ve yüksek rüzgar hızı kurutmayı artırır, yüksek nispi nem ve çöktürme ise kurutmayı engeller (Eckenfelder ve diğ., 1986). Kum yatakları yağmur, koku ve böceklerden kurutma yataklarını korumak için cam veya başka materyallerle kapatılabilir (Eckenfelder ve Santhanam, 1981).

2.3.6. Çamur Lagünleri

Kurutma lagünleri çürük çamurların suyunu almak için kurutma yataklarının yerine kullanılabilir. Lagünler koku ve istenmeyen durumlardan dolayı arıtılmamış çamurlar ve kireç çamurlarının susuzlaştırılmasında uygun değildir (Meltcalf ve Eddy, 1991).

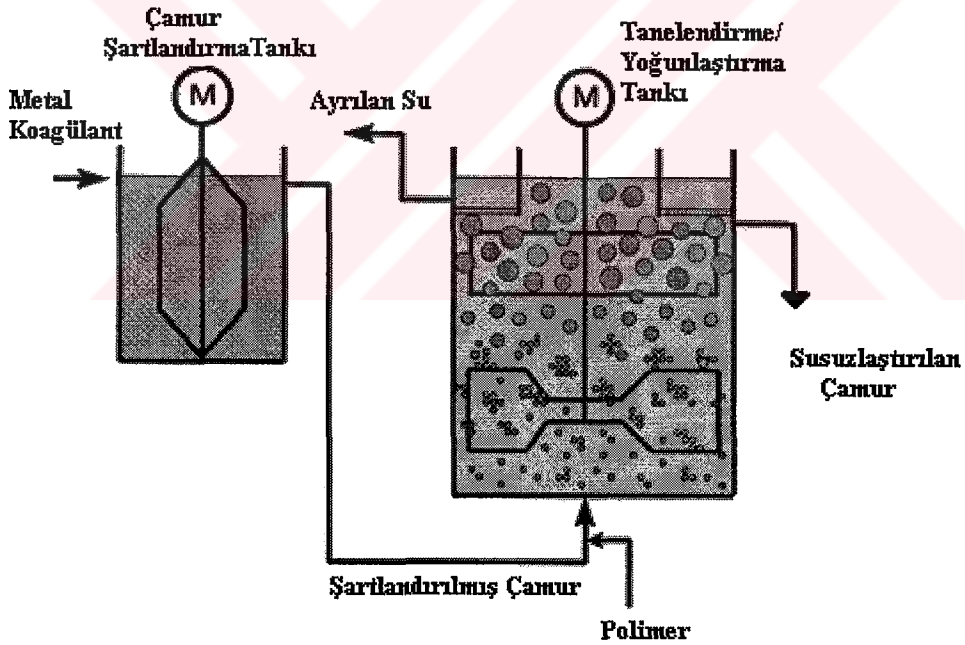
Lagünlerdeki çamur susuzlaştırma işleminin temel mekanizması buharlaşmadır (Eckenfelder ve Santhanam, 1981). Bu nedenle , lagünler buharlaşma hızı yüksek olan bölgelerde yaygın olarak kullanılırlar. Taban drenajı ve sızma ile susuzlaştırma, çevre mevzuatındaki sıkı standartlarla sınırlandırılmıştır. Lagün bölgesinde içme suyu amacıyla kullanılan akifer olması durumunda lagün tabanının sızdırmazlığının sağlanması gerekir. Çamur derinliği 0.75-1.25 m arasındadır. Çamur tipik olarak 18 ay lagüne pompalanır ve sonra lagün 6 ay dinlenmeye bırakılır. Minimum iki ünite yapılması esastır, böylece temizleme esnasında depolama işlemi de sürdürülebilir (Filibeli, 1996).

Arazinin ucuz olduğu basit, düşük maliyetli bir çamur susuzlaştırma sistemidir. Kurutma lagünlerinde çamur kum yataklarında olduğu gibi periyodik olarak uzaklaştırılır ve alana yeniden doldurulur. Çamurlar eğer gerekli ise kurutma lagünlerinde susuzlaştırılmadan önce koku problemini azaltmak için stabilize edilir. Lagünlerdeki koku problemleri genellikle kum yataklarındakinden daha ciddidir.

Kurutma lagün projelendirilmesini etkileyen faktörler iklim, yer altı geçirgenliği, arzu edilen yükleme hızları ve çamur özellikleridir. Buharlaşma bir lagünden su uzaklaştırmak için temel mekanizmadır (Eckenfelder ve Santhanam, 1981).

2.3.7. Tanelendirme/Yoğunlaştırma Sistemi ile Susuzlaştırma

Atıksu arıtma tesislerinde oluşan atıksu çamurları yüksek miktarda organik madde ve su ihtiva ettikleri için susuzlaştırma işlemlerinde sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunları azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak için son yıllarda yeni bir yöntem olan tanelendirme/yoğunlaştırma sistemi geliştirilmiştir. Tanelendirme/yoğunlaştırma sistemi şartlandırma tankı ve tanelendirme/yoğunlaştırma tankından oluşmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Tanelendirme/Yoğunlaştırma Sisteminin Akım Şeması (Watanabe ve Tanaka, 1999)

Organik çamur partikülleri mikrobiyal metabolizma tarafından üretilen protein, nükleik asit, polisakkarit vs.den oluşan makro-moleküllere bağlı olarak genellikle negatif yüklü, çok hidrofilik ve yüksek su içeriğine sahiptirler. Mekanik olarak güçlü, büyük floklar oluşturmak için ilk olarak yükü nötralize etmek ve katyonik bir madde ile makro moleküllerin yapısını bozmak gereklidir. Bu nedenle, bu sistemde çamur öncelikle bir inorganik koagülant verilen ve

çamur partiküllerinin yüzey yükünün nötrale edilmesi için karıştırılan çamur şartlandırma tankına yönlendirilir. Alüminyum veya demir tuzlarının çamur yükünün nötrale edilmesinde çok etkili olduğu görülmüştür. Halen küçük boyuttaki çamur partiküllerinden oluşan şartlandırılmış çamur çamurun tanelendirilmesi için polimer ilave edilen tanelendirme/yoğunlaştırma tankına gönderilir. Bu tankta çamur partikülleri ve polimer molekülleri arasında uygun bir bağ meydana getirmek için karıştırma işlemi gereklidir. Bu karıştırma işlemi iki tip karıştırıcı ile gerçekleştirilir. Karıştırıcılardan biri tankın dibine yakın yerleştirilmiştir ve kürek biçimlidir, diğeri ise üst kısımda yassı levha şeklindedir. Partiküllerin büyümesi için gerekli topaklanma işlemi tank boyunca hem yatay hem de düşey çevrimle meydana gelir. Düşey çevrimin tankın dibine yerleştirilmiş kürek biçimli karıştırıcıyla, yatay çevrimin ise üst kısımdaki yassı levha şeklindeki karıştırıcı ile sağlandığı bulunmuştur. Ayrıca, aynı tank içerisine özel olarak yerleştirilmiş su ayırıcı bir kanal vasıtasıyla işlem sırasında çamurdan ayrılan su uzaklaştırılır. Sonuçta düşük nem içeriğine ve yüksek mekanik kuvvete sahip çamur taneleri meydana gelir (Watanabe ve Tanaka, 1999; 2002).



3. MATERYAL VE METOD

3.1. Numune Alma ve Karakterizasyon Çalışması

Bu çalışmada kullanılan çamur numuneleri Elazığ Evsel Atıksu Arıtma Tesisinin son çökeltim havuzunun geri devir hattından alınmıştır. Öncelikle alınan evsel atıksu arıtma çamurunun TKM, AKM, UKM, pH, ÇHİ ve sıcaklık gibi özellikleri incelenmiştir. Daha sonra optimum susuzlaştırma verimini verecek en uygun pH belirlenmiştir. En uygun pH tanelendirme/yoğunlaştırma sisteminden geçirilmiş çamurun en düşük su içeriği belirlenerek bulunmuştur. En uygun pH belirlendikten sonra susuzlaştırma çalışmalarına geçilmiştir.

3.2. Yapılan Analizler ve Analiz Metotları

Çamur numunelerinin pH'ı ORION marka pH-metre ile çamur-hava ara yüzeyinden 2 cm aşağıya elektrot daldırılarak ölçülmüştür. pH'ın ayarlanması için % 98 derişik H₂SO₄ kullanılmıştır. Ham çamurun TKM, AKM, UKM, ÇHİ analizleri standart metotlara göre yapılmıştır (APHA, AWWA, 1989). Çamur şartlandırma ve susuzlaştırma çalışmalarında ise kapiler emme süresi, özgül filtre direnci ve filtrasyon süresi analizleri yapılmıştır.

