

107437

**SANTRİFÜJLER İÇİN UYGUN ÇAMUR
ŞARTLANDIRMA YÖNTEMLERİNİN
BELİRLENMESİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM ENSTİTÜSÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çevre. Müh. Nilgün BİÇEROĞLU
(501961407)

101437

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Ocak 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Şubat 2001

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Lütfi AKÇA

Lütfi Akça

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Hasan Z. SARIKAYA (İ.T.Ü.)

H. Sarıkaya

Yrd.Doç.Dr. Ayşen ERDİNÇLER (B.Ü.)

Ayşen Erdinçler

ŞUBAT 2001

ÖNSÖZ

Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurlar çok miktarda hacim kaplamakta ve faydalı kullanım alanlarının kısıtlı olmasından dolayı sorun yaratmaktadırlar. Çamur suyunun alınarak, çamur hacminin azaltılması için çeşitli mekanik susuzlaştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Susuzlaştırmanın verimli olabilmesi için susuzlaştırma sistemine uygun şartlandırma yöntemleri uygulanmalıdır. Bu çalışmanın amacı mekanik bir susuzlaştırma sistemi olan santrifüjler için uygun şartlandırma koşullarının belirlenmesidir.

Çalışmanın her aşamasında değerli katkılarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Lütfi AKÇA'ya ve çalışmaları beraber yürüttüğümüz arkadaşım Çevre Müh. M.E. Zafer Hızal'a teşekkürü bir borç bilirim.

Şubat 2001

Nilgün BİÇEROĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
TABLO LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ	IX
ÖZET	X
SUMMARY	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu	1
1.2. Amaç ve Kapsam	3
2. ÇAMUR ÖZELLİKLERİ	5
2.1. Fiziksel Özellikler	5
2.1.1. Konsantrasyon	6
2.1.2. Özgül Ağırlık	7
2.1.3. Partikül Boyutu	8
2.1.4. Partikül Yüzey Yüğü	9
2.1.5. Su Dağılımı	9
2.1.6. Akım Özellikleri	10
2.1.7. Reolojik Özellikler	11
2.2. Kimyasal Özellikler	13
2.2.1. Isıl Değer	13
2.2.2. Gübre Değeri	13
2.2.3. Besin Değeri	14
2.3. Biyolojik Özellikler	14
3. ÇAMUR SUSUZLAŞTIRMA	15
3.1. Doğal Susuzlaştırma Yöntemleri	16
3.1.1. Kum Kurutma Yatakları	17
3.1.2. Donma Çözölme Yatakları	18
3.1.3. Vakumlu Kurutma Yatakları	19
3.1.4. Çamur Kurutma Lagünleri	20
3.1.5. Kaplamalı Kurutma Yatakları	21
3.1.6. Kamalı Kurutma Yatakları	21

3.2. Mekanik Susuzlaştırma Yöntemleri	22
3.2.1. Belt Filtre Pres	22
3.2.2. Vakum Filtre Pres	23
3.2.3. Filtre pres	25
3.2.4. Santrifüjler	27
3.2.4.1. Santrifüj Tasarım Esasları	28
3.2.4.2. Sepet Tipi Santrifüjler	31
3.2.4.3. Solid Bowl Tipi Santrifüjler	34
3.2.4.4 Santrifüj Verimine Etki Eden Faktörler	37
3.2.4.5. Santrifüj Verimlerini Tahmin Etmek İçin Kullanılan Testler	40
4. ŞARTLANDIRMA	46
4.1. Şartlandırmanın Tanımı Ve Amacı	46
4.2. İnorganik Kimyasal Şartlandırma	47
4.3. Organik Polimerler	49
4.4. Şartlandırma Mekanizmaları	51
4.4.1. Polimerlerin Partiküllerle Gerçekleştirdiği Reaksiyonlar	53
4.5. Şartlandırmaya Etki Eden Faktörler	56
4.5.1. Çamur Kaynağı ve Çamur Özellikleri	57
4.5.2. Katı Madde Miktarı	57
4.5.3. Partikül Boyutu ve Dağılımı	58
4.5.4. Sıkışabilirlik	59
4.5.5. Kimyasal Madde Dozu	60
4.5.6. Karıştırma Şiddeti ve Süresi	62
4.5.7. Katyon Konsantrasyonu	65
4.5.7. pH ve Alkalinite	67
4.5.8. Biyolojik Faktörler	67
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	69
5.1. Ataköy Arıtma Tesisi Genel Tasarım Bilgileri	69
5.2. Deneysel Yöntem	71
5.3. Deney Sonuçları ve Değerlendirme	77
5.3.1. Karışım Şartları ve Polimer Dozunun Filtre Edilebilirlik Üzerindeki Etkisi	77
5.3.1.1. Kapiler Emme Süresindeki Değişimler	77
5.3.1.2. Filtrasyon Süresindeki Değişimler	88
5.3.2. Karışım Şartları ve Polimer Dozunun Santrifüj Verimi Üzerindeki Etkisi	99

6. SONUÇLAR	110
KAYNAKLAR	115
EKLER	119
ÖZGEÇMİŞ	123



TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1. Evsel Atıksu Çamurları İçin Konsantrasyon Değerleri.....	7
Tablo 2.2. Çeşitli Çamur Tipleri İçin Özgül Ağırlık Değerleri.....	8
Tablo 2.3. Çamur Tiplerine Göre Nütrient Oranları.....	13
Tablo 3.1. Mekanik Susuzlaştırma Sistemlerinin Karşılaştırması.....	25
Tablo 3.2. Sepet Tipi Santrifüjlerin Tipik Performans Değerleri.....	33
Tablo 3.3. Bowl Tipi Santrifüjlerin Tipik Performans Değerleri.....	35
Tablo 3.4. Santrifüjlerin Verimini Etkileyen Faktörler.....	39
Tablo 4.1. Primer ve Aktif Çamur Karışımında Uygulanan Çeşitli Şartlandırma Yöntemleri.....	47
Tablo 5.1. Ataköy Arıtma Tesisi tasarım debileri (m ³ /saat).....	69
Tablo 5.2. Ataköy Arıtma Tesisi boyutlandırma kriterleri (YPM, 1996).....	70
Tablo 5.3. Ataköy Arıtma Tesisi'nin çeşitli birimlerinin kirlilik parametreleri ve giderim verimleri boyutlandırma kriterleri (YPM, 1996).....	70
Tablo 5.4. Ataköy Arıtma Tesisi çamur çürütme tankı tasarım parametreleri (YPM, 1996).....	71
Tablo 5.5. Yoğunlaştırılmış Çamurun özellikleri (Ortalama değerler).....	72
Tablo 5.6. Deneysel Çalışmada Kullanılan CYTEC 250 Marka Polimerin Özellikleri.....	72
Tablo 5.7. Numunelere Uygulanan Dozlar ve Çözelti Hacimleri.....	73
Tablo 5.8. Çeşitli Karışım Şartlarında Minimum KES Değerlerinin Belirlendiği Dozların Değişimi (mgPE/kgKM).....	82
Tablo 5.9. Çeşitli Karışım Şartlarındaki Minimum KES (sn) Değerleri.....	82
Tablo 5.10 Çeşitli Karışım Şartlarında KES ve FS Sonuçlarına Göre Minimum Değerlerin Elde Edildiği Dozlar.....	89

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 : Sepet Tipi Santrifüjler.....	32
Şekil 3.2 : Eş Yönlü Akımlı Solid Bowl Tipi Santrifüj.....	36
Şekil 3.3 : Ters Yönlü Akımlı Solid Bowl Tipi Santrifüj.....	36
Şekil 3.4 : Havuz Hacminin Santrifüj Verimine Etkisi	38
Şekil 3.5 : Kapiler Emme Süresi Deney Düzenegi.....	42
Şekil 3.6 : Buncher Hunisi Deney Düzenegi.....	42
Şekil 3.7 : Penetrometre Deney Düzenegi.....	45
Şekil 4.1 : Negatif Yüklü Partiküllerin Etrafındaki Tabakalar.....	52
Şekil 4.2 : Partiküllere Etki Eden İtme Çekme Kuvvetleri.....	52
Şekil 4.3 : Polimer İlavesiyle Partiküllerin Destabilizasyonu.....	55
Şekil 4.4 : Partikül Boyutu İle Susuzlaşabilirlik Arasındaki İlişki.....	59
Şekil 4.5 : Polimer Dozuna Bağlı Olarak Özgül Direnç Ve Kapiler Emme Süresindeki Değişim.....	60
Şekil 4.6 : Biyolojik Çamurlarda Katyonik Polimer İlavesi İle Gerçekleşen Reaksiyonlar.....	61
Şekil 4.7 : Polimer Dozuna Bağlı Olarak Süzüntü Viskozitesinin Değişimi	62
Şekil 4.8 : Alüm Çamurlarında Şartlandırılmasında Karıştırma Süresinin Ve Polimer Dozunun Etkisi.....	63
Şekil 4.9 : Alüm Çamurları İçin Gt'nin Optimum Doza Etkisi.....	64
Şekil 4.10 : Alüm Çamurları İçin Karışım Şartları Ve Polimer Dozunun KES Üzerindeki Etkisi.....	65
Şekil 4.11 : Çamurdaki Katyon Oranının Susuzlaşabilirlik Üzerindeki Etkisi	67
Şekil 5.1 : Çalışmalarda Kullanılan Karıştırıcı Düzenegi.....	74
Şekil 5.2 : Çalışmalarda Kullanılan Santrifüj.....	75
Şekil 5.3 : Optimum Santrifüjleme Süresinin Belirlenmesi.....	76
Şekil 5.4 : 50 dev/dk Karıştırma Hızında KES Değerinin Değişimi.....	78
Şekil 5.5 : 75 dev/dk Karıştırma Hızında KES Değerinin Değişimi.....	78
Şekil 5.6 : 100 dev/dk Karıştırma Hızında KES Değerinin Değişimi.....	79
Şekil 5.7 : 150 dev/dk Karıştırma Hızında KES Değerinin Değişimi.....	79
Şekil 5.8 : 250 dev/dk Karıştırma Hızında KES Değerinin Değişimi.....	80
Şekil 5.9 : 500 dev/dk Karıştırma Hızında KES Değerinin Değişimi.....	81
Şekil 5.10 : 1000 dev/dk Karıştırma Hızında KES Değerinin Değişimi.....	81
Şekil 5.11 : 1mgPE/kgKMPolielektrolit Dozunda Kapiler Emme Süresindeki Değişim.....	83
Şekil 5.12 : 3 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Kapiler Emme..... Süresindeki Değişim.....	84
Şekil 5.13 : 5 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Kapiler Emme..... Süresindeki Değişim.....	85

Şekil 5.14	: 7 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Kapiler Emme.....	
	Süresindeki Değişim.....	86
Şekil 5.15	: 50 dev/dk Karıştırma Hızında Filtrasyon Süresi Değerinin	
	Değişimi.....	90
Şekil 5.16	: 75 dev/dk Karıştırma Hızında Filtrasyon Süresi Değerinin	
	Değişimi.....	90
Şekil 5.17	: 100 dev/dk Karıştırma Hızında Filtrasyon Süresi Değerinin	
	Değişimi.....	91
Şekil 5.18	: 150 dev/dk Karıştırma Hızında Filtrasyon Süresi Değerinin	
	Değişimi.....	91
Şekil 5.19	: 250 dev/dk Karıştırma Hızında Filtrasyon Süresi Değerinin	
	Değişimi.....	92
Şekil 5.20	: 500 dev/dk Karıştırma Hızında Filtrasyon Süresi Değerinin	
	Değişimi.....	92
Şekil 5.21	: 1000 dev/dk Karıştırma Hızında Filtrasyon Süresi Değerinin	
	Değişimi.....	93
Şekil 5.22	: 1 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Filtrasyon Süresindeki	
	Değişim.....	95
Şekil 5.23	: 3 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Filtrasyon Süresindeki	
	Değişim.....	96
Şekil 5.24	: 5 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Filtrasyon Süresindeki	
	Değişim.....	97
Şekil 5.25	: 7 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Filtrasyon Süresindeki	
	Değişim.....	98
Şekil 5.26	: 50 dev/dk Karıştırma Bulanıklık Değerinin Değişimi.....	99
Şekil 5.27	: 75 dev/dk Karıştırma Bulanıklık Değerinin Değişimi.....	100
Şekil 5.28	: 100 dev/dk Karıştırma Bulanıklık Değerinin Değişimi.....	100
Şekil 5.29	: 150 dev/dk Karıştırma Bulanıklık Değerinin Değişimi.....	101
Şekil 5.30	: 250 dev/dk Karıştırma Bulanıklık Değerinin Değişimi.....	101
Şekil 5.31	: 500 dev/dk Karıştırma Bulanıklık Değerinin Değişimi.....	102
Şekil 5.32	: 1000 dev/dk Karıştırma Bulanıklık Değerinin Değişimi.....	102
Şekil 5.33	: 1 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Bulanıklık.....	
	Değerlerindeki Değişim.....	106
Şekil 5.34	: 3mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Bulanıklık.....	
	Değerlerindeki Değişim.....	107
Şekil 5.35	: 5 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Bulanıklık.....	
	Değerlerindeki Değişim.....	108
Şekil 5.36	: 7mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Bulanıklık.....	
	Değerlerindeki Değişim.....	109
Şekil Ek.1	: 50 dev/dk Karışım Hızında Katı Madde Oranındaki Değişim.....	119
Şekil Ek.2	: 75 dev/dk Karışım Hızında Katı Madde Oranındaki Değişim.....	119
Şekil Ek.3	: 100 dev/dk Karışım Hızında Katı Madde Oranındaki Değişim...	120
Şekil Ek.4	: 150 dev/dk Karışım Hızında Katı Madde Oranındaki Değişim...	120
Şekil Ek.5	: 250 dev/dk Karışım Hızında Katı Madde Oranındaki Değişim...	121
Şekil Ek.6	: 500 dev/dk Karışım Hızında Katı Madde Oranındaki Değişim...	121
Şekil Ek.7	: 1000 dev/dk Karışım Hızında Katı Madde Oranındaki Değişim	122

SEMBOL LİSTESİ

N	: Partikül Yoğunluğu
L	: Partikül Boyutu
τ	: Kayma Gerilmesi
μ	: Dinamik Viskozite
dv/dy	: Hız Gradyanı
τ_y	: İlk kayma gerilmesi
C	: Gravimetrik konsantrasyon
R	: Dönen Sıvı Kütlesinin Yarıçapı
d	: Partikül Çapı
g	: Yerçekimi İvmesi
ρ_1	: Sıvı Yoğunluğu
ρ_s	: Partikül Yoğunluğu
Σ	: Teorik hidrolik kapasite
L	: Efektif santrifüj boyu
w	: Bowl Açısal Hızı
r_1	: Santrifüj Ekseninden Santrifüj İç Duvarına Kadar Olan Yarıçap
r_2	: Santrifüj Ekseninden Santrifüj İçindeki Sıvının Yüzeyine Kadar Olan Yarıçap
KES_n	: Şartlandırılmış Çamurun n Süresi Karıştırma Sonucu Ölçülen Kapiler Emme Süresi Değeri
KES	: Kapiler Emme Süresi
FS	: Filtrasyon Süresi
G	: Hız Gradyanı

ÖZET

SANTRİFÜJLER İÇİN UYGUN ÇAMUR ŞARTLANDIRMA YÖNTEMLERİNİN BELİRLENMESİ

Çamur arıtma ve uzaklaştırma; atıksu arıtma sistemlerinde maliyeti en yüksek ve uygulanması en zor olan proseslerden biridir. Yaklaşık olarak yatırım ve işletme maliyetlerinin yarısını çamur arıtma ve uzaklaştırma maliyetleri oluşturmaktadır. Susuzlaştırma işleminin verimli bir şekilde yapılabilmesi için çamura fiziksel, kimyasal veya termal işlemler uygulanarak şartlandırma yapılır. Şartlandırma prosesi ile çamur içindeki partiküller arasındaki kuvvetler nötralize edilir. Nötralizasyon sonucu küçük partiküller birbirleriyle birleşerek daha büyük olan floklar oluştururlar. Şartlandırma yaygın olarak kimyasal madde ilavesi ile gerçekleştirilir. Kimyasal madde ilavesiyle çamur suyunu daha kolay ve hızlı olarak bırakmakta ve susuzlaştırma maliyetini azaltmaktadır.