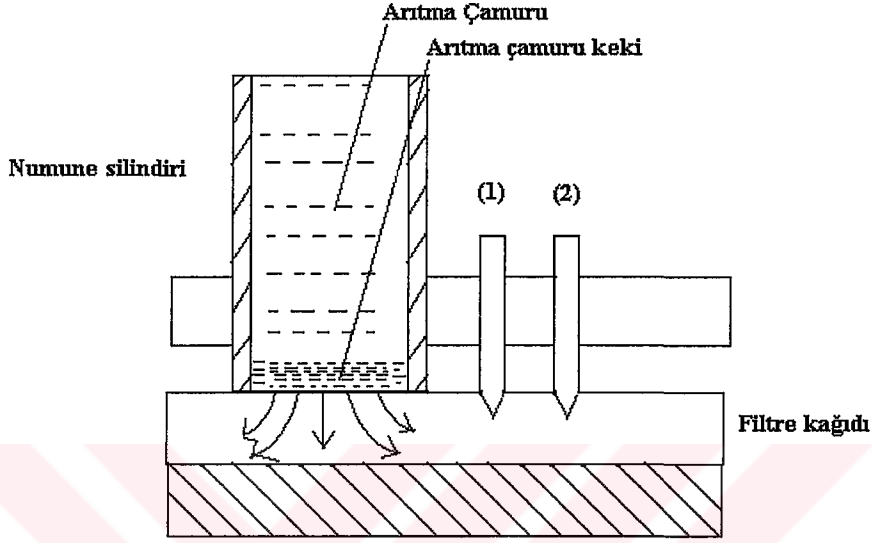
3.2.1. Kapiler Emme Süresi

Kapiler emme süresi tayini için 1967'de geliştirilmiş bir deney düzeneği bu çalışma için kullanılmıştır. Bu deney düzeneği paslanmaz çelikten yapılmış bir plaka ve bu kısmı ölçü başlığına bağlayan bir kablo yardımıyla saniyenin yüzde biri hassasiyeti LCD gösterge üzerinde bir sayaçtan ibarettir. Paslanmaz çelikten yapılmış plaka üzerinde 110 mm çapında pleksiglastan yapılmış bir blok bulunmaktadır. Bu blok üzerine ise 110 mm çapında filtre kağıdı konur. Üst bloğun tam ortasına paslanmaz çelikten yapılmış numune silindiri yerleştirilir. Gövde üzerinde 2 adet paslanmaz çelik ayakçık bulunmaktadır. Bu ayakçıklardan biri açma kontağı diğeri kapatma vazifesini görür. Her iki ayakçıkta kablo yardımıyla dijital bir göstergeye bağlıdır.

Ölçüm için küçük numune silindiri içerisine yaklaşık 10 ml arıtma çamuru doldurulur. Kağıdın kapiler emme kuvveti ile çamurun suyu çamurdan ayrılarak kağıdın içerisine doğru alınır. Bu esnada devamlı büyüyen bir ıslak alan görülür. Çamur suyu kağıt üzerinde 1. kontak noktasına ulaşınca sayısal gösterge çalışmaya başlar, merkezden 45 mm uzaklıktaki 2 no'lu noktaya ulaşınca göstergenin çalışması durur. Bu durumda alet 1 kez ikaz sesi çıkarır. Çamur suyunu 1 no'lu noktadan 2 no'lu noktaya ulaşınca kadar geçen süre kapiler emme süresi (CST)'dir.

CST ölçümlerinin neticeleri kullanılan filtre kağıdına bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebilir. Literatürde verilen çalışmaların çoğunda genellikle Whatman 17 no'lu filtre kağıdı

kullanılmaktadır. Fakat bu filtre kağıdını pahalı olması nedeniyle bu çalışmada kullanılmamıştır. Kapiler emme süresi ölçüm aletinin şematik gösterimi Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kapiler Emme Süresi Cihazının Şematik Gösterimi

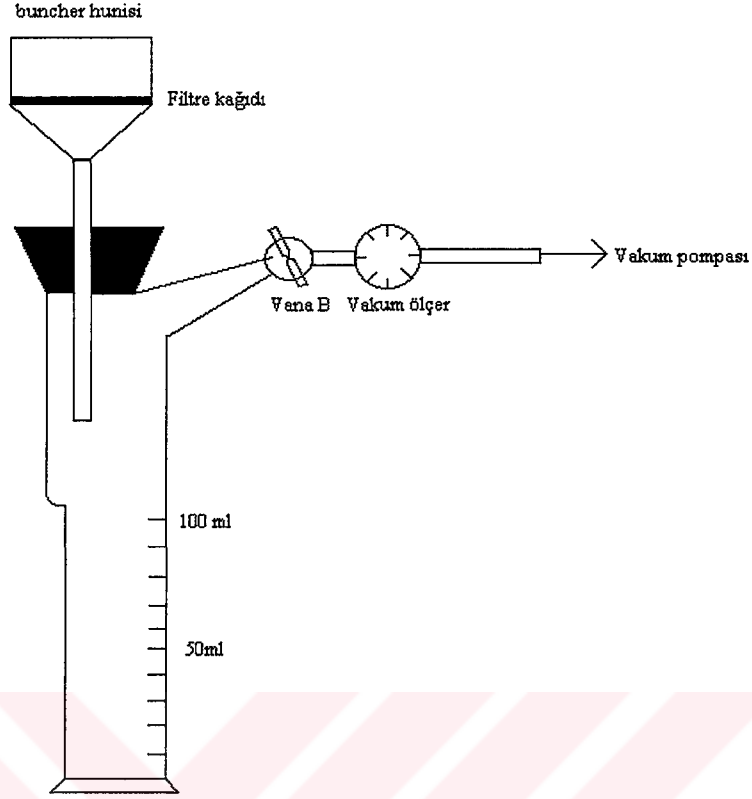
3.2.2. Özgül Filtre Direnci

Deneyin yapılışı :

1. Süzülme direncini ölçmek için 110 mm çapındaki filtre kağıdı Şekil 3.2' de gösterilen huninin içerisine yerleştirilir.
2. B vanası kapatılır ve su jet pompasını kullanarak basınç düşürülür ($P=5 \cdot 10^4 \text{ Pa} = 0.5 \text{ bar}$)
3. 100 ml çamur huniye koyulur ve B vanası açılır.
4. 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 ml süzüntü suyunun toplanması için gereken zaman ölçülür
5. Daha sonra süzüntü suyunun katı madde içeriği (C) belirlenir.
6. V süzüntü suyu hacmine karşı t/V eğrisinden b eğimi bulunarak Bölüm 2.1.1' de yer alan (3)

Eşitliğinden ($r = \frac{2PA^2b}{\mu C}$) r özgül filtre direnci hesaplanır (25°C 'de $\mu = 10^{-2} \text{ N.sn/m}^2$).

7. Farklı kimyasal madde dozajlarında yukarıdaki adımlar sırasıyla tekrarlanarak minimum direnci veren optimum dozaj bulunur.



Şekil 3.2. Süzülme Direnci Tayin Cihazı

3.2.3. Filtrasyon Süresi

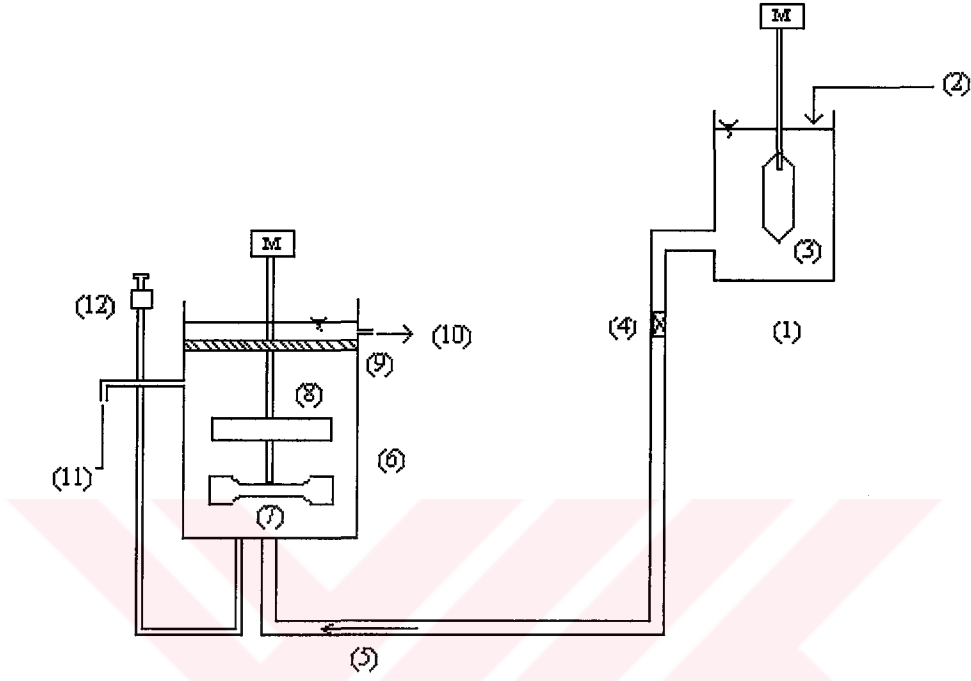
Filtrasyon süresi, 100 ml çamur numunesinin buncher hunisinden süzülmesi için gereken zaman olarak tarif edilir ve sn cinsinden ifade edilir. Filtrasyon süresi Şekil 3.2'deki süzülme direnci cihazı ile tayin edilir. Süzülme direncinden farkı sadece 100 ml çamur numunesinin süzüldüğü zamanın kaydedilmesidir.

3.3. Deney Düzeneğinin Dizaynı ve Susuzlaştırma Çalışmaları

Bu çalışmada laboratuvar şartlarına uygun şekilde dizayn edilmiş bir tanelendirme/yoğunlaştırma sistemi düzeneği kullanılmıştır (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4). Bu deney düzeneği 5L'lik bir şartlandırma tankı ve 30L'lik bir tanelendirme/yoğunlaştırma tankından oluşmaktadır. Ayrıca tanelendirme/yoğunlaştırma tankına gelen çamura uygulanacak olan kimyasal maddeyi çamura üniform bir şekilde dağıtmak için bir dozlama teçhizatı da sisteme dahil edilmiştir.

Susuzlaştırma işleminde kullanılan bu tanelendirme/yoğunlaştırma sisteminde çamur, ilk olarak şartlandırıcı kimyasal madde ilave edilip, belirli bir süre hızlı bir şekilde karıştırılarak şartlandırıldıktan sonra tanelendirme/yoğunlaştırma tankına gönderilir. Burada şartlandırılmış

çamura dozlama teçhizatı yardımıyla polimer ilave edilir ve belirli bir süre yavaşça karıştırılır. İşlem sonunda su ayırıcı kanal vasıtasıyla çamurdan ayrılan su uzaklaştırılır ve çamur çıkış borusundan çamur numunesi alınarak analiz edilir.



Şekil 3.3. Deneysel Düzeneğin Şematik Gösterimi : (1) Şartlandırma Tankı, (2) Çamur Ve Kimyasal Madde Girişi, (3) Palet Tipi Karıştırıcı, (4) Vana, (5) Şartlandırılmış Çamur, (6) Tanelendirme/Yoğunlaştırma Tankı, (7) Kürek Biçimli Karıştırıcı, (8) Düz Levha Şeklinde Karıştırıcı, (9) Su Ayırıcı Kanal, (10) Su Çıkışı, (11) Çamur Çıkışı, (12) Kimyasal Madde Dozlama Teçhizatı ve M: Motor.

Şartlandırma tankı ve tanelendirme/yoğunlaştırma tankındaki karıştırma teçhizatları sırasıyla palet ve yassı levha + kürek şeklindedir ve karıştırma hızları sırasıyla 150 ve 80 devir/dak'dır. Çamur şartlandırma işleminde demir(III)klorür ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$, Emir Kimya) ve alüminyum sülfat ($Al(SO_4)_3 \cdot 12H_2O$, alum, Fluka Chemika) olmak üzere iki farklı şartlandırıcı ve polimer olarak da poliakrilamid (Aldrich-434930) kullanılmıştır. Yapılan çalışma süresince demir(III)klorür ve alum stok çözeltiler halinde kullanılmışlardır (1L saf suya 2000mg şartlandırıcı madde ilave edilerek 24 saat karıştırıcıda bırakılmış böylece çözeltilerin homojen olması sağlanmıştır).

Yapılan deneylerde çamur farklı dozajlarda $FeCl_3$ ilave edilip kısa bir süre hızlı bir şekilde karıştırılarak şartlandırıldıktan sonra tanelendirme/yoğunlaştırma tankına gönderilmiştir. Şartlandırılan bu çamur tanelendirme/yoğunlaştırma tankında sabit polimer dozajında belirli bir

süre yavaşça karıştırılmış ve en iyi verimi sağlayan optimum $FeCl_3$ dozajı tespit edilmiştir. Daha sonra, belirlenen bu optimum $FeCl_3$ dozajında çamur şartlandırılmış ve çamur tanelendirme/yoğunlaştırma tankında farklı polimer dozajlarında işleme tabi tutularak optimum polimer dozajı belirlenmiştir. Optimum $FeCl_3$ ve polimer dozajları bulunduktan sonra en uygun karıştırma süreleri tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. Laboratuvar - Ölçekli Tanelendirme/Yoğunlaştırma Sistemi

Aynı işlemler farklı bir şartlandırıcı madde olan alum kullanılarak tekrarlanmış ve bu suretle optimum alum ve polimer dozajları ile karıştırma süreleri tespit edilmiştir.

Bir başka deney serisinde ise $FeCl_3$ ve alum şartlandırıcıları farklı oranlarda karıştırılarak şartlandırma işlemi için en uygun verimi sağlayacak karışım oranı tespit edilmiştir.

Bunun için jar testi aleti kullanılmıştır. Jar testi işleminde, 1000 mL'lik altı adet behere konulan 500 mL'lik çamur numunelerine belirli dozajda farklı oranlarda $FeCl_3$ /alum karışımları ilave edilip 1 dak 150 devir/dak karıştırılarak şartlandırıldıktan sonra en iyi verimi sağlayan optimum $FeCl_3$ /alum karışım oranı belirlenmiştir. Çamur tespit edilen optimum oranda, belirli dozajda $FeCl_3$ /alum karışımı ile şartlandırma tankında şartlandırıldıktan sonra tanelendirme/yoğunlaştırma tankında belirli dozajda polimerle işleme tabi tutularak susuzlaştırılmış ve bu suretle optimum karışım oranının susuzlaştırma verimi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

Optimum kimyasal madde dozajı ve karıştırma şartlarının belirlenmesi için özgül filtre direnci (SRF), kapiler emme süresi (CST) ve filtrasyon süresi (FS) testleri esas alınmıştır.



4. BULGULAR

4.1. Ham Çamurun Özellikleri

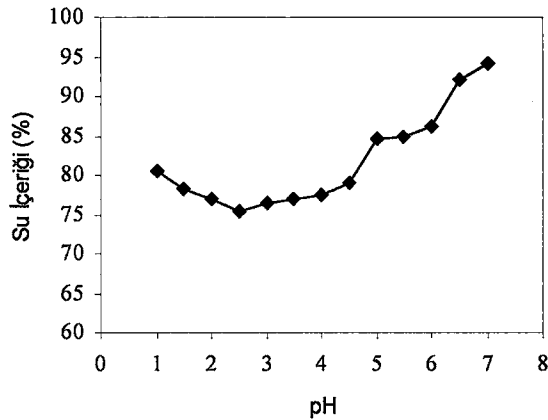
Elazığ Belediyesi Evsel Atıksu Arıtma Tesisinden alınan çamur numunelerinin özellikleri çamurun susuzlaştırma verimini etkilediğinden dolayı analiz edilmiş ve çalışma süresince bu özelliklerin çok fazla değişmediği tespit edilmiştir. Bu çamur numunelerini temsil edici çamur özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Ham Çamurun Özellikleri (T=25°C)

PARAMETRE	DEĞERLER
pH	6,8-7,3
TKM (mg/L)	2110
UKM (mg/L)	1310
AKM (mg/L)	1540
ÇHİ (mL/g)	162
CST (sn)	293
SRF $\times 10^{12}$ (m/kg)	36,5
Sİ (%)	96

4.2. Optimum pH’nin Belirlenmesi

Çamurun şartlandırma verimini etkileyen parametrelerden pH’nin belirlenmesi için farklı pH’lardaki çamur numuneleri hiçbir kimyasal madde ilave edilmeksizin sistemden geçirilmiş ve su içerikleri tespit edilmiştir. Tanelendirme/yoğunlaştırma sisteminden geçirilmiş çamurun su içerik değerleri Ek 1’de sunulmuştur. Sonuçlar Şekil 4.1’de verilmiştir.

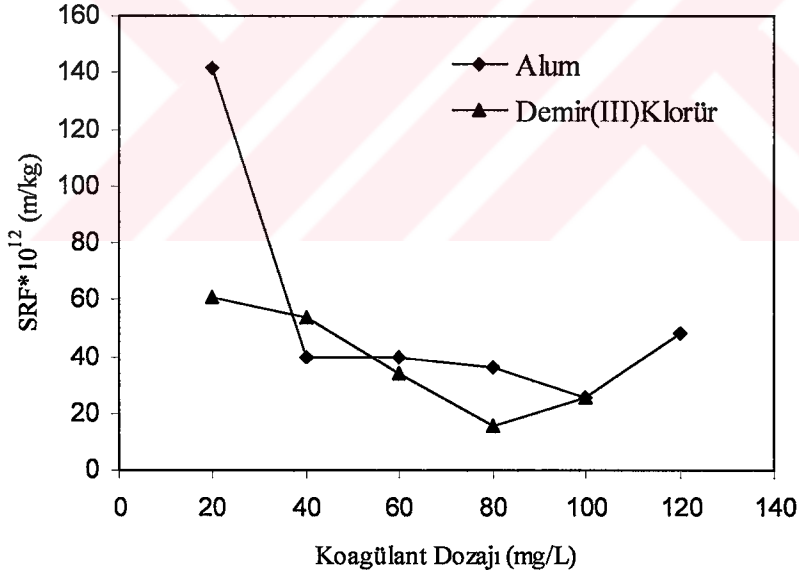


Şekil 4.1. Tanelendirme/Yoğunlaştırma Sisteminden Geçirilmiş Çamurun Su İçeriği

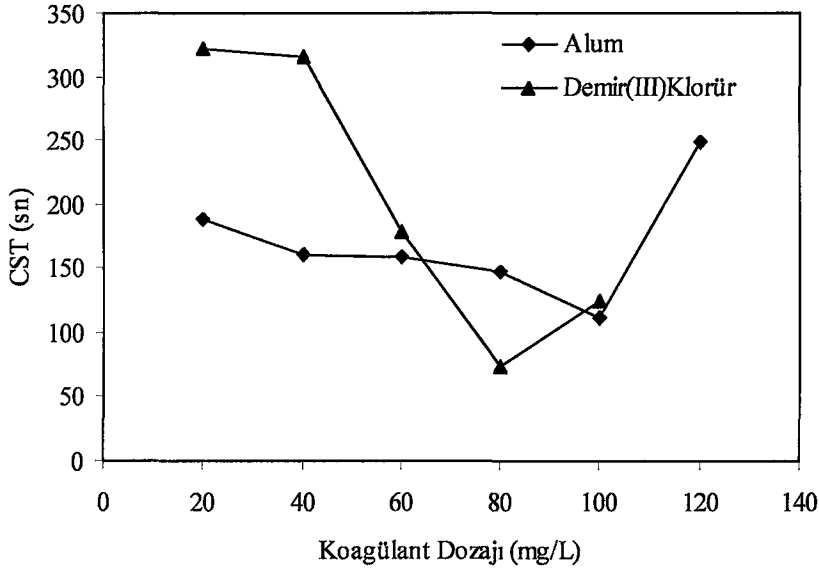
Elde edilen deney sonuçlarına göre pH = 7' de evsel atıksu arıtma çamurunun su içeriği % 94 iken, pH=2,5'de atıksu arıtma çamurunun su içeriği % 75,5 değerine kadar düşmüştür. Bu nedenle evsel atıksu arıtma çamuru için optimum pH 2,5 olarak belirlenmiştir.