Şartlandırma prosesinin etkili bir şekilde yapılabilmesi kimyasal madde çeşidi ve miktarına bağlıdır. Optimum polimer dozu; hem optimal susuzlaştırmayı sağlayan hem de en düşük kimyasal madde ilavesi ile kabul edilebilir susuzlaştırma performansı elde edilen kimyasal madde dozudur. Optimum polielektrolit dozunun belirlenmesinde, karıştırma şiddeti ve karıştırma süresi kritik faktörlerdir.

Karıştırma karakteristikleri şartlandırma ve susuzlaştırma sistemlerinin optimizasyonunda önemli rol oynamaktadır. Şartlandırma ile oluşan flokların dayanıklılığını kimyasal madde dozu ve karışım koşulları belirlemektedir. Bu çamura yüksek kuvvetler uygulayan susuzlaştırma sistemlerinde daha fazla önem taşımaktadır. Çamur partikülleri uygulanan yüksek kuvvetler sebebiyle parçalanmakta ve susuzlaşabilirlik özellikleri bozulmaktadır. Bunun sonucu olarak çamur suyunu daha zor bırakmakta ve polimer ihtiyacı artmaktadır. Bundan dolayı, santrifüjlerde yüksek verim elde etmek için güçlü floklarına ihtiyaç vardır.

Farklı karışım koşullarında şartlandırılmış olan çamur numunelerinin suyunu verme özellikleri ve dolayısıyla susuzlaştırma sistemlerinde optimum verimi elde etmek için gerekli olan şartlandırıcı madde miktarları çeşitli laboratuvar testleriyle tayin edilir. Kapiler emme süresi (KES), özgül direnç ve filtrasyon süresi tayinleri yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Kapiler emme süresi hızlı ve basit olarak uygulanabilmesinden dolayı en çok uygulanan yöntemdir. Kapiler emme süresi tayini, çamurdaki suyun boşluklu bir filtre kağıdı üzerinde yerçekimi etkisiyle dairesel olarak yayılması esasına dayanır. Belirli iki nokta arasındaki mesafeyi aldığı süre kapiler emme süresi olarak tanımlanır. Özgül direnç ve filtrasyon süresi tayinleriyle ise çamura vakum uygulanarak filtre edilebilirlik özellikleri belirlenir.

Yapılan çalışmanın amacı, santrifüjlerde etkili bir susuzlaştırmanın gerçekleşmesi için uygun şartlandırma koşullarının ve polielektrolit dozunun belirlenmesidir. Bu amaçla laboratuvar çalışmalarında Ataköy Atıksu Arıtma Tesisinden alınan anaerobik çürümüş çamur kullanılmıştır. Anaerobik çürümüş çamurlar yüksek miktarda negatif yüklü kolloidler ihtiva ettiğinden, CYTEC 250 katyonik polimer kullanılmıştır. Çeşitli polimer dozları (1, 3, 5, 7 mgPE/kgKM), 500 ml çamur hacmine ilave edilmiş ve 50, 75, 100, 150, 250, 500, 1000 dev/dk karıştırma şiddetlerinde 0.5, 1, 3, 5, 7 dakika sürelerinde karıştırılmıştır. Karıştırma sonrasında çamurun kapiler emme süresi (KES) ve filtrasyon süresi (FS) tayin edilmiştir. Böylece filtre edilebilirlik özelliklerinin tespitinde kullanılan bu test yöntemlerinden santrifüjler için uygunluğunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

Şartlandırılmış çamur numuneleri laboratuvar tipi santrifüjde 3000 dev/dk (1200g) dönme hızında 3 dakika santrifüjlenmiştir. Santrifüjleme süresi deneysel olarak belirlenmiş ve optimum süre 3 dakika olarak uygulanmıştır. Santrifüjleme sonunda çamur numunelerinin duru fazı ayrılmış ve bulanıklık değerleri ve kek katı madde muhtevası ölçülmüştür. Santrifüjlenme sonucu elde edilen sonuçlara göre santrifüjler için uygun polimer dozları ve karışım karakteri belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan çalışmalara göre, çamurun suyunu verme hızının polimer ilavesiyle arttığı görülmüştür. Karıştırma hızı ve karıştırma süresi şartlandırma işleminin verimini etkilemektedir. Optimum kimyasal madde dozu, karıştırma hızı ve karıştırma süresine bağlı olarak değişmektedir. Karışım hızının artması kimyasal madde ihtiyacını arttırmıştır. Farklı polimer dozları ve karışım koşullarında benzer filtre edilebilirlik özellikleri elde edilmiştir. Bu değerler, düşük dozlar eklenmesi halinde düşük karışım şartlarında gerçekleşirken yüksek dozlarda hızlı karışım şartlarında belirlenmiştir. Yüksek dozlarda ve hızlı karışım koşullarında duru fazın bulanıklık değerlerinin düşük olduğu ve bulanıklık değerleri polimer ilavesi ile azaldığı tespit edilmiştir.

SUMMARY

DETERMINATION OF SLUDGE CONDITIONING METHODS FOR CENTRIFUGES

Sludge dewatering prior to disposal is one of the most difficult and the expensive processes in waste water treatment plants. Nearly 50% of the overall capital and operating costs of a typical waste water treatment plant may be due to sludge management and handling of sludge. For effective sludge dewatering, sludge is conditioned by applying physical, chemical or thermal processes. Conditioning neutralize the electrical charge on the particles in sludge. As a result of neutralization, small particles come together and form larger flocs. Chemical addition is a common way of sludge conditioning. By chemical addition, sludge release water easy and rapidly, so that sludge dewatering costs decrease.

Conditioning performance depends on chemical type and dose. An optimal dose of sludge conditioner can be defined as either the amount of added chemicals that yields a optimal dewaterability or the lowest amount of added chemical that result in acceptable dewatering performance. Mixing intensity and mixing time are critical factors to determine the optimal chemical dose.

Mixing characteristics have an important role on the optimization of sludge conditioning and dewatering systems. The strength of the flocs forming via coagulation depends upon dose of chemical and mixing conditions. The strength of the flocs is more important for the dewatering systems such as the centrifugation, which cause high shear stress to sludge particles. Sludge particles deteriorate or disaggregate during the mechanical dewatering due to shear stress. As a result of this deterioration, dewaterability of sludge decreased and the required chemical dose for conditioning increase to overcome the effect of shear. So that, for effective dewatering by centrifuges, it is needed the more strong floc structures.

Sludge dewaterability and chemical requirements in order to obtain optimal performance can be predicted by several laboratory procedures. Capillary suction time (CST), specific resistance to filtration and time to filter are most common used procedures. Capillary suction time (CST) is a widely used method due to its easy and rapid application. Capillary suction time (CST) test is based on flowing water by gravity through the filter paper. It measure the time that water flowing through the filter paper takes between two dots. Specific resistance to filtration and time to filter are obtained by applying vacuum to sludge.

Sludges used for laboratory experiments were taken from the anaerobic sludge digester of Ataköy Biological Wastewater Treatment Plant. Anaerobically digested sludges contain large amount of negative charged by colloidal particles, so that cationic polymer, CYTEC 250, was used. Different polymer dose (1, 3, 5, 7 mgPE/kgTS) were added to 500 mL sludge volume and mixed at 50, 75, 100, 150,

250, 500, 1000 rpm mixing intensity for 0.5, 1, 3, 5, 7 minutes. After mixing capillary suction time (CST) and time to filter parameters were measured. In this way, it was aimed to investigate of the proper laboratory methods for centrifuges.

Conditioned sludge samples were centrifuged by using laboratory centrifuge for 3 minutes at 3000 rpm (1200g). The centrifugation time was determined by experiments and obtained optimal time as 3 minutes. After centrifugation centrate phase turbidity and cake solid concentration were measured.

As a of research this search, in addition to polymer, combination of mixing intensity and mixing time controls conditioning performance. The optimum chemical dose depends on both mixing intensity and mixing time. As mixing intensity increase, chemical requirements also increase. According to results, several polymer dose and mixing condition combinations can be used to achieve the same optimal conditioning performance. This range from lows dose and low mixing intensity to high dose and high mixing intensity. Based on the centrifuge performance data, high dose and high mixing intensity combinations gave optimal results. Centrate phase turbidity decreased with polymer addition.



1. GİRİŞ

1.1 KONU

Çevre mühendisliğindeki en önemli problemlerden biri, evsel ve endüstriyel atıksu kaynaklı çamurların uzaklaştırılmasıdır. Arıtma tesisinin çeşitli kademelerinden kaynaklanan çamurlar, susuzlaştırma ünitelerinde hacimleri azaltılarak nihai kullanım için faydalı hale getirilmektedir. Susuzlaştırılmış çamurlar taşıdıkları özelliklere göre tarım alanlarında gübre, arazilerde dolgu malzemesi olarak yararlı kullanım alanlarında değerlendirilebileceği gibi düzenli depolama alanlarında veya yakma tesislerinde bertaraf edilebilmektedir.

Çamur susuzlaştırma, mekanik susuzlaştırma sistemlerinde veya doğal susuzlaştırma sistemlerinde gerçekleştirilmektedir. Çamur susuzlaştırmada kullanılan mekanik susuzlaştırma sistemleri; santrifüj, belt filtre pres, filtre pres ve vakum fitrelerdir. Santrifüjler, evsel ve endüstriyel atıksu çamurlarının susuzlaştırılmasında sahip olduğu bir çok üstünlükten dolayı kullanımı giderek artmaktadır. Santrifüjler diğer mekanik susuzlaştırma sistemlerine oranla daha az yer kaplamakta, daha az koku ve görüntü problemini yol açmaktadır. Ayrıca düşük kimyasal madde ilavesi ile yüksek verim elde edilmekte, işletimi basit ve eleman ihtiyacı düşük olan sistemlerdir.

Susuzlaştırma sisteminin seçimi; çamurun nihai kullanım amacı, kullanılan arıtma prosesinin türü ve ekonomik analizlere bağlı olarak yapılmaktadır. Sistemin seçiminde susuzlaştırma sisteminin boyutları, çamur miktarı ve tipi arazi durumu, gerekli kimyasal madde miktarı, çevresel faktörler, maliyet ve uygulanabilirliği göz önüne alınarak en uygun susuzlaştırma metodu seçilmelidir.

Susuzlaştırma işleminin verimli bir şekilde yapılabilmesi için çamura çeşitli kimyasal madde ilave edilerek şartlandırılır ve çamurun suyunun daha kolay bir şekilde vermesi sağlanır. Kimyasal madde ilavesi yapılmadan uygulanan susuzlaştırma

işlemi, çamurun suyunu vermesi için gerekli olan süre artmakta ve susuzlaştırma işlemi etkili bir şekilde yapılamamaktadır. Kimyasal madde ilavesi yapılarak çamurun suyunun uzaklaştırılması daha hızlı bir şekilde yapılmakta ve gerekli enerji miktarı azalmaktadır. Şartlandırmanın esas amacı, arıtma çamurlarının susuzlaştırma prosesine hazırlanmasıdır. Başka bir deyişle fiziksel veya kimyasal yöntemlerle çamur partiküllerinin daha kolay susuzlaşabilir hale getirilmesidir. Mekanik çamur susuzlaştırma proseslerinde harcanan enerji, özgül dirence bağlı olarak değişmektedir. Şartlandırma ile çamurun suyunu bırakma özelliğini ifade eden özgül direnç azalmakta ve susuzlaştırma maliyeti düşmektedir.

Çamur şartlandırmada kullanılan kimyasal maddeler; demir(III) klorür, kireç gibi inorganik maddeler ve organik şartlandırıclardır. İnorganik kimyasalların yerini son yıllarda daha az miktarda kullanılan verimi daha yüksek ve uygulanabilirliği daha kolay olan organik şartlandırıclara bırakmıştır. Şartlandırma verimi, çamur özellikleri, şartlandırıcı özellikleri ve karıştırma şartlarına göre değişmektedir. Şartlandırmaya etki eden çamur özellikleri; çamur tipi ve kaynağı katı madde oranı, partikül boyutu ve dağılımı, viskozite, sıcaklık gibi parametrelerdir. Şartlandırmanın etkin bir şekilde yapılabilmesi gerekli olan optimum polielektrolit dozu , uygulanan karıştırma şiddeti ve karıştırma süresine bağlı olarak değişir. Optimum polielektrolit dozu, şartlandırılmış çamur numunelerinin suyunu verme özellikleri tayin edilerek belirlenir. Çamur suyunu verme özellikleri; kapiler emme süresi, özgül direnç, filtrasyon süresi ve Buchner hunisi filtrasyonu gibi birçok deneysel yöntemle tayin edilmektedir.

Bu çalışmada, Ataköy Arıtma Tesisi'nden alınan anaerobik çürütülmüş çamur numuneleri, farklı polielektrolit dozları ve çeşitli karışım koşullarında şartlandırılmıştır ve çamur numunelerinin suyunu bırakma özelliklerinin tespiti kapiler emme süresi ve filtrasyon süresi testleri uygulanarak belirlenmiştir. Şartlandırılmış çamur numuneleri daha sonra santrifüjlenerek elde edilen duru fazın bulanıklık değeri ve kek katı madde oranı tayin edilerek şartlandırma koşullarının ve uygulanan polielektrolit dozunun santrifüj verimindeki etkisi araştırılmıştır.

1.2 AMAÇ VE KAPSAM

Susuzlaştırma sistemlerinin verimi açısından şartlandırma önemli bir faktördür. Susuzlaştırmanın etkili bir şekilde yapılabilmesi için şartlandırma koşulları ve polielektrolit miktarı uygulanan susuzlaştırma prosesine göre seçilmelidir. Uygun polimer ve doz seçimi, şartlandırmanın ve susuzlaştırmanın verimli bir şekilde yapılabilmesi bakımından önemlidir. Optimum polimer dozunun belirlenmesinde karıştırma şiddeti (G) ve karıştırma süresi (t) kritik faktörlerdir. Genel olarak karıştırma şiddetinin artması (Gt) polimer ihtiyacını arttırmaktadır.