4.3. Şartlandırma ve Susuzlaştırma Verimleri

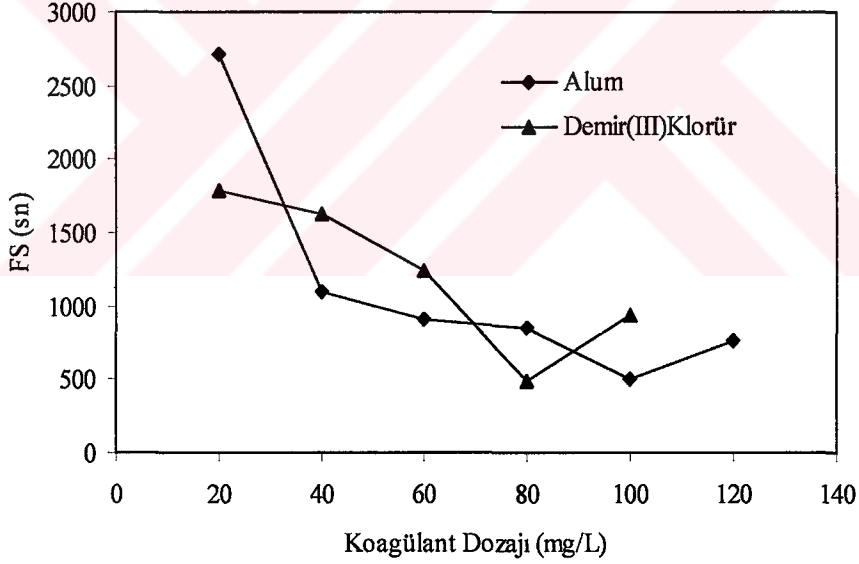
Polimer dozajı ve karıştırma şartlarının sabit tutulması buna karşılık FeCl₃ ve alum dozajlarının değiştirilmesi suretiyle yapılan deneylerden elde edilen SRF, CST ve FS değerleri Ek 2 ve Ek 6'da sunulmuştur. Bu tablolardaki mevcut verilere bakıldığında en iyi verimin yani en düşük SRF, CST ve FS değerlerinin FeCl₃ için 80 mg/L ve alum için 100 mg/L dozajda sağlandığı görülmektedir. Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de de görüldüğü gibi, bu dozajlar kullanıldığında elde edilen SRF, CST ve FS değerleri başlangıçtaki değerlerin oldukça altında çıkmıştır. Buna karşın bu dozajların (80 ve 100 mg/L) üzerindeki dozajlar kullanılarak şartlandırma işlemi yapıldığında susuzlaştırma veriminin azalmaya başladığı görülmüştür. Bu nedenle deneyin daha sonraki aşamalarında optimum FeCl₃ ve alum dozajları sırasıyla 80 ve 100 mg/L olarak alınmıştır.



Şekil 4.2. Farklı Demir (III) Klorür ve Alum Dozajlarındaki SRF Değerleri (pH=2,5, Polimer Dozajı =10mg/L)



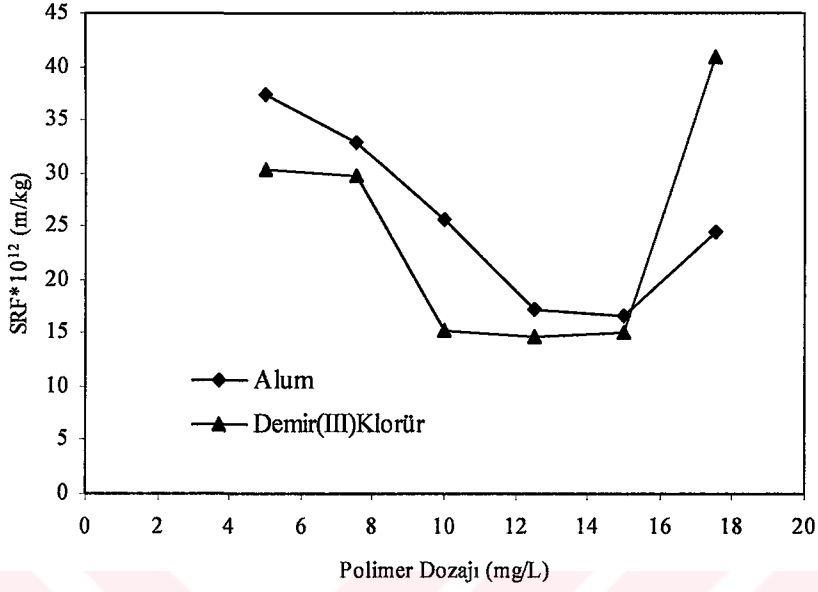
Şekil 4.3. Farklı Demir (III) Klorür ve Alum Dozajlarındaki CST Değerleri (pH=2,5, Polimer Dozajı =10 mg/L)



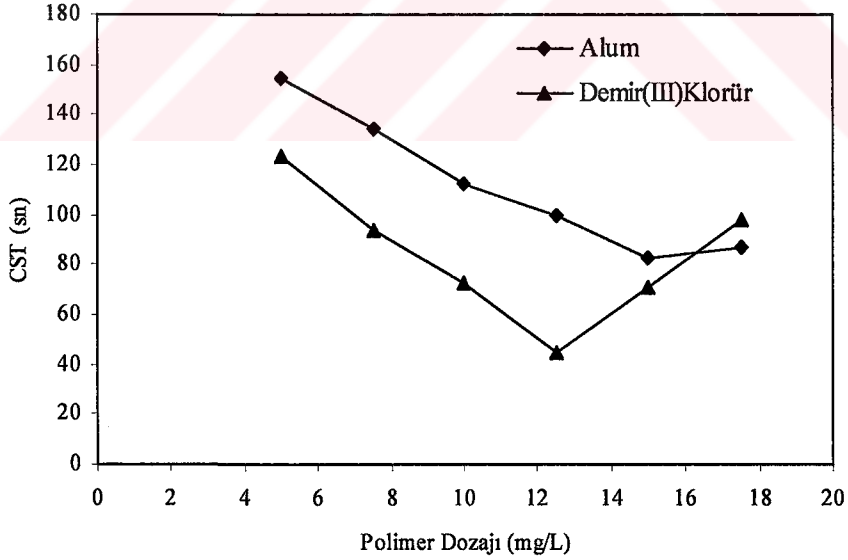
Şekil 4.4. Farklı Demir (III) Klorür ve Alum Dozajlarındaki FS Değerleri (pH=2,5, Polimer Dozajı =10 mg/L)

Daha önce tespit edilmiş olan optimum koagülant dozajlarında ve sabit karıştırma şartlarında çamura farklı dozajlarda polimer uygulanarak gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar Ek 3 ve Ek 7’de sunulmuştur. Elde edilen bu bulgulara göre $FeCl_3$ ve alum için SRF, CST ve FS değerleri Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmiştir. Bu SRF, CST ve FS değerleri esas alınarak en iyi verimi sağlayan optimum polimer dozajının şartlandırıcı olarak

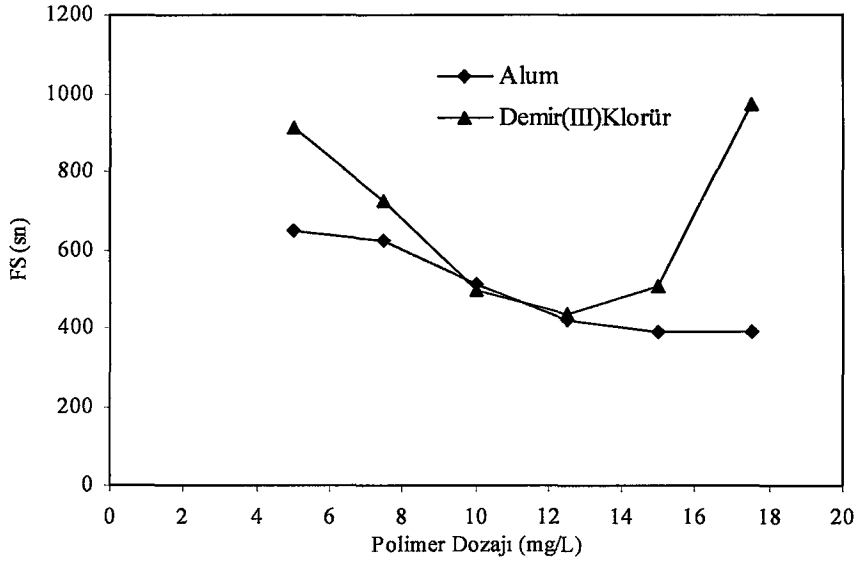
FeCl₃ kullanılması halinde 12,5 mg/L, alum kullanılması halinde ise 15mg/L olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.5. Farklı Polimer Dozajlarındaki SRF Değerleri (pH=2,5, Demir (III) Klorür Dozajı=80mg/L ve Alum Dozajı =100 mg/L)



Şekil 4.6. Farklı Polimer Dozajlarındaki CST Değerleri (pH=2,5, Demir (III)Klorür Dozajı = 80mg/L ve Alum Dozajı =100 mg/L)

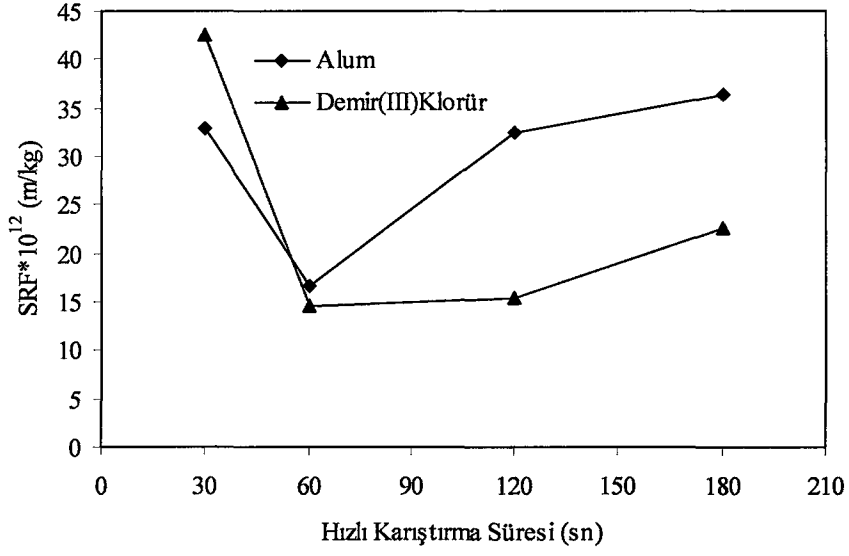


Şekil 4.7. Farklı Polimer Dozajlarındaki FS Değerleri (pH=2,5, Demir (III) Klorür Dozajı = 80mg/L ve Alum Dozajı =100 mg/L)

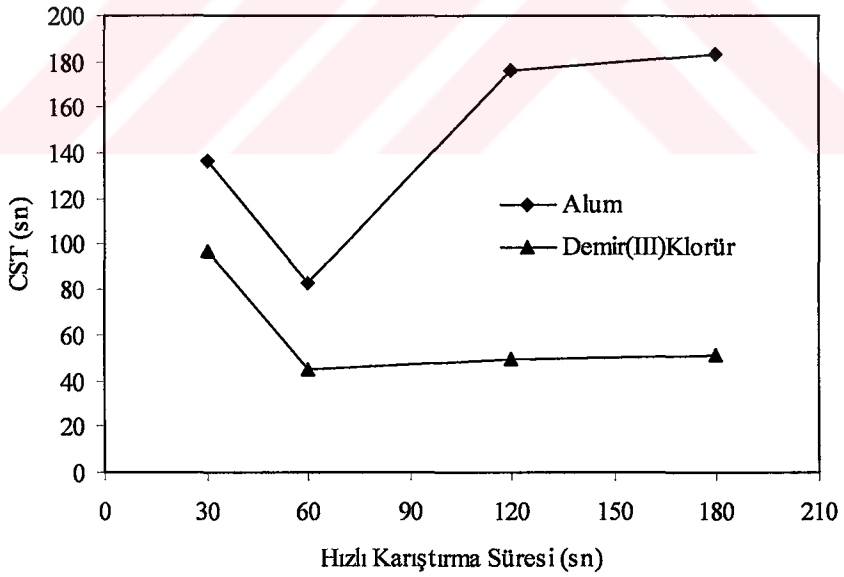
Her iki şartlandırıcı için de polimer ilavesinin susuzlaştırma verimi üzerine olumlu etki yaptığı elde edilen verilerden yola çıkarak söylenebilir. Bu verim optimum polimer dozajı ilave edildiği andan itibaren yüksek seviyeye ulaşmıştır.

Deneylerin bundan sonraki aşamasında, önceki deneyler sonucunda bulunan optimum $FeCl_3$, alum ve polimer dozajları için yavaş ve hızlı karıştırma süreleri değiştirilerek karıştırma süresinin susuzlaştırmaya etkisi incelenmiştir. Başlangıçta yavaş karıştırma süresi sabit tutulup hızlı karıştırma süresi değiştirilerek en uygun hızlı karıştırma süresi bulunmuş ve daha sonra en iyi verimi sağladığı tespit edilen bu hızlı karıştırma süresinde farklı yavaş karıştırma süreleri kullanılarak en uygun yavaş karıştırma süresi tespit edilmiştir. Ek 4 ve Ek 8’de yavaş karıştırma süresi için yapılan deneylerden elde edilen SRF, CST ve FS değerleri, Ek 5 ve Ek 9’da hızlı karıştırma süresi için yapılan deneylerden elde edilen SRF, CST ve FS değerleri verilmiştir. Bu değerlerin grafiğe aktarılmış halleri ise yavaş karıştırma süresi için Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da, hızlı karıştırma süresi için Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de verilmiştir.

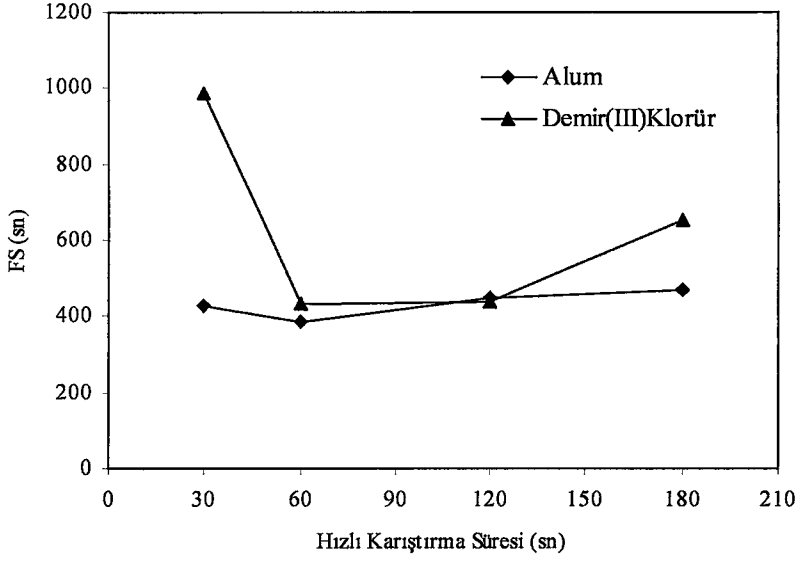
Grafiğe aktarılmış değerler incelendiğinde 80 mg/L $FeCl_3$, 12,5 mg/L polimer ve 100 mg/L alum, 15 mg/L polimerin kullanıldığında, en iyi susuzlaştırmayı sağlayan optimum yavaş ve hızlı karıştırma süresi değerlerinin her iki durumda da aynı olduğu görülmüştür. Her iki durumda da en düşük SRF, CST ve FS değerleri 1 dak’lık bir hızlı karıştırma ve ardından 20 dak’lık bir yavaş karıştırma işleminden sonra elde edilmiştir.



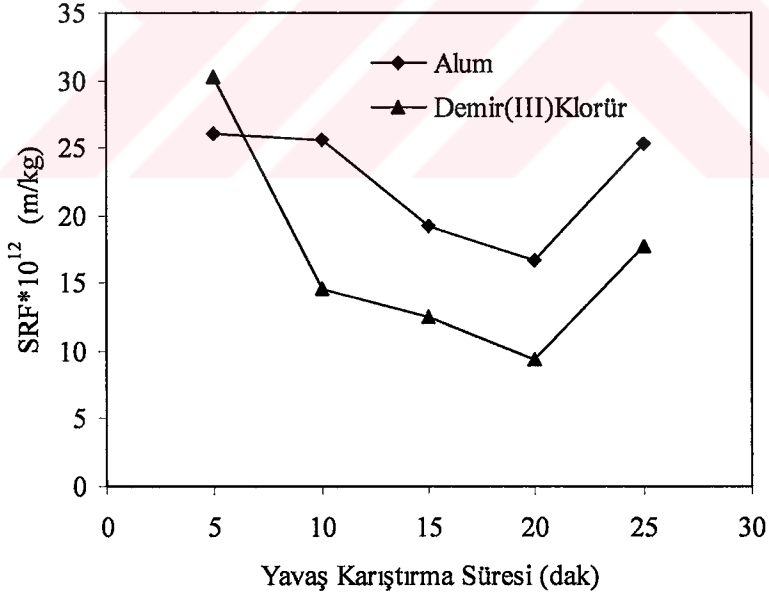
Şekil 4.8. Farklı Hızlı Karıştırma Sürelerindeki SRF Değerleri (pH=2,5, Demir (III) Klorür Dozajı = 80 mg/L, Polimer Dozajı 12,5mg/L ve Alum Dozajı =100 mg/L, Polimer Dozajı=15mg/L)



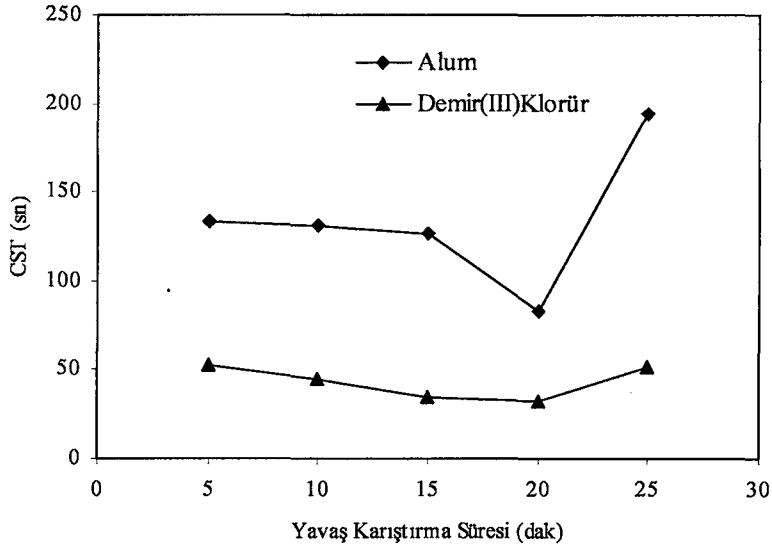
Şekil 4.9. Farklı Hızlı Karıştırma Sürelerindeki CST Değerleri (pH=2,5, Demir (III) Klorür Dozajı = 80 mg/L, Polimer Dozajı=12,5mg/L ve Alum Dozajı =100 mg/L, Polimer Dozajı=15mg/L)