Şartlandırma ile elde edilen floklarının dayanıklılığı, uygulanan polielektrolit dozu ve şartlandırma koşulları ile yakından ilişkilidir. Karıştırma karakteristikleri şartlandırma ve susuzlaştırma sistemlerinin optimizasyonunda önemli rol oynar. Şartlandırılmış çamurlar susuzlaştırma prosesi boyunca kesme kuvvetine maruz kalmaktadır. Çamura uygulanan kesme kuvveti çamur partiküllerinin parçalanmasına yol açtığından susuzlaştırma verimini düşürmektedir. Bu özellikle santrifüjler gibi çamurun yüksek kuvvete maruz kaldığı susuzlaştırma sistemlerinde daha önemlidir. Kesme kuvveti partiküllerin parçalanmasına neden olarak çamur özelliklerini kötüleştirmekte ve polielektrolit ihtiyacını arttırmaktadır. Polielektrolit miktarının artırılmasıyla parçalanmış partiküllerin tekrar birleşmesi sağlanarak bu aşırı kesme kuvvetinin etkisi azaltılmaktadır. Bu bakımdan şartlandırma koşulları, seçilecek susuzlaştırma sistemi gözönüne alınarak yapılmalıdır. Çamur susuzlaştırma yönteminin seçilmesi karıştırma şiddetine (Gt) ve polielektrolit dozuna göre belirlenmelidir. Benzer filtre edilebilirlik özelliklerine sahip çamurlar farklı polielektrolit dozu ve karışım koşullarında elde edilebilmektedir. Düşük polielektrolit dozu uygulanması halinde optimum şartlandırmanın gerçekleştiği karışım şiddeti düşükken polielektrolit dozunun artması ile benzer sonuçlar elde etmek için karışım şiddeti artırılmalıdır. Düşük Gt ve düşük polielektrolit dozları uygulanarak şartlandırılan çamurlar kurutma yatakları gibi düşük gerilmeli susuzlaştırma sistemler için uygundur. Santrifüjler gibi yüksek gerilmeli susuzlaştırma sistemler ise güçlü floklar gerektirdiğinden yüksek Gt değerlerinde ve yüksek polielektrolit dozları en yüksek verimi vermektedir. Benzer filtre edilebilirlik sonuçlarını veren floklardan en dayanıklı flokları oluşturan dozlar seçilmelidir.

Yapılan deneysel çalışmada, değişik karıştırma şiddetlerinde ve karıştırma sürelerinde şartlandırılmış çamurların santrifüjleme verimleri incelenmiştir. Çalışmalarda, biyolojik çamurlar yüksek miktarda kolloidal daneler içermesinden dolayı daha yüksek verime sahip olduğundan katyonik polimer kullanılmıştır. Farklı polielektrolit dozları ve değişik karışım koşullarında şartlandırılmış çamur numunelerinin filtre edilebilirlik özellikleri kapiler emme süresi ve filtrasyon süresi testleri uygulanarak belirlenmiştir. Böylece filtre edilebilirlik özelliklerinin tespitinde kullanılan bu test yöntemlerinden santrifüjler için uygunluğunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

Şartlandırılmış çamur numuneleri laboratuvar tipi santrifüj kullanılarak 3 dakika süresince 3000 dev/dk (1200g) dönme hızında santrifüjlenmiştir. Santrifüjleme sonucunda çamurun üst kısmındaki duru faz ayrılarak bulanıklık değeri türbidimetre kullanılarak NTU olarak tespit edilmiştir. Çamur kekinin katı madde muhtevası ise %KM olarak belirlenmiştir.

2. ÇAMUR ÖZELLİKLERİ

Evsel ve endüstriyel atıksu çamurları karakteristik özellikleri ve miktar açısından çok çeşitlilik gösterir. Esas olarak atıksu çamurları primer, biyolojik ve kimyasal çamurlar olmak üzere üç grupta toplanabilir:

Primer çamurlar, ham atıksudaki çökebilen özellikteki katı maddelerden, ızgara atıkları, kum ve köpük gibi ön arıtma ekipmanlarından kaynaklanan çamurlardır. Biyolojik çamurlar; aktif çamur, biodisk veya damlatmalı filrelerden kaynaklanan biyofilm çamurlarıdır. Kimyasal çamurlar ise kirleticilerin kimyasal madde ilavesi ile çöktürülmesi, askıda veya kolloidal katı maddelerin flokülasyon ile çöktürülmesi, kireç ile su yumuşatma gibi çok çeşitli kimyasal arıtma prosesleri sonucu oluşurlar. (EPA, 1982)

Çamur arıtma ve uzaklaştırma; atıksu arıtma sistemlerinde maliyeti en yüksek ve uygulanması en zor olan proseslerden biridir. Yaklaşık olarak yatırım ve işletme maliyetlerinin yarısını çamur arıtma ve uzaklaştırma maliyetleri oluşturmaktadır. Bu bakımdan arıtma tesislerinin tasarımı aşamasında oluşabilecek çamur miktarlarının ve çamur özelliklerinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Çamur özelliklerinin susuzlaştırma ve yoğunlaştırma proseslerinin verimi ve maliyeti üzerinde büyük etkisi vardır. Örneğin yoğunlaştırma aşamasında çamurdan 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:

2.1 FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Çamurların fiziksel özelliklerinin arıtma tesislerinde çamura uygulanan çeşitli işlemlerin verimi, maliyet üzerinde önemli etkileri vardır. Aktif çamurların fiziksel özellikleri biyolojik reaktördeki katı madde transferini, çıkış suyundan katı

madde giderimini, yoğunlaştırıcının verimini, kimyasal madde ihtiyacını, susuzlaştırma verimini ve çamurun pompalanması için gerekli enerji ihtiyacını, elde edilecek çamur kekinin nihai uzaklaştırma için taşıma maliyeti, kompostlanabilirliğini ve diğer yararlı kullanım yöntemlerinin uygulanabilirliğini tayin eder. (Dick ve dğr., 1985)

2.1.1 KONSANTRASYON:

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

$$C_1 = \frac{\text{mg kuru katı madde}}{\text{L camur}} = (\text{mg / L}) \quad (2.1)$$

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

$$C_2 = \frac{\text{gr kuru katı madde}}{\text{gr camur}} = (\text{gr / gr}) \quad (2.2)$$

Çamur özgül ağırlığı suya eşit yaklaşık 1 kabul edilerek;

$$C_1 = \text{mg / L} = 10000 (\% \text{ Katı Madde}) = C_2 \quad (2.3)$$

ifadesi bulunabilir. İnorganik madde oranı yüksek çamurların özgül ağırlığı yüksek olduğu için bu eşitlik geçerli değildir.

Çoğu kimyasal çamurların konsantrasyonu % 1'den azdır ve konsantrasyonun % 3 – 4'den fazla yoğunlaştırılması zordur. Fakat bu oran kimyasal çöktürme çeşidine göre değişmektedir. Kalsiyum çöktürmesi ile su yumuşatmada % 10 katı madde konsantrasyonu elde edilebilir ve yoğunlaştırma ile % 30 katı madde oranı sağlanabilir. Bu oran magnezyum çöktürmesinde daha düşük gerçekleşir.

Katı madde konsantrasyonu şartlandırma için gerekli olan kimyasal madde dozunu belirlemektedir. Katı madde konsantrasyonunun artması kimyasal madde ihtiyacını arttırmaktadır.

Tablo 2.1 Evsel Atıksu Çamurları İçin Konsantrasyon Değerleri (Metcalf & Eddy, Inc., 1991)

ÇAMUR TİPİ	AKM (%)	
	Ortalama Değer	Tipik Değer
Primer Çamurlar		
Taze	4.0 - 10.0	5.0
Yoğunlaşmış	5.0 - 10.0	8.0
Aerobik Çürümüş	2.5 - 7.0	3.5
Anerobik Çürümüş	5.0 - 10.0	7.0
Damlatmalı Filtre Çamurları		
Taze	1.0 - 3.0	1.5
D.F + Primer Çamur		
Taze	4.0 - 10.0	5.0
Yoğunlaşmış	4.0 - 9.0	5.0
Anerobik Çürümüş	3.0 - 8.0	4.0
Aktif Çamur		
Taze	0.5 - 1.5	0.8
Aktif Çamur + Primer Çamur		
Taze	3.0 - 8.0	4.0
Yoğunlaşmış	2.0 - 8.0	4.0
Aerobik Çürümüş	1.5 - 4.0	2.5
Anerobik Çürümüş	2.5 - 7.0	3.5

2.1.2 ÖZGÜL AĞIRLIK

Çamurun özgül ağırlığı, içindeki grit ve ince inert maddelerin bir fonksiyonudur. Bu inorganik maddelerin özgül ağırlığı 2,5 ~ 2,9 oranındadır. Kum tutucudan geçirilmiş çeşitli çamur tipleri için özgül ağırlıkları Tablo 2.2’de verilmiştir. Çamurun özgül ağırlığı çamur kaynağına göre değişmektedir.

Biyofilm çamurlarının özgül ağırlığı atık aktif çamurlara göre daha yüksektir. Anaerobik çürütücü çıkışında inert madde oranının artmasından dolayı özgül ağırlık yükselir. (EPA, 1982)

Tablo 2.2 Çeşitli Çamur Tipleri İçin Özgül Ağırlık Değerleri (EPA, 1982)

ÇAMUR TİPİ	ÖZGÜL AĞIRLIK
Ham Primer Çamur	$1 + 0,010 (\% \text{ TKM}) \sim 1 + 0,012 (\% \text{ TKM})$
Atık Aktif Çamur	$1 + 0,007 (\% \text{ TKM}) \sim 1 + 0,012 (\% \text{ TKM})$
Primer+Damlatmalı Filtre Çamuru	$1 + 0,015 (\% \text{ TKM}) \sim 1 + 0,025 (\% \text{ TKM})$
Primer + Atık Aktif Çamur	$1 + 0,004 (\% \text{ TKM}) \sim 1 + 0,006 (\% \text{ TKM})$

2.1.3 PARTİKÜL BOYUTU

Partikül boyutu susuzlaştırma verimini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Ortalama partikül boyutu, yüzey alanı ve yüzey/hacim oranı yükseldikçe azalır. Yüzey alanının artmasına neden olan faktörler şöyle sıralanabilir:

1. Negatif yüklü yüzey alanlarının geniş olmasından dolayı kaynaklanan partiküller arası itme kuvvetinin artması.

2. Kimyasal bağ alanlarının artmasından dolayı partikülleri yüzeyine daha çok su bağlanması. Partikül boyutu çamurun kaynağına ve önceki arıtma aşamalarına bağlı olarak değişir. Primer çamurlar daha fazla inorganik ve lifli maddeler ihtiva ettiğinden ortalama partikül boyutu sekonder çamurlara göre daha büyüktür. (EPA, 1982)

Partikül boyutu susuzlaştırma performansını direkt olarak etkilemektedir. Karr ve Keinath (1978) yaptıkları çalışmalarda $1 \sim 100 \mu\text{m}$ arasındaki partiküllerin susuzlaştırılabilme üzerinde direkt etkisi olduğunu göstermiştir. Bu boyuttaki partiküllerin fazla olması susuzlaştırmayı zorlaştırmaktadır. Kavanaugh (1980) partikül boyutu dağılımını üstel fonksiyon olarak aşağıdaki şekilde ifade etmiştir:

$$\frac{dN}{dL} = A^{-\beta} \quad (2.4)$$

N : Partikül Yoğunluğu

L : Partikül Boyutu

A, β : Boyut Dağılımı Parametreleri

β değerinin 1'e eşit olması üniform olduğunun göstergesidir. β değeri arttıkça partiküllerin üniformluğu bozulmaktadır.

2.1.4 PARTİKÜL YÜZEY YÜKÜ

Çamurlar çok miktarda kolloidler ve ince partiküller ihtiva ederler. Kolloidler negatif yüzey yüküne sahip olduklarından birbirlerini iterler ve birleşmesini 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 ve diğer metal tuzlarıdır. Kimyasal şartlandırma ile partiküller arası itme kuvveti azaltılarak partiküllerin bir araya gelmesi sağlanır.

2.1.5 SU DAĞILIMI

Çamuru karakterize eden diğer bir parametre de bünyesinde bulundurduğu suyun partiküllere bağlanış şekli ve miktarıdır. Çamurdaki su flok sisteminde bulunduğu yere göre dört kategoride incelenebilir. (Vesilind ve Martel, 1989):

1. Serbest su, partiküllere herhangi bir şekilde bağlı olmayan sudur. Serbest su arıtma sistemlerinde graviteli yoğunlaştırma ile uzaklaştırılabilir.
2. Flok yapılarındaki çatlakların içinde tutulmuş olan ve floklarla birlikte hareket eden su, flok yapısı bozularak mekanik susuzlaştırma sistemlerinde giderilebilir. (İntersititial water).

3. Su moleküllerinin molekül yapısından dolayı partikül yüzeyinde tutulan su, mekanik susuzlaştırma yöntemleri ile giderilemez. (Vicinal water)
4. Hidrasyon suyu partikül yapısına kimyasal olarak bağlanmış sudur ve sadece termokimyasal işlemler uygulanarak partikül yapısı bozularak uzaklaştırılabilir.

Çamurdaki su miktarı ve dağılımı, çamurun suyunu verme özelliklerini dolayısıyla susuzlaştırma limitini belirleyen önemli bir faktördür. Genel olarak düşük katı madde konsantrasyonlarında, partiküllerin ayrık ve flokların küçük olmasından dolayı flok yapılarının içinde tutulan su miktarı azdır. Çok yüksek konsantrasyonlarda flok yoğunluğunun artmasından dolayı flok suyu dışarı çıkar. Partiküllerin üst üste gelmesinden dolayı partikül yüzeyinde tutulan su miktarı azalır. Bu konsantrasyonun üstündeki değerler çamurun susuzlaşabilirlik sınırıdır. Çamurun daha fazla susuzlaşması mümkün değildir. (Smith ve dğr, 1992)

2.1.6 AKIM ÖZELLİKLERİ

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

1. SIVI : Kendi ağırlığı ile akabilen çamurlardır.
2. PLASTİK : Bu tip çamurlar kendi ağırlığı ile akamayacak kadar konsantre olan çamurlardır. Yeterli basınç uygulandığında şekil değiştirebilir ve pompalanabilir.
3. BÜZÜŞEBİLİR KATI : Büzüşebilir çamurlar pompalanamayacak kadar konsantre haldedir ve kurutularak hacmi azaltılabilir.
4. BÜZÜŞEMEYEN KATI : Büzüşemez haldeki çamurlar su ile doymuş haldeki, kurutulsa dahi hacmi değişmeyen ve bünyesinde boşluklar bulunduran çamurlardır.

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

2.1.7 REOLOJİK ÖZELLİKLER

Reolojik özellikler çamurun fiziksel özelliklerini belirleyen parametrelerdendir. Bu özellikler çamur popalama, borulama sistemlerinin dizaynını ve çamurun atıksudaki davranışını tayin eder. Ayrıca reolojik özelliklerin ölçümü çamur arıtma prosesinin izlenmesi bakımından da önemlidir.

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

$$\tau = \mu dv / dy \quad (2.5)$$

τ : Kayma Gerilme

μ : Dinamik Vizkosite

dv / dy : Hız Gradyanı

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

$$\tau = k (dv / dy)^n \quad (2.6)$$

k : Vizkositeyle karşılaştırılan amprik sabit.

n : Sabit (Zahirî 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 τ_y ilk kayma gerilmesi olarak adlandırılan kayma gerilmesine kadar çamur hareket etmez.

$$\tau = \tau_y + k \left(dv / dy \right)^n \quad (2.7)$$

τ : Kayma gerilmesi

τ_y : İlk kayma gerilmesi

dv/ dy : Hız gradyanı

k ve n : Amprik sabitler

Amprik sabit $n=1$ olması durumunda, k amprik sabiti plastik vizkosite olarak alınır ve Bingham plastik davranış görülür.Çamurlar genellikle bingham plastik gösterirler.