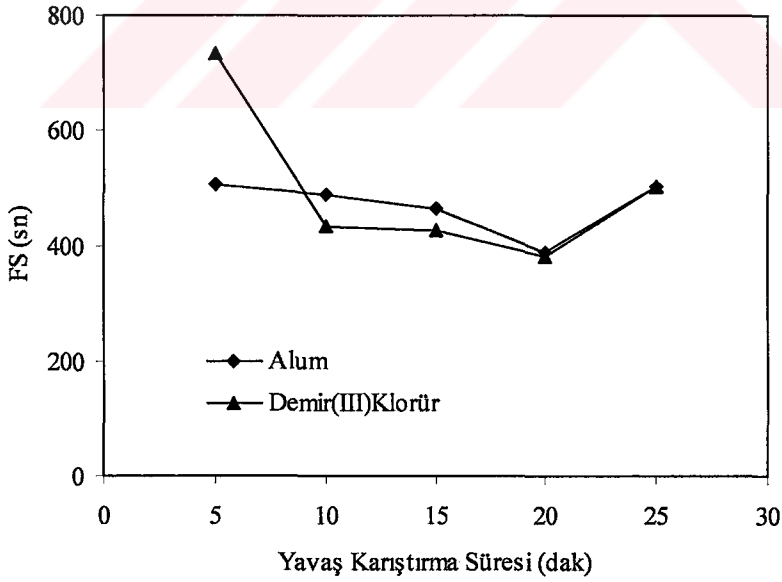
Şekil 4.10. Farklı Hızlı Karıştırma Sürelerindeki FS Değerleri (pH=2,5, Demir (III) Klorür Dozajı = 80 mg/L, Polimer Dozajı=12,5mg/L ve Alum Dozajı =100 mg/L, Polimer Dozajı=15mg/L)



Şekil 4.11. Farklı Yavaş Karıştırma Sürelerindeki SRF Değerleri (pH=2,5, Demir (III) Klorür Dozajı = 80 mg/L, Polimer Dozajı=12,5mg/L ve Alum Dozajı =100 mg/L, Polimer Dozajı=15mg/L)



Şekil 4.12. Farklı Yavaş Karıştırma Sürelerindeki CST Değerleri (pH=2,5, Demir (III) Klorür Dozajı = 80 mg/L, Polimer Dozajı=12,5mg/L ve Alum Dozajı =100 mg/L, Polimer Dozajı=15mg/L)



Şekil 4.13. Farklı Yavaş Karıştırma Sürelerindeki FS Değerleri (pH=2,5, Demir (III) Klorür Dozajı = 80 mg/L, Polimer Dozajı=12,5mg/L ve Alum Dozajı =100 mg/L, Polimer Dozajı=15mg/L)

İki farklı şartlandırıcı ve bir polimer kullanılarak gerçekleştirilen deneyler sonucunda en iyi çamur susuzlaştırılabilirliği sağlayan optimum şartlar tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.2’de özetlenmiştir.

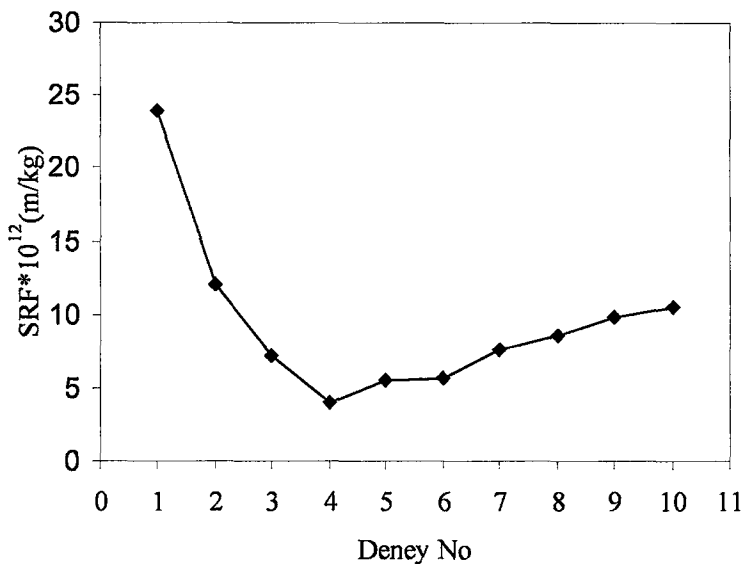
Tablo 4.2. FeCl₃ ve Alum İçin Elde Edilen Optimum İşletme Şartları (pH=2,5)

	FeCl ₃ için	Alum için
Koagülant dozajı ,mg/L	80	100
Polimer dozajı, mg/L	12,5	15
Hızlı karıştırma süresi, dak	1	1
Yavaş karıştırma süresi, dak	20	20

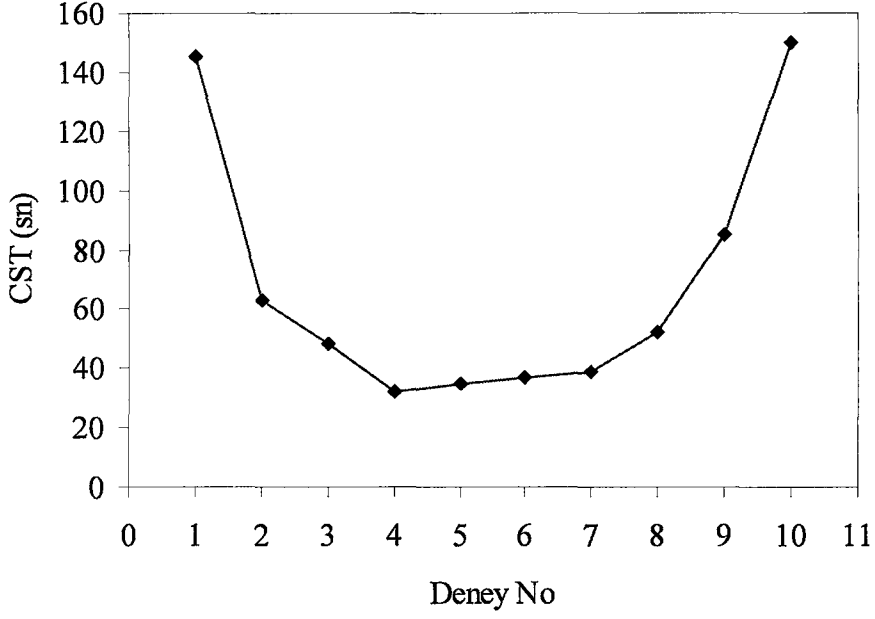
Elde edilen bu optimum şartlarda gerçekleştirilen deneyler sonucunda susuzlaştırılmış çamurun su içeriği FeCl₃ için % 73,2 ve alum için % 73,4 olarak tespit edilmiştir. Bütün bu bulgular incelendiğinde, şartlandırıcı olarak FeCl₃ kullanılması halinde tespit edilen optimum koagülant ve polimer dozajı değerleri ile bu değerlere karşılık gelen SRF, CST, FS ve su içeriği değerlerinin alum kullanılması halinde tespit edilenlerden daha düşük olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, bu sistemde FeCl₃’ün şartlandırma işleminde alümandan daha etkili olduğu ve şartlandırma işleminde FeCl₃ kullanılması halinde daha iyi bir susuzlaştırma verimi sağlandığı görülmüştür.

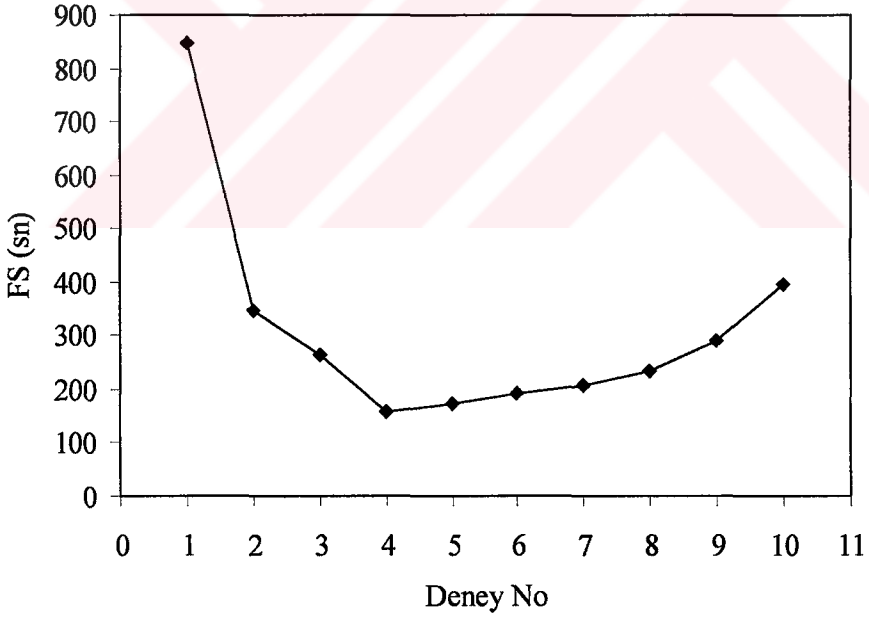
İki farklı şartlandırıcı (alum ve FeCl₃) için ayrı ayrı deneyler yapılarak susuzlaştırma verimleri incelendikten sonra bu iki şartlandırıcı belli oranlarda karıştırılarak en uygun karışım oranı jar testi kullanılarak tespit edilmeye çalışılmış ve elde edilen sonuçlar Ek 10’da sunulmuştur. Elde edilen SRF, CST, FS değerleri esas alınarak en uygun FeCl₃/Alum oranınının 4 no’lu deneydeki 1/4 oranı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16).



Şekil 4.14. Farklı FeCl₃/Alum Karışım Oranlarındaki SRF Değerleri (pH=2,5, Karışım Dozajı = 90 mg/L, Karıştırma Süresi=1 dak, Karıştırma Hızı =150 devir/dak)



Şekil 4.15. Farklı $FeCl_3$ /Alum Karışım Oranlarındaki CST Değerleri (pH=2,5, Karışım Dozajı = 90 mg/L, Karıştırma Süresi=1 dak, Karıştırma Hızı =150 devir/dak)



Şekil 4.16. Farklı $FeCl_3$ /Alum Karışım Oranlarındaki FS Değerleri (pH=2,5, Karışım Dozajı = 90 mg/L, Karıştırma Süresi=1 dak, Karıştırma Hızı =150 devir/dak)

En etkili şartlandırmayı sağlayan $FeCl_3$ /Alum karışım oranı tespit edildikten sonra karışım dozajı, polimer dozajı ve karıştırma şartları sabit tutulup sisteme verilen çamur 1/4

oranındaki karışım kullanılarak şartlandırılmış ve daha sonra tanelendirme/yoğunlaştırma tankında polimer ilave edilerek susuzlaştırılmıştır.

Bu deney serisi sonucunda elde edilen SRF, CST, FS ve su içeriği değerleri sırasıyla $3,90 \times 10^{12}$ m/kg, 30 sn, 156 sn ve %69 olarak belirlenmiştir. Bu bulgular şartlandırma işleminde alum veya FeCl_3 'ün tek başına kullanılmasına kıyasla bu koagülantların $\text{FeCl}_3/\text{Alum}=1/4$ oranında karıştırılarak kullanılması ile daha iyi bir susuzlaştırma sağlandığını göstermiştir.



5. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Tanelendirme/yoğunlaştırma sisteminden geçirilmiş çamurun su içeriğinin pH=7'de % 94 iken pH=2,5'da %75,5 değerine kadar düştüğü dolayısıyla en düşük su içeriği değerine ulaşıldığı tespit edilmiştir Bu nedenle optimum pH 2,5 olarak belirlenmiştir.

2. İki farklı şartlandırıcı (alum ve FeCl₃) kullanılarak gerçekleştirilen deneylerden elde edilen SRF, CST ve FS değerleri esas alınarak, en iyi verimin 80 mg/L FeCl₃, 12,5 mg/L polimer ve 100 mg/L alum, 15 mg/L polimerin kullanılması halinde elde edildiği ve bu dozajların üzerindeki veya altındaki dozlamaların susuzlaştırmayı olumsuz etkilediği bulunmuştur. Dolayısıyla da bu dozajların optimum dozajlar olduğu tespit edilmiştir.

3. Daha önce bulunmuş olan optimum FeCl₃, alum ve polimer dozajları için yavaş ve hızlı karıştırma süreleri değiştirilerek karıştırma süresinin susuzlaştırmaya etkisi incelenmiştir. Tespit edilen değerler incelendiğinde en iyi susuzlaştırmayı sağlayan optimum yavaş ve hızlı karıştırma süresi değerlerinin her iki şartlandırıcı (FeCl₃ ve alum) için de aynı olduğu görülmüştür. Her iki durumda da en düşük SRF, CST ve FS değerlerinin 1 dak'lık bir hızlı karıştırma ve ardından 20 dak'lık bir yavaş karıştırma işleminden sonra elde edildiği ve bu sürelerin üzerindeki veya altındaki sürelerde yapılan karıştırma işleminin susuzlaştırmayı olumsuz etkilediği bulunmuştur. Dolayısıyla da bu karıştırma süreleri optimum yavaş ve hızlı karıştırma süreleri olarak tespit edilmiştir.

4. Optimum şartlarda gerçekleştirilen deneyler sonucunda susuzlaştırılmış çamurun su içeriği FeCl₃ için % 73,2 ve alum için % 73,4 olarak tespit edilmiştir. Bulunan bu su içeriği değerleri ham çamurun su içeriği değerinden oldukça düşük olmakla birlikte alumla FeCl₃ bir miktar daha düşük bir değerdedir.

5. İki farklı şartlandırıcı (FeCl₃ ve alum) kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen bütün bulgular incelendiğinde, FeCl₃ için tespit edilen optimum koagülant ve polimer dozajı değerleri ile bu değerlere karşılık gelen SRF, CST, FS ve su içeriği değerleri daha düşük olduğundan FeCl₃'ün şartlandırma işleminde alumdan daha etkili olduğu ve daha iyi bir susuzlaştırma verimi sağladığı görülmüştür.

6. İki farklı şartlandırıcı (alum ve FeCl₃) için ayrı ayrı deneyler yapılarak susuzlaştırma verimleri incelendikten sonra bu iki şartlandırıcı belirli oranlarda karıştırılarak en uygun karışım oranı tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla yapılan jar testinden elde edilen SRF, CST, FS bulguları esas alınarak en uygun FeCl₃/Alum oranının 1/ 4 olduğu tespit edildikten sonra karışım dozajı, polimer dozajı ve karıştırma şartları sabit tutulup sisteme verilen çamur 1/ 4 oranındaki karışım kullanılarak şartlandırılmış ve daha sonra tanelendirme/yoğunlaştırma

tankında polimer ilave edilerek susuzlaştırılmıştır. Bu deney serisi sonucunda elde edilen SRF, CST, FS ve su içeriği değerleri belirlenmiş ve belirlenen bulgular dikkate alınarak şartlandırma işleminde alum veya $FeCl_3$ 'ün tek başına kullanılmasına kıyasla bu koagülantların 1/4 oranında karıştırılarak kullanılmasının daha iyi bir susuzlaştırma verimi sağladığı bulunmuştur.

7. Bu çalışmadan elde edilen bütün sonuçlar dikkate alındığında tanelendirme/yoğunlaştırma sistemi ile yapılan susuzlaştırma işleminin klasik susuzlaştırma teçhizatları kullanılarak yapılan susuzlaştırma işlemi kadar iyi hatta kullanılan kimyasal tipine bağlı olarak daha da iyi verim sağladığı görülmektedir. Bu sistem susuzlaştırma teçhizatı olarak özellikle de alanın sınırlı olduğu tesislerde kullanılabilir.



KAYNAKLAR

- APHA, AWWA, WPCF, 1989, Standard methods for examination of water and wastewater, American Public Health Association, USA.
- Aslan S., Şekerdağ N., 2005, Donma/çözülme ile çamur şartlandırılması, I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, AÇS2005, İzmir.
- Chen G.W., Hung W.T., Chang I.L., Lee S.F., Lee D.J., 1997, Continuous classification of moisture content in waste activated sludges, *Journal of Environmental Engineering*, 123(3): 253-258
- Chen Y., Yang H., Gu G., 2001, Effect of acid and surfactant treatment on activated sludge dewatering and settling, *Water Research*, 35(11): 2615-2620.
- Chen Y., Chen S.Y., Gu G., 2004, Influence of pretreating activated sludge with acid and surfactant prior to conventional conditioning on filtration dewatering, *Chemical Engineering Journal*, 99(2): 137-143.
- Christensen J.R., Sorensen P.B., Christensen G.L., Hansen J.A., 1993, Mechanisms for overdosing in sludge conditioning, *Journal of Environmental Engineering*, 119(1): 159-171.
- Chu C.P., Lee D.J., 1999, Moisture distribution in sludge: effects of polymer conditioning, *Journal of Environmental Engineering*, 121(3): 340-345.
- Eckenfelder W.W., Santhanam C.J., 1981, *Sludge Treatment*, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Eckenfelder W.W., Ford D.L., Lankford P.W., Shell G., Sullivan D.L., 1986, *Operation, Control and Management of Activated Sludge Plants Treating Industrial Wastewater*, Vanderbilt University School of Engineering, Nashville, Tennessee.
- Eckenfelder W.W., 2000, *Industrial Water Pollution Control*, McGraw-Hill Companies, Inc., New York, USA.
- Erdoğan A.O., 2004, *Atıksu Arıtma Tesislerinin Tasarım Esasları*, Preussang Wassertechnik San.ve Tic. A.Ş. Yayınları, İstanbul.
- Filibeli A., 1996, *Arıtma Çamurlarının İşlenmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Hammer M.J., Hammer M.J., Jr., 1996, *Water and Wastewater Technology*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA.
- Herwijn A.J.M., Heij E.J.L., IJzermans J.J., Coumans W.J., Kerkhof P.J.A.M., 1995, Determination of cake resistance with a new capillary suction time apparatus, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 34(14): 1310-1319.
- Jin B., Wilen B.M., Lant P., 2004, Impacts of morphological, physical and chemical properties of sludge flocs on dewaterability of activated sludge, *Chemical Engineering Journal*, 98(1-2): 115-126.

- Kaynak G.E., Filibeli A., 2005, Şartlandırma işleminin arıtma tesisi çamurlarının su verme kapasitesi üzerindeki etkileri, I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, AÇS2005, İzmir.
- Kocakulak E.Y., Akça L., Erdinçler A., 2005, Alum çamurlarının ikili şartlandırılması, I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, AÇS2005, İzmir.
- Kerri D.K., Dendy B.B., Brady J., Crooks W., 1995, Advanced Waste Treatment, A Field Study Training Program, California State University, Sacramento, California.
- Kerri D.K., 1996, Water Treatment Plant Operation, Volume:1, California State University, Sacramento, California.
- Kocasoy G., 1991, Atıksu Arıtma Sistemleri, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, İstanbul.
- Kocasoy G., 1994, Atıksu Arıtma Çamuru ve Katı Atık ve Kompost Örneklerinin Analiz Yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lee D.J., Hsu Y.H., 1992, Fluid flow in capillary suction apparatus, Ind.Eng.Chem.Res., 31(10): 2379-2385.
- Lee D.J., Hsu Y.H., 1993, Cake formation in capillary suction apparatus, Ind.Eng.Chem.Res., 32(6):1180-1185.
- Lee D.J., Hsu Y.H., 1994, A rectangular capillary suction apparatus, Ind.Eng.Chem.Res., 33(6), 1593-1599.
- Lee D.J., Hsu Y.H., 1995, Measurement of bound water in sludge: a comparative study, Water Environment Research, 67(3): 310-317.
- Lee C. H., Liu J. C., 2000, Enhanced sludge dewatering by dual polyelectrolytes conditioning, Water Research, 34(18): 4430-4436.
- Lee C. H., Liu J. C., 2001, Sludge dewaterability and floc structure in dual polymer conditioning, Advances in Environmental Research, 5(2): 129-136.
- Metcalf And Eddy, 1991, Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse, McGraw-Hill Inc., New York, USA.
- Mikkelsen L.H., Keiding K., 2002, Physico-chemical characteristics of full scale sewage sludges with implications to dewatering, Water Research, 36(10): 2451-2462.
- Novak T.J., Prendeville J.F., Sherrard J.H., 1988, "Mixing intensity and polymer performance in sludge dewatering", Journal of Environmental Engineering , 114(1): 190-198.
- Novak J.T., Agerbaek M.L., Sorensen B.L., Hansel J.H. , 1999, Conditioning, filtering, and expressing waste activated sludge, Journal of Environmental Engineering, 125(9): 816-824.
- Öztürk İ., 1999, Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Rebhun M., Zall J., Galil N., 1989, Net sludge solids yields as an expression of filterability for conditioner optimization, Journal WPCF, 61(1), 52-54.