Çamurun reolojik özellikleri ayrıca kayma gerilmesinin uygulandığı süreye bağlı olarak da değişmektedir. Sabit t süresinde, sabit bir kayma gerilmesi altında daha akışkan hal alan maddeler thixotropik özellik taşırlar. Birçok araştırmacı aktif çamurların thixotropik özellik taşıdığını göstermiştir. (Dick ve dğr.,1985). Reolojik özellikler çamurun akım ve deformasyon özelliklerini tayin eder ve çamur arıtma proseslerinin işletilmesi ve kontrolünde izlenen parametrelerdir. İlk kayma gerilmesi (τ_y), plastik viskozite ve görünür viskozite çamurun fizikel özelliklerini belirleyen ve endüstriyel proseslerin izlenmesinde evsel atıksu tesislerinde daha yaygın olarak kullanılan reolojik parametrelerdir. İlk kayma gerilmesi çamurun yapısına göre değişmektedir. İlk katma gerilmesi ile gravimetrik konsantrasyon arasındaki ilişki Dick ve Ewing (1976) tarafından verilmiştir:

$$\tau_y = \alpha \cdot e^{vC} \quad (2.8)$$

C : Gravimetrik konsantrasyon (mg/l)

α ve v : Çamur özelliklerine bağlı olarak değişen sabitler

2.2 KİMYASAL ÖZELLİKLER

Çamurun kimyasal özellikleri nihai uzaklaştırma biçimini, çamurun yararlı kullanım olanaklarını ve çamur arıtma proseslerinin uygulanabilirliğini belirleme açısından önem taşır.

2.2.1 ISIL DEĞER

Çamurun verimli bir şekilde yakılabilmesi için yeterli kalorifik değere sahip olması gerekmektedir. Çamurun kalorifik değeri katı maddelerden dolayı kaynaklanmaktadır. Çamurun yoğunlaştırma ve susuzlaştırma prosesleriyle konsantrasyonunun artırılması kalorifik değerini de arttırmaktadır.

Normal halde kuru çamurun kalorifik değeri 22000 BTU / kg civarındadır. Çamur belli bir oranda su ihtiva ettiğinden bu değer 2000 BTU / kg'a kadar düşebilmektedir.

2.2.2 GÜBRE DEĞERİ

Çamurun gübre değeri çamurun kaynağına, türüne ve bünyesindeki azot, fosfor, potastum gibi nütrientlerin oranına bağlıdır. Aktif çamurlar primer çamurlara oranla daha yüksek oranda nütrient ihtiva ederler. Çamurun çürütülmesi çamurun gübre değerini azaltır. Tablo 2.3'de çeşitli çamur türlerinin nütrient oranları verilmiştir. Çamurun gübre değerini belirleyen diğer bir faktör de çok küçük konsantrasyonlarda bile toksik etki yapan ağır metal miktarıdır. Ağır metallerin mevcudiyeti çamurun kaynağına bağlıdır. En önemli ağır metaller; kadminyum, bakır, nikel ve civadır. Evsel atıksular önemli miktarda ağır metal içermez. Ağır metallerin başlıca kaynakları kaplama endüstrisi ...v.b gibi endüstriyel atıksulardır.

Tablo2.3 Çamur Tiplerine Göre Nütrient Oranları (EPA, 1979)

ÇAMUR TİPİ	% N	% P ₂ O ₅	% K ₂ O
Primer Çamur	2,4 – 2,9	1,1	-
D.F. Çamuru	2,9	2,8	-
Aktif Çamur	3,0 – 5,6	2,8 – 7,0	0,50
Çürümüş Karışık Çamur	1,8 – 5,9	1,2 – 3,5	0,14 – 0,40

2.2.3 BESİN DEĞERİ

Organik çamurlar mikroorganizmaların sentzinden dolayı önemli miktarda protein içermektedir ve bu özelliklerinden dolayı geri kazanımla hayvan yemi olarak kullanılabilirler. Rudulf (1940) tarafından yapılan çalışmada protein miktarı primer çamurlar için % 25, aktif çamurlar için % 36, kimyasal çamurlar için % 18 olarak verilmiştir.

2.3 BİYOLOJİK ÖZELLİKLER

Çamurun biyolojik özellikleri; biyolojik olarak arıtılabilirliği ve patojenik organizma bileşimidir. Çamurun biyolojik arıtılabilirliği çamurun organik madde bileşimine, yeterli miktarda nütrient bulundurmasına, büyüme faktörlerine ve toksit 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, kolera ve sarılıktır. Virüsler normal olarak çamurlarda bulunmazlar

Anaerobik çürütme patojenik mikroorganizmaları büyük ölçüde yoketmesine rağmen tamamını yoketmez. Anaerobik çürütücüde 20 günlük bekleme süresinde Salmonella Typhosa miktarı % 92 azalmaktadır. (Mc Kinney, 1958) Ayrıca çamura kireçle muamele, yakma, kurutma gibi işlemlerde patojenik mikroorganizmaları yokeder.

3. ÇAMUR SUSUZLAŞTIRMA

Çamurların susuzlaştırılması, çamurdaki su muhtevasının azaltılarak katı madde konsantrasyonunun artırılması yani çamur hacminin azaltılması için yapılan işlemler olarak tanımlanabilir. Genel olarak çamur içindeki suyun alınarak katı madde miktarının %15'den yukarıya çıkarılmış çamurlara kek denilmektedir. Çamur susuzlaştırma işlemlerinin amacı aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Çamur hacmini azaltarak, nihai uzaklaştırma için taşıma ve uzaklaştırma maliyetlerini azaltmak.
- Çamurun arazide kullanımı, düzenli depolanması veya tarım alanlarında gübre olarak kullanılması gibi nihai kullanımını avantajlı hale getirmek.
- Çamurun fazla suyunun alınarak kalorifik değerini arttırmak.
- Arazi doldurma amacıyla kullanılan çamurlar için sızıntı suyu tehlikesini azaltarak yeraltı suyunun kirlenmesini önlemek.

Çamur susuzlaştırma işlemleri ilk olarak 19. yüzyıl sonlarında alttan drenajlı lagün sistemlerinde yapılmaya başlanmıştır. 1920'lere kadar ön çöktürme çamurları için kurutma yatakları ve filtre presler kullanılmıştır. Aktif çamur sistemlerinin kullanılmaya başlanması ile bu çamurların susuzlaştırılması için yeni sistemler geliştirilmeye başlanmıştır.

Çamur susuzlaştırma sistemlerinin seçimi çamurun nihai kullanım amacı, kullanılan arıtma prosesinin türü ve ekonomik analizlere bağlı olarak yapılır. Proses seçiminde uygulanan ilk adım susuzlaştırma yöntemlerinin değerlendirilmesidir. Bunun için sistemin boyutları, çamur miktarı ve tipi, elde edilebilecek kek konsantrasyonu, arazi durumu ve işgücü, gereken şartlandırma derecesi, çevre şartları gibi çeşitli faktörler göz önüne alınarak uygun olabilecek sistemler kabaca belirlenir. Sistemin seçiminde ikinci adım ilk

maliyet analizidir. Çeşitli susuzlaştırma alternatifleri değerlendirilerek 3-5'den fazla yöntem belirlenir. Bu aşamadan sonra, seçilen bu yöntemler laboratuvar şartlarında denenerek çamur için uygulanabilirlikleri belirlenir. Arıtma sistemi büyük ve çamurdaki su muhtevası yüksek ise pilot sistemler gerekmektedir. Pilot çalışmalar yapılarak sistemdeki riskler minumuma indirilir. Son aşama olarak yapılan bütün çalışmalar değerlendirilir ve maliyet, iş gücü, enerji, kimyasal madde, işletme ve bakım ihtiyaçlarının hepsi göz önüne alınarak nihai karar verilir. (EPA, 1982).

Çamur susuzlaştırma proseslerini iki başlık altında toplamak mümkündür:

1. Doğal susuzlaştırma yöntemleri
2. Mekanik susuzlaştırma yöntemleri

3.1 DOĞAL SUSUZLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

Doğal susuzlaştırma sistemleri; çamurun suyunun tabii buharlaşma, gravite veya drenajla uzaklaştırıldığı proseslerdir. Ayrıca bu işlemlerde vakum uygulaması gibi kısmi işlemler de uygulanabilir. Doğal kurutma prosesleri uygulamaları karışık olmayan, işletilmesi basit ve enerji ihtiyacı daha az olan sistemlerdir. Bunun yanısıra arazi ihtiyacı ve çamurun kaldırılması için insan gücü ihtiyacı fazladır. Doğal susuzlaştırma yöntemleri:

- Kum kurutma yatakları
- Donma çözülme kum yatakları
- Vakum destekli yataklar
- Kama şeklinde delik tabanlı yataklar
- Çamur lagünleri
- Kaplamalı yataklar
- Diğer yöntemler.

3.1.1 KUM KURUTMA YATAKLARI

Kum kurutma yatakları 20. yüzyılın başından itibaren atıksu arıtma tesisleri ile birlikte kullanılmaya başlanmış ve günümüzde de başarıyla kullanılmaktadır. Kum kurutma yataklarında çamurun susuzlaştırma işlemi çamurdaki serbest suyun uzaklaştığı gravite drenajı ve onu takiben buharlaşma ile gerçekleşir. Kum kurutma yataklarının avantajları ve dezavantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

Avantajları:

- Yeterli arazi olduğu durumlarda yatırım maliyeti en düşük sistemdir.
- Enerji ihtiyacı düşüktür.
- İşletilmesi kolaydır.
- Değişik çamur türlerinden en az şekilde etkilenir.
- Kimyasal madde ihtiyacı azdır.
- Verim yüksektir.

Dezavantajları:

- Arazi ihtiyacı fazladır.
- Çamur kurutma yatağına verilmeden önce koku gibi çeşitli problemlere yol açmaması için stabilize edilmelidir.
- İklimsel faktörlerin tasarım üzerine etkisi vardır.
- Görüntü, koku problemine yolaçar.
- Kek uzaklaştırma için işçi ihtiyacı fazladır.

Kum kurutma yataklarında çamurun suyu gravite drenajı ve buharlaşma ile uzaklaştırılır. Drenaj ile uzaklaşacak su miktarı çamur tipine bağlıdır. Drenaj hızı ayrıca kimyasal şartlandırma ve serme derinliğine bağlı olarak da değişir. İnce serilmiş çamurlar daha çabuk kurumasına rağmen kum kaybı ve işçilik ihtiyacı fazladır. Anaerobik çürümüş primer ve aktif çamur karışımı için gravite drenajı ile % 25 oranında su uzaklaştırılabilirken iyi şartlandırılmış çamurlar

için bu oran % 75 ve daha fazla olabilmektedir. Gravite drenajı 3 – 5 gün civarında tamamlanmaktadır. Buharlaşma hızı ise iklim şartlarına göre değişir.

Çamur kurutma yataklarının verimi; kurutulmuş çamurun katı madde muhtevası, kurutulacak çamurun katı madde muhtevası, çamur tipi, drenaj ve buharlaşma hızına bağlı değişir. Genel katı madde oranı % 25 – 30 olan çamurlar kum yataklarından, fazla kum kaybı olmadan uzaklaştırılabilirler.

3.1.2 DONMA ÇÖZÜLME YATAKLARI

Donma çözülme yatakları her tip ve her katı madde oranına sahip çamurlar için uygulanabilen susuzlaştırma yöntemidir. Özellikle kolay drene olmayan kimyasal ve biokimyasal çamurlar için etkilidir. Donma çözülme olayı ile jöle kıvamındaki çamura granül bir yapı kazandırılarak su drenajı hızlandırılır. Çamurun çözülmesini sonucu katı madde muhtevası %20'ye, bekletme süresinin uzatılması ile bu oran % 50 – 70'a kadar çıkabilir.

Bu sistemin avantajları ve dezavantajları şunlardır:

Avantajları:

- Yatırım maliyeti kum yataklarıyla aynıdır.
- İşletme ve bakım maliyeti, çamur kekinin kaldırılması yılda bir kez yapıldığından kum yataklarına oranla daha azdır.
- Enerji ihtiyacı düşüktür.
- Verim yüksektir.
- Her tip çamur için uygundur.

Dezavantajları:

- Suni olarak donma işleminin yapılması çok yüksek maliyet gerektirdiğinden sadece soğuk iklim kuşaklarında uygulanabilir.
- Çözülme ve kuruma esnasında koku problemi olduğundan çamurun stabilize edilmesi gerekmektedir.

3.1.3 VAKUMLU KURUTMA YATAKLARI

Vakumlu kurutma yatakları sabit, poroz tabakalar üzerine serilen çamura vakum uygulanarak çamurun bünyesindeki serbest suyun alt kısma drenaj edilmesini sağlayan susuzlaştırma sistemidir. Vakum kurutma yataklarının tipik bir çevrimi şöyledir:

Çevrimin başında vakum pompaları kapalıdır ve çamura uygun miktarda polimer ilavesi yapılır. Çamur yatağı yeterli miktarda çamur ile doldurulduktan sonra polimer ve çamur besleme pompaları kapatılır. Çamurun yerçekimi ile suyunu bırakması için sistem belli bir süre bekletilir. Bu süreç fitrasyon hızı oldukça yavaşlayınca yani gravite ile süzülme olmayıncaya kadar devam eder. Graviteli drenaj yaklaşık olarak 30 dakika kadar sürer.

Gravite drenajı sonunda sisteme kademeli olarak artan basınç uygulanır. Başlangıçta 5 – 8 mmHg basınç 1 saat boyunca uygulanır. Daha sonra tekrar 1 saat boyunca 13 – 15 mmHg basınç uygulanan çamur son olarak 25 – 30 mmHg basınca maruz bırakılır. Yüksek basınç uygulaması yeterli kurulukta kek elde edilinceye ve çamur yüzeyi çatlayıncaya kadar devam eder. Bu aşamadan sonra çamurun kaldırılabilir konsantrasyona gelmesi için gerekli olan buharlaşma fazı başlar. Elde edilebilir çamur konsantrasyonu % 10 – 12 arasında değişmektedir. Yeterli konsantrasyona ulaşan çamur vakum kurutma yatağından alınır ve yeni bir çevrime hazırlanmak için temizlenir. Plakaların temizliği yüksek basınçlı sıcak su, % 1'lik hidroklorik asit çözeltisi, % 0,25 – 0,5'lik trisodyum fosfat çözeltisi, % 2'lik kalsiyum veya sodyum hipoklorit yada enzim bazlı temizleyicilerle yapılabilir.

Sistemin ilk yatırım maliyeti yatırımcı firmaya göre değişmektedir. Sistemin insan gücü ihtiyacı kum yataklarına oranla daha düşük, kimyasal madde ihtiyacı fazladır. Genel olarak işletme ve bakım maliyetleri hemen hemen eşittir. Bununla beraber çamur keki katı madde oranı kum yataklarına oranla daha düşüktür ve ortalama % 12 – 15 civarındadır.

3.1.4 ÇAMUR KURUTMA LAGÜNLERİ

Çamur lagünleri en yaygın olarak kullanılan doğal susuzlaştırma yöntemlerinden biridir. Çamur kurutma lagünleri, düzenli bir çevrim ile işletilirler. Lagünler, koku problemi az, iyi stabilize olmuş çamurlar için uygundur. Çamur kurutma lagünlerinin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

Avantajları:

- Enerji ihtiyacı düşüktür.
- Kimyasal madde ihtiyacı yoktur.
- Değişik tip çamurlar için uygundur.
- Şok yüklemelere karşı arıtma tesislerinde tampon olarak kullanılabilir.
- Organik maddeler ikinci bir stabilizasyon kademesine girer.
- Yatırım maliyeti düşüktür.
- İşletimi kolaydır.

Dezavantajları:

- Zaman zaman kontrol zorluğu ve koku problemi olabilir.
- Yeraltı ve komşu yüzeysel suların kirlenme riski vardır.
- Sinek ve sivrisinek gibi haşerat sorununa yol açabilir.
- Estetik problemi vardır.
- Arazi ihtiyacı yüksektir.

Çamur kurutma lagünlerinin tam bir çevrimi, nihai kek konsantrasyonuna, iklim şartları ve uygulanan çamur derinliğine bağlı olarak 1 ila 3 yıl arasında değişir. Çamur kurutma lagünlerinde çamurun susuzlaştırılması esas olarak buharlaşma ve dekantasyon mekanizmaları ile gerçekleşir. Gerekli olan yüzey alanı, bölgenin sıcaklık, yağış ve buharlaşma özelliklerine bağlıdır. Bundan dolayı bu sistemler kurak veya yarı kurak bölgeler için uygundur. Çamur kurutma lagünleri ile % 15 – 40 oranında katı madde elde edilebilir. Bu oran kurak

iklimlerde daha yüksek olabilir. Çamur yüzeyinde erken dönemlerde kabuk oluşması buharlaşmayı azalttığından verimi düşürür.

3.1.5 KAPLAMALI KURUTMA YATAKLARI

Kaplamalı kurutma yatakları poröz çakıl tabakası üzerine beton veya asfalt kaplanarak geçirimsiz hale getirilir. Yatakların çevresi veya ortası kaplamasız bırakılarak, drenaj sularının toplanması sağlanır. Karıştırma ve havalandırma ile çamur yüzeyinde oluşan kabuklar kırarak buharlaşma arttırılır ve susuzlaştırma hızlandırılır. Drenaj kaplamalı kurutma yatakları için önemli bir faktör değildir. Çamurun suyu buharlaşma ve dekantasyon ile ayrılır.

Koku problemini önlemek için çamur susuzlaştırılmadan önce çürütülmesi veya stabilize edilmesi gereklidir. Dekantasyon fazı, çamur karakterine bağlı olarak 2-3 gün süren çöktürme ve 1-2 gün süren dekantasyondan oluşur. Buharlaşma fazı ise iklim şartlarına göre değişir. Kuru iklimlerde 30 - 40 gün sonunda ve 30 cm serme derinliğinde % 40 - 50 oranında katı madde elde edilebilir.

3.1.6 KAMALI YATAKLAR

Kamalı yataklar şekil olarak vakumlu kurutma yatakları ile benzerdir. Çamurun yayıldığı ortamda drenajı arttırmak için 0,25 cm genişliğinde yarıklar vardır. Kamalı yataklarda şartlandırılmış çamur derinlik 1 cm olacak şekilde delikli ortama doldurulur. Drenaj vanası ilk olarak kapalı tutulur ve daha sonra drenaj hızını kontrol etmek amacıyla kademeli olarak açılır. Yaklaşık olarak 2 saat süren bu kontrollü açmanın sonunda vana tamamen açılarak çamur kekinin kendi kendine suyunu vermesi sağlanır. Çamuru ortam yüzeyinde çökerek filtre bölgesi oluşur ve doygun akım şartları gerçekleşir. Doygun akım şartlarında drenaj hızı artar.

Kamalı yataklarda polimerle şartlandırılmış aerobik çamurlar 24 saatlik bekletme sonunda % 8-12 katı madde oranına erişebilirler. Anaerobik çamurlarda ise bu oran aynı periyotta % 16 - 20'e kadar çıkabilir. Özellikle şartlandırılmamış aerobik çürümüş çamurlar ince partiküller içerdiğinden boşlukların arasında birikir ve filtrasyon alanını azaltırlar.

3.2 MEKANİK SUSUZLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

3.2.1 BELT FİLTRE PRESLER

Belt filtre presler, son yıllarda en çok kullanılan evsel atıksu çamur susuzlaştırma prosesidir. Belt filtre presler ilk olarak kağıt endüstrisinde kullanılmak üzere geliştirilmiş ve 1970lerin başında evsel atıksu çamurları için kullanılmaya başlanmıştır. Sistemin avantaj ve dezavantajları şöyle sıralanabilir:

Avantajları:

- Düşük enerji ihtiyacı .
- Düşük yatırım ve işletme maliyeti.
- Mekanizması basitliği ve bakımı kolaylığı.
- Yüksek verim.
- İşletme kolaylığıdır.

Dezavantajları:

- Filtre ömrünün kısa olması.
- Otomatik işletmeye uygun olmaması.
- Verimin çamur özelliklerine bağlı olarak değişmesidir.

Belt filtre presler esas olarak çok basit bir yapıya sahiptir. Çamur, çeşitli çaplardaki silindirlerin altından ve üstünden geçen, gergin delikli bir yapıya sahip iki bantın arasında sıkıştırılarak suyu alınır. Çamur suyu fiber bantlardaki boşluklardan uzaklaştırılırken, çamur bantlar arasında sıkıştırılarak kek halinde alınır.

Genel olarak çamur karakterini iyileştirmek ve optimum verimi elde etmek için polimer ilavesi ile şartlandırma yapılır. Polimer şartlandırılması ile çamur yerçekimi drenaj bölgesinde serbest suyunu daha kolay vermektedir. Ayrıca oluşan uzun güçlü floklar çamurun susuzlaştırma prosesi boyunca basınca dayanıklı olmasını ve bantların arasından çamur kaçmasını önler. Polimer ilavesi ve karıştırma, sistem üzerine yerleştirilebilecek karışan bir tambur,

mekanik karıştırma veya boru hattı üzerine yerleştirilecek özel kesite sahip borularla yapılabilir. Çamura polimer birden çok noktadan beslenmelidir. Şartlandırmadan sonra çamur, serbest suyun alındığı ve yoğunlaştığı yerçekimi drenaj bölgesine geçer. Gravite drenajı esas olarak çamurun bantlar arasında sıkıştırılabilecek konsantrasyona gelmesi için gereklidir. Yerçekimi drenaj bölgesinde vakum uygulanarak süzülme olayı hızlandırılabilir. Bu koku probleminide azaltır. Drenaj bölgesi sonunda çamur konsantrasyonu yaklaşık % 5 -10 arasında artmaktadır. Örneğin primer ve atık aktif çamur karışımı belt filtre prese % 3 konsantrasyonla beslenir ve drenaj bölgesi sonunda % 10 - 12 katı madde ihtiva etmesi beklenir.

Yerçekimi drenaj bölgesinden sonra çamur, çok sayıda dönen silindirlerin etrafından geçen filtre bantları arasında sıkıştırılır. Çamurun geri kalan suyu bu basınç bölgesinde alınır. Bazı sistemlerde belt filtre presin sonunda daha fazla miktarda suyu ayırmak için yüksek basınç kısmı da vardır. Yüksek basınç bölgesinde, giderek küçülen silindirlerin etrafından geçen bantların hareketi ile çamura kuvvet uygulanur ve daha kuru bir çamur elde edilir.

Belt filtre preslerin verimi çamur özellikleri, şartlandırma metodu, bantlara uygulanan basınç, filtre bantlarının geçirgenliği, bantların dönüş hızı ve bant genişliği gibi faktörlere bağlıdır. Elde edilebilecek kek katı madde muhtevası % 25 - 30 arasında değişmektedir.

3.2.2 VAKUM FİLTRELER

Vakum filtreler en eski ve yaygın olarak kullanılan mekanik susuzlaştırma yöntemlerinden biridir. Vakum filtreler ilk olarak 1872'de İngiltere'de geliştirilmiş ve Amerika'da evsel atıksu çamurları için 1920'lerde kullanılmaya başlanmıştır. Vakum filtrelerin avantajları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir:

Avantajları:

- Kalifiye eleman ihtiyacının olmaması.
- Devamlı işletme ekipmanları için bakım ihtiyacının az olması.
- Süzüntü suyunun düşük miktarda katı madde ihtiva etmesidir.

Dezavantajları:

- Yüksek enerji ihtiyacı.
- Sürekli operatör gereksinimi.
- Vakum, süzüntü pompaları... gibi yardımcı ekipmanı ihtiyacı olmasıdır.

Vakum filtreler, çamura kısmen batmış olarak dönen silindirik, yatay bir tambur ve tamburun üzerine kaplanan filtre malzemesinden oluşur. Filtre malzemesi kaplı tekne çeşitli kısımlara ayrılır. Bunlar kek oluşum bölgesi, kek kuruma bölgesi ve kek uzaklaştırma bölgesidir.

Tambur çamur teknesine % 20 - 35 oranında batıktır ve bu batmış bölgeye kek oluşum bölgesi denir. Tambur içine vakum uygulanarak tank içersindeki çamurun tambur üzerindeki poröz filtrasyon yüzeyinde tutulması sağlanır. Tamburun hareket etmesiyle, filtrasyon malzemesinde tutulan çamurlar kek kurutma bölgesine taşınır. Bu bölüm tambur yüzeyinin % 40-60'ını oluşturur ve yüzey üzerindeki çamurun suyu vakum ile alınır. Ortaya çıkan süzüntü suları, tambur içersindeki süzüntü kanalları ile toplanarak arıtma tesisi başına devrettirilir.

Vakum filtrenin son bölümü ise çamur kekinin filtre ortamına alındığı kek uzaklaştırma bölgesidir. Tamburun üzerindeki suyu alınmış çamur, kurutma bölgesinin sonunda vakum kapatılarak atmosfer basıncı altında çeşitli ayraçlarla tambur yüzeyinden ayrılır ve konveyörlerle son kullanma alanına gönderilir. Tambur yeni bir çevrime hazırlanmak üzere temizlenir.

Vakum filtrasyonun optimum performansı çamur tipi ve konsantrasyonu, şartlandırmada kullanılan kimyasal madde tipi ve dozajı ile vakum filtrenin işletme şartlarına bağlıdır. Bunun yanı sıra uygulanan vakum değeri, tambur dönme hızı ve batma derinliği, filtre malzemesi ve çevrim süresi de vakum filtrenin verimini etkileyen kritik faktörlerdir. Çamurlarının vakum filtrelerde susuzlaştırılmasında filtre ortamının seçimi kritik bir unsurdur. Filtre malzemesi seçilirken uzun ömürlü olması, tıkanmalara karşı dayanıklı olması gibi faktörler gözönüne alınmalıdır. En çok kullanılan filtre malzemeleri, akrilik suni ipek kumaşlar, poliolefinler ve paslanmaz çelik bobinlerdir.

Tablo 3.1 Mekanik Susuzlaştırma Sistemlerinin Karşılaştırılması (EPA, 1982)

Susuzlaştırma Sistemi	Kek Katı Madde Oranı (%)	Katı Madde Geri Kazanımı (%)	Kimyasal Madde İhtiyacı
Belt Pres	x	90-95	y
Santrifüj	$x \pm 2$	90-95	0.8 y
Vakum Filtre	$x - 4$	85-90	0.9 y
Filtre Pres (Düşük Basınç)	$x + 8$	98 +	1.1 y
Filtre pres (Yüksek Basınç)	$x + 10$	98 +	1.1 y

3.2.3 FİLTRE PRESLER

Filtre presler ilk olarak endüstriyel amaçlarla kullanılmaya başlanmış ve evsel atıksu çamurlarının susuzlaştırılmasında son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk yıllarda geliştirilen filtre presler plaka çerçeve filtreler olarak da adlandırılmaktaydı. Günümüzde yaygın olarak iki tip filtre pres; sabit hacimli plaka filtreler ve membran filtre presler, evsel atıksuların susuzlaştırılmasında kullanılmaktadır. Filtre preslerin avantajları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir:

Avantajları:

- Yüksek süzüntü suyu kalitesi.
- Kek konsantrasyonu en yüksek olan mekanik susuzlaştırma yöntemi olmasıdır.

Dezavantajları:

- Kesikli olarak işletilmesi.
- Şartlandırma için yüksek kimyasal madde ihtiyacı
- Üretilen çamur keki hacminin fazla olması.
- Yüksek işletme maliyeti ve işçilik gereksinimi.
- Fazla yer kapladığından arazi ihtiyacı fazla olmasıdır.

Filtre presler mekanik susuzlaştırma yöntemleri içinde en yüksek verime sahip sistemdir. Elde edilen kek konsantrasyonu % 35 – 45 civarındadır. Filtre preslerin verimini arttırmak için şartlandırma yapılmalıdır. Yaygın olarak primer ve çürümüş aktif çamurların şartlandırılmasında demir tuzları ve kireç kullanılır.

Sabit hacimli filtre preslerde; sıvı haldeki çamur filtre plakaları arasındaki hacme 225 PSI (1550 kPa) basınçla pompalanır. Çamura uygulanan yüksek basınç sonucu, besleme çamurundan önemli miktarda su, filtre plakalarının yüzeylerini kaplayan filtre malzemesinden geçer ve filtre presten drene olur. Katı maddeler plaka içersinde birikerek kek oluşturur. Çamurun filtre prese pompalanması filtre plakaları tamamen dolup çamurun tamamen sıkıştığı ve kek konsantrasyonunun değişmediği noktaya kadar devam eder. Daha sonra çamurun pompalanması kesilerek kek uzaklaştırılır ve yeni bir çevrim için hazırlanır.

Membran filtre preslerde ise çamur filtre içine düşük basınç uygulanarak, yaklaşık 100 PSI (690 kPa) basınç değerinde beslenir. Çamur pompalanmasına pres hacmi dolup az miktarda sıkışmış çamur elde edilinceye kadar devam edilir. Çamur pompalanması kesildikten sonra membran belli bir süre şişirilir. Membran filtre preslerde çamur pompalanması sırasında az miktarda su çamurdan uzaklaşır. Çamurun esas susuzlaşması membran şiştiği zaman olmaktadır. Filtre plakalarının dolma süresi 10-20 dakika arasında değişmektedir. Sıkıştırma periyodu ise istenilen kek konsantrasyonuna bağlı olarak 1-4 saat arasında değişebilmektedir.

Membran filtre preslerin son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Membran filtrelerle elde edilen kek konsantrasyonu sabit plakalı filtre preslere göre daha yüksektir ve uniform kek kalitesi sağlanır. Membran filtre preslerin çevrim süresi daha kısa olup işletme ve bakım maliyeti daha düşüktür. Bu avantajlarının yanında membran filtreler bazı dezavantajlara sahiptir. Bu tip filtrelerin ilk yatırım maliyeti yüksektir. Membran filtrelerin çevrim süresi daha azdır ve kapasitesi sabit plakalı filtre preslere göre daha düşüktür.

3.2.4 SANTRİFÜJLER

Evsel ve endüstriyel atıksu çamurlarının susuzlaştırılmasında santrifüjlerin kullanımı en son yeniliklerdendir. Çamurlarının santrifüjlerle susuzlaştırılması, silindir şeklindeki bir yapının yüksek hızla döndürülerek çamurun suyunun ve katı maddelerinin ayrılması esasına dayanmaktadır.

Evsel ve endüstriyel atıksu çamurlarının susuzlaştırılmasında santrifüjlerin kullanımı, sahip olduğu bir çok üstünlükten dolayı giderek artmaktadır. Santrifüjler diğer mekanik susuzlaştırma yöntemlerine oranla daha az yer kaplamakta, koku ve görüntü problemine yol açmamaktadır. Ayrıca düşük polimer ilavesi ile yüksek verime sahiptir. Santrifüjler otomatik olarak çalıştırıldığından işletimi kolay ve eleman ihtiyacı düşüktür. Santrifüjlerin bu avantajlarının yanı sıra dezavantajları da mevcuttur. Santrifüjlerin enerji ihtiyacı ve bakım maliyeti diğer sistemlerden daha yüksektir. Bakım ihtiyacı korozyona dayanıklı, paslanmaz malzemeler kullanılarak azaltılabilmektedir.

İlk santrifüjleme çalışmaları 1902 yılında Herman Schaefer tarafından Almanya'da delikli sepet santrifüjlerin geliştirilmesi ile başlamıştır. 1907 yılında delikli sepet tipi santrifüjlerle ilgili çalışmalara devam edilmiş ve Almanya'da kullanılmaya başlanmıştır. 1920'li yıllarda Amerikalılar günümüzde de kullanılan deliksiz sepet santrifüjlerin ilk modellerini geliştirilmiştir.