- Reynolds T.D., 1982, *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*, Wadsworth, Inc., Belmont, California.
- Robinson J., Knocke W.R., 1992, Use of dilatometric and drying techniques for assessing sludge dewatering characteristics, *Water Environment Research*, 64(1): 60-68.
- Sara A., Şekerdağ N., 2005, Evsel atıksu çamur ile şarap endüstrisi atıksu çamurunun birlikte susuzlaştırılması, I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, AÇS2005, İzmir.
- Vaxelaire J., Cezac P., 2004, Moisture distribution in activated sludges: A review, *Water Research*, 38, 2215–2230.
- Vesilind P.A., 1988, Capillary suction time as a fundamental measure of sludge dewaterability, *Journal WPCF*, 60(2): 215-220.
- Vesilind P.A., Martel C.J., 1990, Freezing of water and wastewater sludges, *Journal of Environmental Engineering*, 116(5): 854-862.
- Vesilind P.A., 1994, The role of water in sludge dewatering, *Water Environment Research*, 66(1): 4-11.
- Watanabe Y., Tanaka K., 1999, Innovative sludge handling through pelletization/thickening, *Water Research*, 33(15): 3245-3252.
- Watanabe Y., Kubo K., Sato S., 1999, Amplification of amphoteric polyelectrolytes for sludge dewatering, *Langmuir* 15(12): 4157-4264.
- Watanabe Y., Tanaka K., 2002, Strategy for effective sludge treatment by pelletization/thickening system, *Appropriate Environmental And Solid Waste Management And Technologies For Developing Countries*, Volume: 3, İstanbul.
- Werle C.P., Novak J.T., 1984, Mixing intensity and polymer conditioning, *Journal of Environmental Engineering*, 110, 919-939.
- Wu C.C., Wu J.J., Huang R.Y., 2003a, Effect of floc strength on sludge dewatering by vacuum filtration, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 221(1-3): 141-147.
- Wu C.C., Wu J.J., Huang R.Y., 2003b, Floc strength and dewatering efficiency of alum sludge, *Advances in Environmental Research*, 7(3): 617-621.
- Zeta-Meter, 1993, *Everything you want to know about coagulation and flocculation*, Staunton, Virginia, http://faculty.washington.edu/markbenj/CEE483/Coag_Floc_Guide.pdf.

ÖZGEÇMİŞ

Hatice ERDEM 08.08.1980 tarihinde Elazığ'ın Baskil ilçesinde doğdu. İlk öğrenimini Elazığ'ın Keban ilçesinde, orta ve lise öğrenimini Adana'nın İmamoğlu ilçesinde tamamladı. 1997-2001 yılları arasında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Lisans öğrenimini tamamladı. 2002 yılında aynı bölümde Çevre Teknolojisi Dalında Yüksek Lisans'a başladı. Halen, Yüksek Lisans öğrenimini devam ettirmektedir.

Hatice ERDEM



EKLER

Ek 1: Tanelendirme/Yoğunlaştırma Sisteminden Geçirilmiş Çamurun Su İçeriği

pH	Su İçeriği (%)
7	94,0
6,5	92,0
6	86,1
5,5	85,0
5	84,7
4,5	78,9
4	77,5
3,5	77,0
3	76,4
2,5	75,5
2	77,0
1,5	78,1
1	80,4

Ek 2: Farklı Demir (III) Klorür Dozajlarındaki CST, SRF ve FS Değerleri (pH=2,5, Hızlı Karıştırma Süresi =1dak, Yavaş Karıştırma Süresi =10dak)

Poliakrilamid Dozajı, mg/L	Demir (III) Klorür Dozajı, mg/L	Özgül Filtre Direnci (SRF) $\times 10^{12}$, m/kg	Kapiler Emme Süresi (CST),sn	Filtrasyon Süresi (FS), sn
10	20	61,00	322	1786
10	40	53,54	315	1624
10	60	34,04	178	1247
10	80	15,23	73	495
10	100	25,72	124	934

Ek 3: Farklı Polimer Dozajlarındaki CST, SRF ve FS Değerleri (pH=2,5, Hızlı Karıştırma Süresi =1dak, Yavaş Karıştırma Süresi =10dak)

Poliakrilamid Dozajı, mg/L	Demir (III) Klorür Dozajı, mg/L	Özgül Filtre Direnci (SRF) $\times 10^{12}$, m/kg	Kapiler Emme Süresi (CST),sn	Filtrasyon Süresi (FS), sn
5	80	30,32	123	912
7,5	80	29,81	94	725
10	80	15,23	73	495
12,5	80	14,62	45	434
15	80	15,11	71	507
17,5	80	40,82	98	970

Ek 4: Farklı Hızlı Karıştırma Sürelerindeki CST, SRF ve FS Değerleri (pH=2,5, Demir (III) Klorür Dozajı =80 mg/L, Polimer Dozajı =12,5 mg/L, Yavaş Karıştırma Süresi = 10dak)

Parametre	Hızlı Karıştırma Süresi, sn			
	30	60	120	180
Özgül Filtre Direnci (SRF)x10 ¹² , m/kg	42,52	14,60	15,38	22,56
Kapiler Emme Süresi (CST),sn	97	45	49	51
Filtrasyon Süresi (FS), sn	985	434	438	653

Ek 5: Farklı Yavaş Karıştırma Sürelerindeki CST, SRF ve FS Değerleri (pH=2,5, Demir (III) Klorür Dozajı = 80 mg/L, Polimer Dozajı =12,5 mg/L, Hızlı Karıştırma Süresi = 1dak)

Parametre	Yavaş Karıştırma Süresi, dak				
	5	10	15	20	25
Özgül Filtre Direnci (SRF)x10 ¹² , m/kg	30,26	14,62	12,57	9,44	17,68
Kapiler Emme Süresi (CST),sn	53	45	35	32	52
Filtrasyon Süresi (FS), sn	732	434	425	380	503

Ek 6: Farklı Alum Dozajlarındaki CST, SRF ve FS Değerleri (pH=2,5, Hızlı Karıştırma Süresi =1dak, Yavaş Karıştırma Süresi =20dak)

Poliakrilamid Dozajı, mg/L	Alum Dozajı, mg/L	Özgül Filtre Direnci (SRF)x10 ¹² , m/kg	Kapiler Emme Süresi (CST),sn	Filtrasyon Süresi (FS), sn
10	20	141,86	188	2714
10	40	40,00	160	1093
10	60	39,52	158	906
10	80	35,97	147	846
10	100	25,65	112	512
10	120	48,31	248	761

Ek 7: Farklı Polimer Dozajlarındaki CST, SRF ve FS Değerleri (pH=2,5, Hızlı Karıştırma Süresi =1dak, Yavaş Karıştırma Süresi =20dak)

Poliakrilamid Dozajı, mg/L	Alum Dozajı, mg/L	Özgül Filtre Direnci (SRF) $\times 10^{12}$, m/kg	Kapiler Emme Süresi (CST),sn	Filtrasyon Süresi (FS), sn
5	100	37,46	155	647
7,5	100	32,93	134	622
10	100	25,65	112	512
12,5	100	17,18	100	422
15	100	16,70	83	388
17,5	100	24,47	87	390

Ek 8: Farklı Hızlı Karıştırma Sürelerindeki CST, SRF ve FS Değerleri (pH=2,5, Alum Dozajı = 100 mg/L, Polimer Dozajı =15 mg/L, Yavaş Karıştırma Süresi = 20dak)

Parametre	Hızlı Karıştırma Süresi, sn			
	30	60	120	180
Özgül Filtre Direnci (SRF) $\times 10^{12}$, m/kg	32,97	16,70	32,45	36,28
Kapiler Emme Süresi (CST),sn	137	83	176	183
Filtrasyon Süresi (FS), sn	430	388	450	470

Ek 9: Farklı Yavaş Karıştırma Sürelerindeki CST, SRF ve FS Değerleri (pH=2,5, Alum Dozajı =100 mg/L, Polimer Dozajı =15 mg/L, Hızlı Karıştırma Süresi = 1dak)

Parametre	Yavaş Karıştırma Süresi, dak				
	5	10	15	20	25
Özgül Filtre Direnci (SRF) $\times 10^{12}$, m/kg	26,00	25,65	19,20	16,70	25,31
Kapiler Emme Süresi (CST),sn	133	131	127	83	194
Filtrasyon Süresi (FS), sn	508	490	463	388	504

Ek 10: Farklı FeCl₃/Alum Karışım Oranlarındaki CST, SRF ve FS Değerleri (pH=2,5, Karışım Dozajı = 90 mg/L, Karıştırma Süresi=1 dak, Karıştırma Hızı =150 devir/dak)

Deney No	FeCl ₃ /Alum	Filtrasyon Süresi (FS), sn	Kapiler Emme Süresi (CST), sn	Özgül Filtrasyon Direnci (SRF) $\times 10^{12}$, m/kg
1	1/1	846	145	23,92
2	1/2	347	139	11,97
3	1/3	262	130	7,12
4	1/4	160	32	3,97
5	1/5	175	35	5,51
6	2/1	193	37	5,6
7	2/3	207	39	7,66
8	2/5	233	52	8,51
9	3/1	290	85	9,86
10	3/2	394	150	10,51