Santrifüjlerin gelişiminde en önemli adımlar 1930'lardan sonra başlamıştır ve sürekli işletilebilen solid bowl tipi santrifüjlerin ilk çalışmaları yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda ise solid bowl tipi santrifüjler yerleşim bölgelerinde kullanımı yaygınlaşmıştır ve %20-35 katı madde muhtevası ile % 50-70 katı madde tutma verimi elde edilmiştir.

Günümüzde evsel atıksu çamurlarının susuzlaştırılmasında sepet ve bowl tipi santrifüjler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar çamur besleme şekli, uygulanan santrifüj kuvvetinin büyüklüğü, kek ve santratın deşarj şekli, maliyet ve verim bakımından farklılık göstermektedir. Ayrıca sadece aktif çamurların susuzlaştırılmasında kullanılan disk-nozzle tipi santrifüjler de mevcuttur.

3.2.4.1 SANTRİFÜJLERİN TASARIM ESASLARI

Bir sıvıdaki partiküllerin çökelme hızları, yerçekimi kuvvetinin yerini büyük bir santrifüj kuvvetinin alması ile büyük oranda arttırılabilir. Partiküllerin sıvı fazdan ayrılmasının esası yoğunluk farkından kaynaklanmaktadır. Daha hafif olan sıvı santrifüjün merkezinde kalırken daha ağır olan partiküller santrifüjün iç duvarlarına doğru hareket eder.

Bir sıvı içinde, yerçekimi kuvveti altındaki bir partikülün çökelme hızı Stoke's Kanunu ile ifade edilebilir:

$$V = \frac{g(\rho_s - \rho_l)}{18\mu} d^2 \quad (3.1)$$

V : Partikül çökelme hızı (m / sn)

g : Yerçekimi ivmesi (m / sn²)

ρ_s : Partikül yoğunluğu (kg / m³)

ρ_l : Sıvının yoğunluğu (kg / m³)

d : Partikül çapı (m)

μ : Sıvı viskozitesi (kg / m sn)

Stoke's Kanunu bazı küçük değişikliklerle santrifüjler içinde kullanılabilir. Yerçekimi kuvveti (g) 'nin yerini santrifüjün dönmesiyle oluşan santrifüj kuvveti (G) alır. G santrifüj kuvveti, bowlun dönme hızı ve partikülün santrifüj ekseninden olan uzaklığına bağlıdır.

$$G = (2 \pi N / 60)^2 R \quad (3.2)$$

N : Santrifüj dönme hızı (devir / sn)

R : Dönen sıvı kütesinin yarıçapı (m)

Santrifüjlerin üç fonksiyonu vardır. Bunlardan birincisi partiküllerin sıvı fazdan ayrılması, ikincisi çökelmiş partiküllerin birleştirilmesi ve sonuncusu bu katı maddelerin santrifüj dışına alınmasıdır. Spesifik bir gravasyonel kuvvette

partiküllerin ayrılması ve katı madde konsantrasyonu, santrifüj havuz hacminin bir fonksiyonudur. Geniş hacim partiküllerin ayrılmasını artırırken , küçük hacim katı madde konsantrasyonunu artırır. Partiküllerin ayrılması için gerekli olan hacim, hidrolik hızı ayırma verimini ve kimyasal madde dozunu etkiler. Ayrıca hacmin maksimize edilmesi katı maddelerin sıkıştırılma zamanı ve kek konsantrasyonunu azaltır.

Santrifüjlerin partikülleri ayırma kapasitesi Ambler tarafından tanımlanan SİGMA (Σ) ile ölçülür. Sigma, santrifüjün sedimentasyon kapasitesine eşdeğer olan ortalama çökme tankı yüzey alanıdır ve aşağıdaki formül ile ifade edilir:

$$\Sigma = 2\pi L (w^2 / g) (0.75 r_1^2 + 0.25 r_2^2) \quad (3.3)$$

Σ : Teorik hidrolik kapasite (m^2)

L : efektif santrifüj boyu (m)

w : Bowl açısal hızı (rad / sn)

g : Yerçekimi ivmesi (m / sn^2)

r_1 : Santrifüj ekseninden santrifüj iç duvarına kadar olan yarıçap (m)

r_2 : Santrifüj ekseninden santrifüj içindeki sıvının yüzeyine kadar olan yarıçap (m)

Sigmanın değeri aşağıdaki şekilde basitleştirilebilir:

$$\Sigma = P_v w^2 / g [\ln (r_2 / r_1)] \quad (3.4)$$

P_v : Santrifüj havuz hacmi (m^3)

$$Q_B = \frac{\Sigma_B}{\Sigma_A} Q_A \quad (3.5)$$

Sigma değeri, santrifüjler arasında performans karakterlerini tahmin etmek, pilot sistemler ile işletme şartları ve fiziksel düzenlemeleri karşılaştırmak amacıyla kullanılır. Santrifüjlerin partikül ayırma kapasitesi kimyasal madde kullanarak artırılabilir.

Santrifüjlerin katı madde kapasitesini sınırlayan diğer bir parametre ise beta (β) değeridir. Katı madde- sıvı ayırımının ve katı madde geri kazanımının azalmaya başladığı nokta, santrifüjün katı madde kapasitesidir. Santrifüjün toplam havuz hacmi şu şekilde ifade edilebilir:

$$V = \pi (r_1^2 - r_2^2) L \quad (3.6)$$

R_3 yarıçapı için çamur hacmi V_s :

$$V_s = \pi (r_1^2 - r_3^2) L \quad (3.7)$$

Santrifüje doğru olan katı madde akımı Q_s / γ_c olarak ifade edilebilir. Q_s (kg / saat) katı madde miktarı ve γ_c (kg / m³) özgül ağırlıktır. Katı maddenin santrifüj içinde kalma süresi :

$$T = L / \Delta w S N \quad (3.8)$$

L : Silindir uzunluğu (m)

Δw : Diferansiyel hız (rad / sn)

S : Helezon sarmaları arasındaki mesafe (m)

N : Sarma sayısı

Çamur hacmi:

$$V_s = (Q_s / \gamma_c) T \text{ ise} \quad (3.9)$$

$$V_s = (Q_s / \gamma_c) (L / \Delta w S N) \quad (3.10)$$

ifadesiyle bulunabilir. Santrifüjün iç duvarlarının yüzey alanı:

$$A = 2\pi r_1 L \quad (3.11)$$

Kek kalınlığı :

$$y = V_s / A = [Q_s / \gamma_c] / 2 \Delta w \pi r_1 S N \quad (3.12)$$

$$V_s / V = y / z = (r_1^2 - r_3^2) / (r_1^2 - r_2^2) \quad (3.13)$$

$$= [Q_s / \gamma_c] / 2 \Delta w r_1 S N (r_1 - r_2) \quad (3.14)$$

olarak hesaplanabilir.

Buradaki $2 \Delta w r_1 S N (r_1 - r_2)$ ifadesi santrifüjden uzaklaştırılan çamur keki miktarını (m^3) olarak veren (β) BETA değeridir. (EPA, 1982)

$$(Q_s / \beta)_1 = (Q_s / \beta)_2 \quad (3.15)$$

3.2.4.2 SEPET TİPİ SANTRİFÜJLER

Sepet tipi santrifüjler oldukça basit bir yapıya sahip olan, biyolojik çamurların, yumuşak katı maddelerin ve filtre edilmesi zor olan ince partiküllerin susuzlaştırılmasında ve yoğunlaştırılmasında kullanılmaktadır. Bu tip santrifüjler debisi 90-180 lt/sn olan küçük sistemler için uygundur.

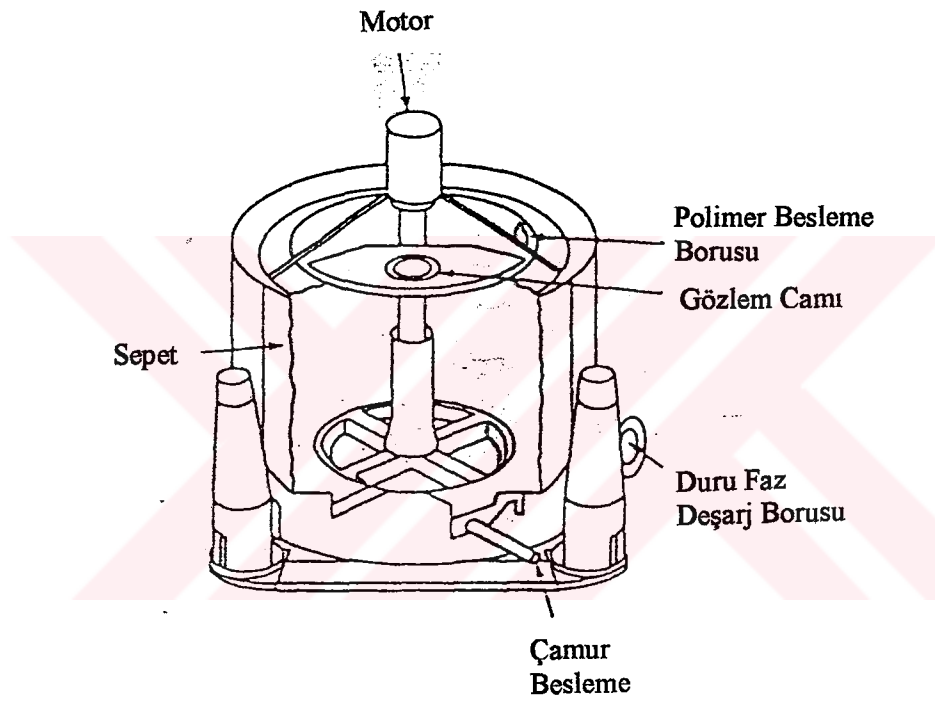
Sistemin avantaj ve dezavantajları şunlardır:

Avantajları:

- Hem susuzlaştırma hem de yoğunlaştırma amaçla kullanılabilir.
- Kimyasal şartlandırma gerektirmez.
- Görüntü ve koku problemi yoktur.
- İşletimi kolaydır.
- Kumdan etkilenmez.
- Kesikli işletilebilir.
- Zor susuzlaşabilen çamurlar için kullanılabilir.

Dezavantajları:

- Sınırlı kapasiteye sahiptir.
- Yüksek enerji ihtiyacı vardır.
- Kolay susuzlaşabilen çamurlar için maliyet / kapasite oranı yüksektir.
- Kek konsantrasyonu en düşük olan yöntemdir.
- Titreşim problemi vardır.



Şekil 3.1 Sepet Tipi Santrifüjler

Sepet tipi santrifüjler yapı olarak taşıyıcı, toplayıcı mil, besleme çamuru dağıtım sistemi ve kontrol panelinden oluşur. Sistem bir çevrim halinde çalışır. Duru fazın deşarjı çevrim süresince devam ederken çamur uzaklaştırması çevrim tamamlandıktan sonra gerçekleşmektedir. Çevrim, santrifüj haznesinin dönmesi ile başlar. Yaklaşık 30 saniye sonunda çamur beslemesi başlar ve sistem işletme hızına 1 ila 3 dakika arasında ulaşır. Çamur sistem içine besleme boruları ile verilir. Çamur besleme, duru fazdaki katı madde konsantrasyonuna

göre veya ayarlanmış bir zamana göre yapılır. Duru faz kalitesinin bozulması, santrifüjün katı madde ile dolduğunu ve daha yüksek verim elde edilemeyeceğini gösterir. Bu noktada çamur beslemesi kesilir ve santrifüj yavaşlar. Santrifüjün iç duvarlarına yapışmış olan çamurun daha sulu ve yumuşak olan üst kısmı 1100 rpm hızla, santrifüjün merkezinden iç duvarlara doğru yatay bir şekilde dönen, delikli bir yapı ile sıyrılır. Sıyrılan bu çamur miktarı yaklaşık olarak santrifüj hacminin % 5 ila 15'i arasındadır ve duru su hattından deşarj edilir. Bu aşamadan sonra santrifüj haznesinin dönme hızı 35-75 dev/dk civarına kadar yavaşlar ve merkeze yerleştirilmiş sıyrıcı vasıtasıyla katı maddeler alt kısımdaki kek deşarj hattına verilir. Boşaltma işleminden sonra çevrim tamamlanmış olur.

Tablo 3.2 Sepet Tipi Santrifüjlerin Tipik Performans Değerleri, (WPCF, 1983)

	BeslemeÇamur Konsantrasyonu (%)	Ortalama Kek Katı Madde Konsantrasyonu (%)	Polimerİhtiyacı (gr PE/ kg KM)	Katı madde Tutma Oranı(%)
Ham Primer	4 - 5	25 - 30	1 - 1.5	95 - 97
Ham Aktif Çamur	0.5 - 1.5	8 - 10 12 - 14	0 0.5 - 1.5	85 - 90 90 - 95
Ham Primer+Aktif Çamur	2 - 3	12 - 14	0.5 - 1.5	93 - 95
Anaerobik Çürümüş Primer+Aktif Çamur	1 -2	12 - 14 10 - 12 8 - 10	0 0.8 - 1.5 2 - 3	75 - 80 85 - 90 93 - 95
Aerobik Çürümüş Primer+Aktif Çamur	1 -3	8 - 11 12 - 14	0 0.5 - 1.5	80 - 95 90 - 95

Susuzlaştırma sistemlerinin verimliliği kek katı madde muhtevası, santrat katı madde konsantrasyonu ve kullanılan kimyasal madde miktarı ile ölçülür. Çamur beslemesinin uzun süre yapılması, çamur derinliğini arttıracığından santrat kalitesi bozulur ve katı madde tutulma verimini düşürür. Ayrıca düşük katı madde giderimi işletme çevriminin uzun sürmesi sonucuda da oluşur. Yumuşak

çamuru toplayan delikli yapının hızlı dönmesi tutulan çamuru tekrar dağıtacağından verim düşmektedir. Uygun polimer türü ve doz seçimi de verimi tayin eden faktörlerdir.

Sepet tipi santrifüjler çeşitli boyutlarda olmaktadır. En büyük boyutu 1200 mm çapa ve 760 mm derinliğe sahiptir. Genel olarak çamurların susuzlaştırılmasında büyük boyutlu santrifüjler kullanılmaktadır. Sepet tipi santrifüjler genel olarak günde 8 saat haftada 5 gün olmak üzere dizayn edilirler ve enerji ihtiyacı 1200 Kw 'dır.

3.2.4.3 SOLİD BOWL TİPİ SANTRİFÜJLER

Solid bowl konveyör tipi santrifüjler ilk olarak 1930'larda ham ve çürümüş çamurlar için kullanılmaya başlanmıştır. Bowl tipi santrifüjler scroll veya dekantör santrifüj olarak da adlandırılırlar.

Solid bowl tipi santrifüjlerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki şekildedir:

Avantajları:

- Koku ve görüntü problemi yoktur.
- İşletmesi kolaydır.
- Kurulması basittir.
- Yatırım maliyeti düşüktür.
- Verimi daha yüksektir.

Dezavantajları:

- Bakım maliyeti yüksektir.
- Çamur kum tutma ve öğütme gibi ön işlemler gerektirir.
- Tecrübeli bakım elemanı ihtiyacı vardır.

Genel olarak bu tip santrifüjler, yüksek hızla dönen bowl içinde daha düşük hızla dönen ve katı maddeleri taşıyan vida şeklindeki bir konveyörden oluşur.

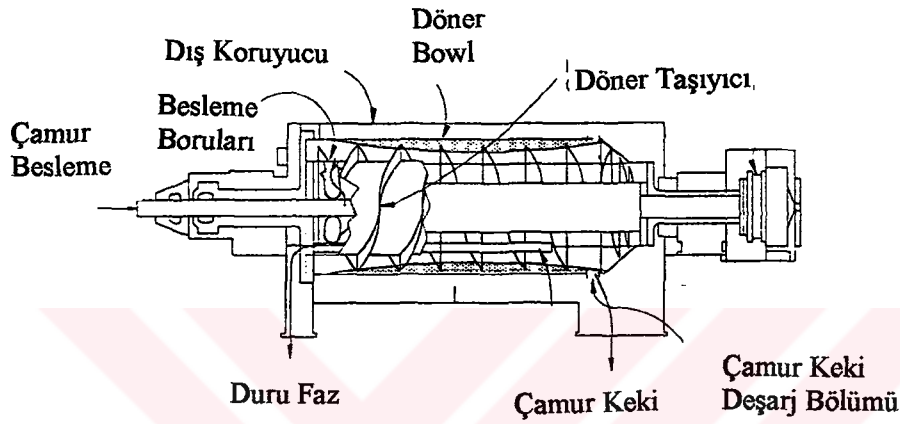
Aralarındaki hız farkına diferansiyel hız denir. Diferansiyel hız katı maddenin giriş borusundan , kekin deşarj edildiği sıkıştırma bölümüne geçmesine sebep olur.

Tablo 3.3 Bowl Tipi Santrifüjlerin Tipik Performans Değerleri (WPCF, 1983)

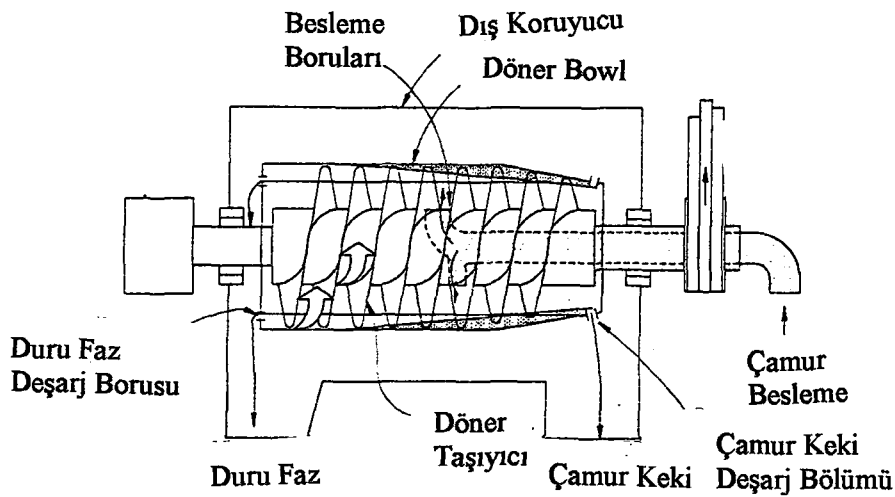
Çamur Tipi	BeslemeÇamur Konsantrasyonu (%)	OrtalamaKek Katı Madde Konsantrasyonu (%)	Polimerİhtiyacı (grPE/kg KM)	Katı madde Tutma Oranı
Ham Primer	5 - 8	25-36	0.5 - 2.5	95 - 97
Anaerobik Çürütülmüş Primer	2 - 5	28 - 35	3 - 5	98 +
Atık Aktif Çamur (WAS)	0.5 - 3	8 - 12	5 - 8	85 - 90
Anaerobik Çürümüş Aktif Çamur	1 - 3	8 - 10	1.5 - 3	90 - 95
Termal Şartlandırılmış Primer+WAS	9 - 14	35 - 40	0	75 - 85
Termal şartlandırılmış Primer + D.F. Çamuru	7 - 10	35 - 40	0	60 - 70
Primer+WAS	4 - 5	18 - 25	1.5 - 3.5	90 - 95
Anaerobik Çürütülmüş Primer+WAS	2 - 4	15 - 18	3.5 - 5	90 - 95
Anaerobik Çürütülmüş Primer+WAS+D.F.	1.5 - 2.5	18 - 23	1 - 2.5	85 - 90

Solid bowl tipi santrifüjler ters yönlü akımlı veya eş yönlü akımlı olarak işletilebilirler. Aralarındaki başlıca farklar çamur besleme, santrat deşarj bölümlerinin yerleri ve içerideki katı madde=sıvı akımlarının düzenleridir. Ters akımlı santrifüjlerdeçamur silindir ve konik kısmın birleşme yerinden bir boru vasıtasıyla verilir. Katı maddeler konik kısmın sonuna doğru hareket ederken, duru su ters yönde hareket eder. Santrifüj kuvvetinin etkisi altında katı

maddeler santrifüj tüpünün duvarlarına doğru itilir. Katı maddeler daha sonra dönen konveyör tarafından tüp boyunca dereceli olarak çamur haznesine doğru hareket ettirilir. Santrat kısmı ise likit deşarj kısmına doğru konveyör tarafından gönderilir. Eş yönlü santrifüjlerde ise çamur beslemesi sistemin sonundan yapılır. Santrat ile çamur aynı yönde hareket ederler.



Şekil 3.2 Eş Yönlü Akımlı Solid Bowl Tipi Santrifüj



Şekil 3.3 Ters Yönlü Akımlı Solid Bowl Tipi Santrifüj

Bowl tipi santrifüjler düşük ve yüksek hızlı olarak işletilebilirler. Yüksek hızlarda oluşan santrifüj kuvveti artmakta ve dolayısıyla santrifüj boyutları küçülmekte, sistemin verimi artmaktadır. Yüksek hızlı santrifüjlerin işletme maliyetleri yüksektir ve gürültü problemi vardır. Solid bowl tipi santrifüjler, yerçekimi kuvvetinin 500 ila 3000 katı olan santrifüj kuvvetlerinin oluşmasına sebep olan hızlarda çalıştırılırlar. Yapılan çalışmalar, özellikle aktif çamurlar için daha yüksek dönme hızlarının susuzlaştırma verimini arttırmak için gerekli olmadığını göstermiştir.

Solid bowl tipi santrifüjler çeşitli tiplerdeki çamurlar için yüksek verime sahiptir. Genel olarak bowlun dönme hızı yükseldiğinde polielektrolit dozu düşer, katı madde konsantrasyonu yükselir. Aynı polielektrolit ilevesinde solid bowl santrifüjlerin verimi sepet tipi santrifüjlere oranla daha yüksektir. Ham primer çamurlarda % 25 =36 oranında kek elde edilirken, aktif çamur için bu oran % 8 –12 civarındadır.

3.2.4.4 SANTRİFÜJLERİN VERİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

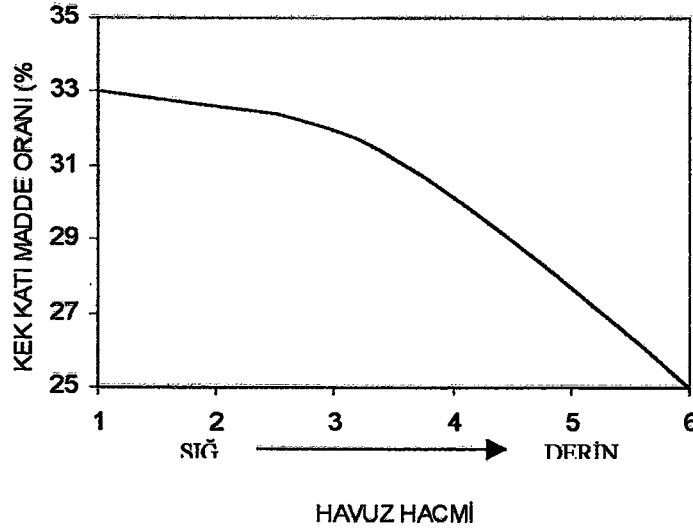
Santrifüjlerin verimini etkileyen faktörleri santrifüj değişkenleri ve işletme değişkenleri olarak iki grupta toplayabiliriz:

Santrifüj değişkenleri:

Santrifüjün bowl çapının artması çamurun santrifüj içinde kalma süresini arttırmakta bunun sonucu olarak katı madde tutma verimini arttırırken çok küçük partiküllerin tutulması kekin katı madde muhtevasını düşürmektedir.

Katı maddelerin santrifüj içinde kalma süresini etkileyen diğer bir faktör de çamur hazne derinliğidir. Hazne derinliği çamurdan katı maddelerin uzaklaştığı durulama bölgesini tayin eder. Derinliğin artması ile daha kek katı madde muhtevasını azaltmaktadır.

Santrifüj bowl uzunluğunun artması çamurn kalma süresini arttırmaktadır. Fakat kek katı madde muhtevasındaki etkisi her zaman doğru tahmin edilemez.



Şekil 3.4 Havuz Hacminin Santrifüj Verimine Etkisi

Bowl hızı artırılarak polimer ihtiyacı azaltılabilir. Artan bowl hızı katı madde geri kazanımını arttırmaktadır. Bowl ile scroll arasındaki diferansiyel hız farkı santrifüj içindeki katı madde akış hızını ve çamurun sistem içinde kalma süresini tayin eder. Düşük hızlarda katı maddeler santrifüjde daha uzun süre kaldıklarından kek konsantrasyonu artar. Çamurun santrifüj içinde optimum kalma süresi 30 ile 40 saniye arasında değişmektedir. Düşük süreler makine içinde fazla türbülansa neden olmaktadır. 50 saniyeden uzun sürelerde ise katı madde kazanımı hızlı bir şekilde düşmektedir.

Sıyırıcı hızının artması, tutulan partiküllerin santrifüjden daha çabuk uzaklaşmakta ve çamurun bekleme süresini azaltmaktadır. Bunun sonucu olarak katı madde tutma oranı artacaktır.

Çamur besleme noktası santrifüj içinde kalma süresini belirleyeceğinden katı madde tutma verimini etkilemektedir.

Bowl ile konik kısım arasındaki açı 8 ila 10° arasında değişmektedir. Konik-bowl açısı çamur haznesinden katı madde deşarjı sırasında katı maddelerin taşınımını etkilemektedir. Özellikle aktif çamurdaki gibi yumuşak katı maddelerin uzaklaştırılması zor olduğundan açısal bir yapı ile taşınım kolaylaşmaktadır.

İşletme değişkenleri:

Santrifüjlerin verimini etkileyen işletme değişkenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Besleme hızı
- Çamur karakteri
- Partikül boyutu
- Partikül şekli
- Reoloji
- Katı madde konsantrasyonu
- Sıvı viskozitesi
- Sıvı yoğunluğu
- Sıcaklık
- Kimyasal madde dozu
- Kimyasal madde tipi

Tablo 3.4 Santrifüjlerin Verimini Etkileyen Faktörler

	Besleme Oranı	Besleme Çamuru Katı Madde Oranı	Sıcaklık	Floklaşma
Katı Tutma Verimi	-	±	+	+
Kek Katı Madde Oranı	-	-	+	+

Santrifüjlerin verimine etki eden en önemli faktörler hidrolik ve katı madde yükleme hızlarıdır. Hidrolik yükleme hızı santrifüjün ayırma verimine etki ederken, katı madde yükleme hızı çamur keki taşıma kapasitesini belirler. Hidrolik yükün artması santrattaki katı madde konsantrasyonunu ve kimyasal madde miktarını artırır.

Çamur özelliklerinin susuzlaştırma verimine etkisi vardır. Büyük partiküllerin tutulma verimleri yüksektir. Küçük partiküller, kimyasal madde ilavesi ile daha büyük hale getirilirler. Çamurdaki ince partiküllerin oranı arttıkça floklaşması zorlaşacağından kimyasal madde ihtiyacı ve çamur kekinin su muhtevası artmaktadır. Aynı zamanda ince partiküllerin fazla miktarda bulunması çamurun

özelliklerini de zayıflatmaktadır. Çamurun akma özelliğinin artmasından dolayı santrifüjden uzaklaştırılması zorlaşmaktadır. Genel olarak santrifüjler için çamurun partikül boyutu minimum 2 µm ve maksimum 5000 µm arasında ve giriş çamurundaki katı madde konsantrasyonu % 2 ila 10 arasında olmalıdır.

Çamurun kül muhtevası, çamur kekindeki katı madde miktarını etkiler. Genel olarak çamurdaki inert maddelerin % 10 – 15'i organik maddelerle ilişkilidir ve bunların büyük bir etkisi yoktur. Kül oranı % 25'e çıktığında kek katı madde konsantrasyonu artar.

Sıcaklığın doğrudan viskozite ve yoğunluk ile ilişkisi vardır. Sıcaklığın artması ile sıvının viskozitesi ve yoğunluğu azalmaktadır. Fakat viskozite daha hızlı olarak azalmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda çamur kekinin uzaklaştırılması kolaylaşmaktadır. Ilık çamurlar soğuk çamurlara göre daha iyi susuzlaştırılabilirler. Kış ve yaz aylarında çamur katı madde konsantrasyonu % 2 ila % 4 arasında değişir. Yaz aylarında artışın nedeni; sıvı drenajını arttıran sıvı viskozitesinin ve yoğunluğun azalmasıdır. Sekonder çamurların miktarı ve su muhtevası kış aylarında artmaktadır. Çamurların ısıtılması çamurun katı madde konsantrasyonu arttırmaktadır.

Solid bowl tipi santrifüjler için özel ön arıtma ekipman ihtiyacı çok azdır. Izgara, kum tutucu, öğütücü gibi konvansiyonel ön arıtma yöntemleri yeterlidir. Santrifüjlerde susuzlaştırılacak çamur çok miktarda kum, grit ihtiva ediyorsa bunlar uzaklaştırılmalı, partikül boyutu 6–13 mm civarına indirilmelidir. 760 × 1800 mm boyutndaki büyük santrifüjler daha büyük boyutlu partiküller de kolayca tutabilirler. Atık aktif çamurlar genellikle uygun partikül boyutuna sahiptir.

3.2.4.5 SANTRİFÜJ VERİMLERİNİ TAHMİN ETMEK İÇİN KULLANILAN TESTLER

Santrifüjlerin tasarım ve işletme esaslarının değerlendirilmesinde kapiler emme süresi, özgül direnç, filtrasyon süresi, filtre yaprağı tayinleri gibi temel susuzlaşabilirlik parametreleri kullanılabildiği gibi santrifüjler için geliştirilmiş spesifik testler mevcuttur. Geliştirilen bu testler santrifüjlerin boyutlandırılmasında kullanışlı olsalar da matematik analizlere dayanmamaktadır.

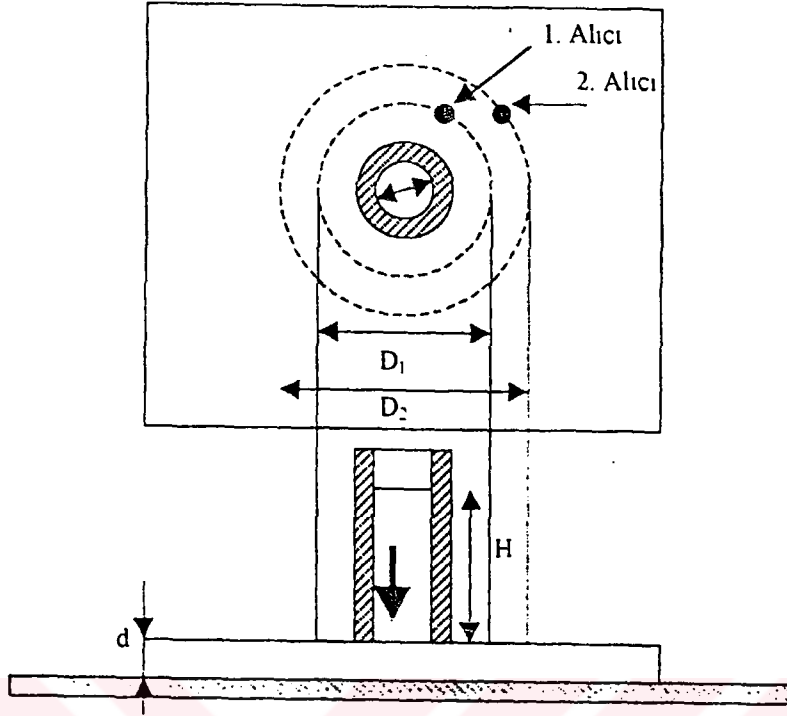
Kapiler Emme Süresi

Kapiler emme süresinin tayininde kullanılan deney düzeneği esas olarak iki plastik plaka, çelik bir numune haznesi, 9 cm x 7 cm boyutlarındaki filtre kağıdı, üst plakaya yerleştirilmiş 3 adet elektrot ve otomatik bir zamanlayıcıdan oluşur. Filtre kağıdı pürüzlü taraf üst kısma gelecek şekilde plakalar arasına yerleştirilir ve silindir numune haznesi üstteki plakada bulunan boşluğa yerleştirilir. Çamur numune haznesine konulduktan sonra çamur yerçekimi etkisiyle dairesel olarak yayılma başlar. Silindirin dış çeperinden yaklaşık olarak 0.8 cm uzaklıta bulunan ilk elektrotta su ulaşması ile zamanlayıcı çalışmaya başlar ve ilk elektrottan 0.7 cm uzaklıktaki ikinci elektrotta ulaştığında zamanlayıcı durur. Çamurun kapiler emme süresi alet üzerindeki göstergeden saniye cinsinden okunur.(Vesilind, 1988).

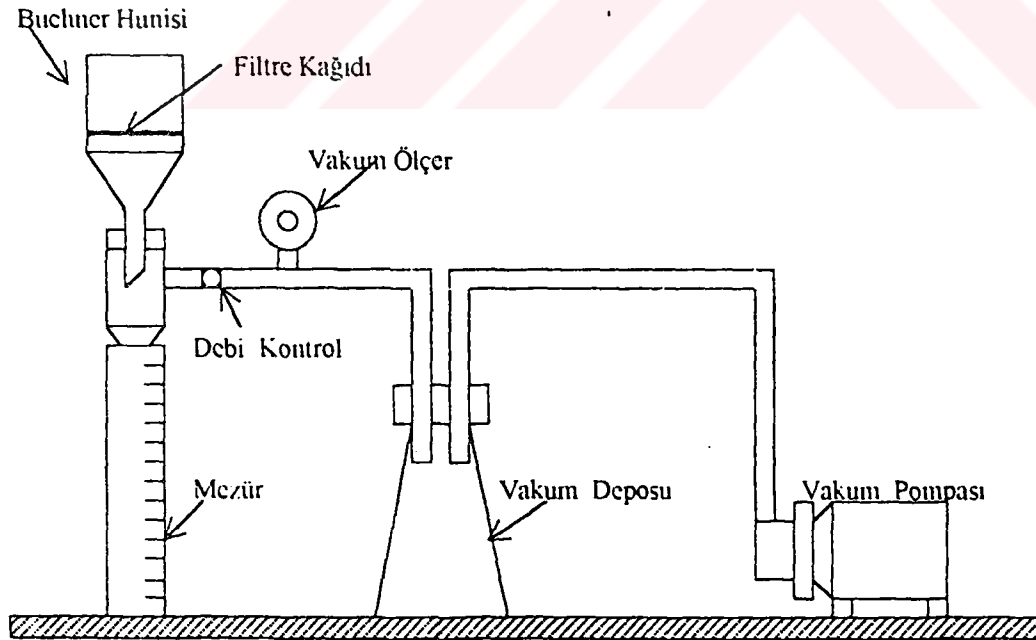
Kapiler emme süresi en yaygın olarak kullanılan teslerden biridir. Yüksek kapiler emme süresine sahip çamurların suyunu bırakma kabiliyeti düşüktür. Çeşitli dozlarda kimyasal madde dozlarında şartlandırılmış çamur numunelerinin KES değerleri ölçülerek, en düşük değeri veren kimyasal madde dozu optimum doz olarak belirlenir. Kapiler emme süresi tayini tamamen ampirik bir yöntem olup diğer susuzlaştırma deneyleriyle korelasyonu sağlanabilirse oldukça kullanışlı bir yöntem olarak kabul edilebilir.

Özgül Direnç Tayini (SRF)

Çamur susuzlaştırabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan en güvenilir ve yaygın yöntemlerden biridir. Özgül direnci çamurun suyunu vermesine karşı gösterdiği dirençtir. SRF deneylerinde Buncher hunisi düzeneği kullanılmaktadır. Belli bir miktar çamur numunesine vakum uygulanarak filtre edilmesi ve belli zamanlarda biriken süzüntü hacminin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Özgül direnç değeri doğrudan ölçülmeyip hesaplamalar sonucu elde edilen bir değerdir. Uygulama zorluğundan ve aşırı dikkat gerektirdiğinden SRF tekniğine alternatif olarak çeşitli testler geliştirilmiştir.



Şekil 3.5 Kapiler Emme Süresi Deney Düzeneyi



Şekil 3.6 Buncher Hunisi Deney Düzeneği

Filtrasyon Süresi Tayini

Filtrasyon süresi testi çamurun filtre edilebilirlik özelliğinin değerlendirilmesi ve optimum dozajın belirlenmesi amacıyla uygulanmaktadır. Buncher hunisi düzeneği kullanılarak çamur numunesine sabit vakum uygulanmakta ve belli hacimde süzüntü hacminin birikmesi için gerekli sürenin ölçülmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bu test sabit bir filtrasyon süresinde biriken süzüntü hacminin ölçülmesi şeklinde de gerçekleştirilmektedir.

Flok Gücü Tayini

Yumak gücü tayini, çamurun mekanik susuzlaştırma boyunca maruz kalacağı kuvvete karşı olan direncini ölçmek amacıyla Lotito ve dğr. (1990) tarafından tanımlanmıştır. Yumakların dayanıklılığı, şartlandırılmış çamurun 1000 rpm karıştırma hızında çeşitli sürelerde karıştırılıp, kapiler emme süresi (KES) standart ölçüm metodlarıyla tayin edilir. Yumakların gücü, karıştırma süresine karşı KES değerinin değişimi gösterilerek değerlendirilir. Santrifüjlerde şartlandırılmış çamur aşırı bir kesme kuvvetine maruz kaldığından oluşan floklar parçalanmakta ve susuzlaştırma verimi düşmektedir. Yumak gücü, karıştırma süresine karşı KES değerinin değişimi gösterilerek değerlendirilir. Verimli bir santrifüjleme şu durumlarda gerçekleşeceği belirtilmektedir:

- KES ve karıştırma süresine karşı çizilen eğri, 10 sn ile 100 sn arasında lineer bir doğru şeklinde ise.
- 10 sn karıştırma süresi sonunda veya en azından karıştırma sürelerinin birinde KES değeri 10-12 sn civarında ise.

Görsel olarak yapılan bu değerlendirmenin yanısıra Lotito ve dğr. (1990) tarafından yumak gücü eğrisini tanımlayan santrifüleme parametresi tarif edilmiştir:

$$R_C = KES_{100} + \left| \left[KES_{40} - \left(KES_{10} + (KES_{100} - KES_{10}) / 3 \right) \right] \right| + \left[KES_{10} - KES_0 \right] \quad (3.16)$$

KES_n değeri şartlandırılmış çamurun n saniye karıştırma sonucu okunan KES değeridir. İlk terim, şartlandırılmış çamurun strese maruz kalması durumunda gösterdiği parçalanma derecesinin indirekt göstergesidir. İkinci terim elde edilen eğrinin lineerlik derecesini temsil eder ve son terim yetersiz veya aşırı polimer dozlamasından etkilenen başlangıç KES değişimini ifade eder. R_C parametresine etki eden faktörler, polimer dozu, polimer molekül ağırlığı ve polimer yük yoğunludur. (Lotito ve dğr., 1990)

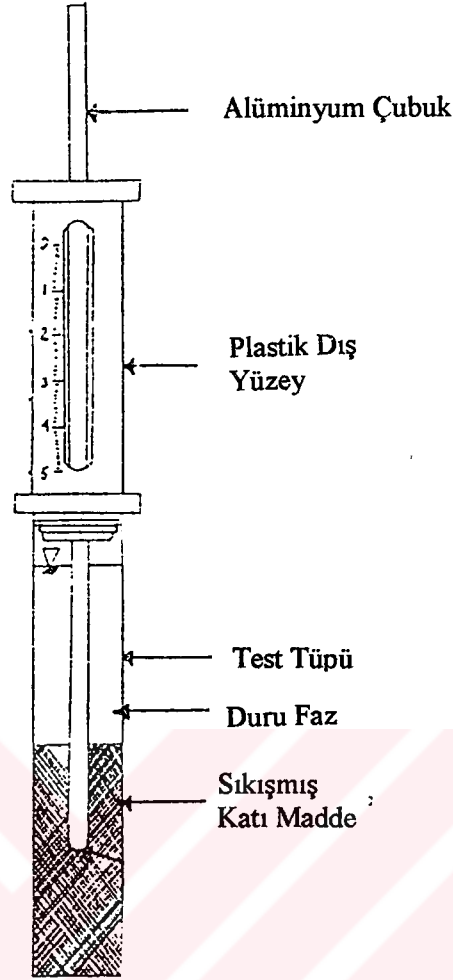
Penetrometre Testi

Penetrometre testi, katı maddelerin yoğunluğunun kantitatif olarak belirlenmesi esasına dayanır ve Vesilind (1970) tarafından geliştirilmiştir. Katı maddelerin yoğunluğu (gücü, dayanımı) santrifüj dışına taşınabilirliğinin göstergesidir. Hafif biyolojik çamurlar yeterince güçlü olmadığından parçalanmakta ve duru faza geçmektedir. Penetrasyon testi çamur numunesi santrifüjlendikten sonra alt kısımda kalan kek ile gerçekleştirilir. Kek bulunan tüp içine pirinçten yapılmış 3 mm çapında bir çubuk yerleştirilir ve bu konumu ölçülür. Daha sonra çubuk katı madde içine bırakılarak çubuğun çamura batması sağlanır ve konumu tekrar ölçüldükten sonra penetrasyon derecesi yüzde olarak hesaplanır. Biyolojik çamurların çok zayıf olduklarından penetrasyon değeri sıfır civarındadır.

Laboratuvar Ölçekli Pilot Santrifüj Testleri

Bu test yöntemi, laboratuvar ölçekli santrifüjlerde elde edilebilecek katı madde muhtevası belirleyerek gerçek ölçekli santrifüjlerin verimi tahmin etmek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca santrifüj kuvveti, santrifüjleme süresi, şartlandırıcı madde çeşidi ve dozunun santrifüj verimine olan etkileri değerlendirilebilmektedir. (Vesilind, 1970).

Auger testi, bu amaçlarla yapılan laboratuvar ölçekli santrifüj test düzeneklerinden biridir. Test yaklaşık olarak 50 ml hacimdeki tüplerin 3500 devir/dk (yaklaşık olarak 1000g) dönme hızında 2 dakika süresince santrifüjlenmesi ile gerçekleştirilir. Cam tüpler santrifüj içinde 45° açı ile bulunmaktadır. Laboratuvar koşullarında elde edilen verimlerle gerçek işletme koşulları arasında kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır



Şekil 3.7 Penetrometre Deney Düzenegi. (Vesilind, 1970)

Strobe Light Tekniği

Çamurun sıkışabilirlik derecesini belirlemek amacıyla uygulanan bir test yöntemidir. Sıkışabilirliği yüksek olan çamurlar suyunu kolay olarak vermektedir. Yüksek çökme hızına sahip çamurlar düşük hızlı çamurlara göre daha fazla sıkışabilmektedir. Çökme hızının ölçülmesi çamurun sıkışabilirlik ve susuzlaştırılabilirlik özelliklerinin belirlenmesi açısından önemlidir.

Bu test yöntemi ile laboratuvar ölçekli santrifüj ve strobe light kullanarak çamurun santrifüjleme ile sıkışabilme özelliği belirlenmektedir. Çamur numuneleri dereceli ve tabanı düz şeffaf tüplerde santrifüjlenir. Santrifüj hızı ile eş zamanlı olarak flaş yapan ışık vasıtasıyla katı maddelerin hareketleri görsel olarak yavaşlatılır ve katı-sıvı faz arasında ara kesit oluşum hızı belirlenir.

4. ŞARTLANDIRMA

4.1 ŞARTLANDIRMANIN TANIMI VE AMACI

Evsel ve endüstriyel atıksu tesislerinden kaynaklanan çamurların uzaklaştırılması en önemli problemlerden biridir. Arıtma çamurları büyük oranda su ihtiva içermekte ve bu oranın azaltılması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Çamur arıtma ve bertaraf maliyetleri, arıtma sisteminin %30-40'ını, işletme maliyetinin %50' sini oluşturmaktadır (Vesilind,1974). Şartlandırma fiziksel metodlarla veya kimyasal madde ilavesi ile çamurun suyunu daha kolay vermesini sağlamak ve susuzlaştırma proseslerinin verimini arttırmak için uygulanan işlemlerdir.

Şartlandırmanın esas amacı, arıtma çamurlarının susuzlaştırma prosesine hazırlanmasıdır. Başka bir deyişle fiziksel veya kimyasal yöntemlerle çamur partiküllerinin daha kolay susuzlaşabilir hale getirilmesidir. Mekanik çamur susuzlaştırma proseslerinde harcanan enerji, özgül dirence bağlı olarak değişmektedir. Şartlandırma ile çamurun suyunu bırakma özelliğini ifade eden özgül direnç azalmakta ve susuzlaştırma maliyeti düşmektedir. Kimyasal madde ilavesi yapılmadan uygulanan susuzlaştırma işlemi, çamurun suyunu vermesi için gerekli olan süre artmakta ve susuzlaştırma işlemi etkili bir şekilde yapılamamaktadır. Kimyasal madde ilavesi yapılarak çamurun suyunun uzaklaştırılması daha hızlı bir şekilde yapılmakta ve gerekli enerji miktarı azalmaktadır.

Şartlandırma işlemi ile küçük partiküller birbirine bağlanarak partikül boyutu arttırılır. Çamur partikülleri genellikle negatif yüklü olmalarından dolayı birbirlerini iterler. Şartlandırma ile partikül boyutu arttırılarak bu elektrostatik itme etkisi nötralize edilir. Şartlandırma koagülasyon ve flokülasyon olmak üzere iki adımda gerçekleşir. Koagülasyon için, partiküller arasındaki elektrostatik itme etkileşiminin azalmasıyla gerçekleşen destabilizasyon olayının

elektrostatik itme etkileşiminin azalmasıyla gerçekleşen destabilizasyon olayının oluşması gerekir. Bu işlem her partikülü çevreleyen çift tabakanın sıkışması ile gerçekleşir. Flokülasyon koagülasyonu takiben oluşur ve yavaş karıştırma ile kolloidal daneler birleşirler.

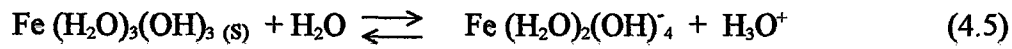
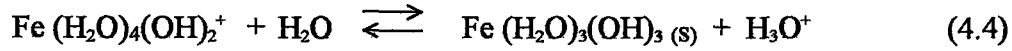
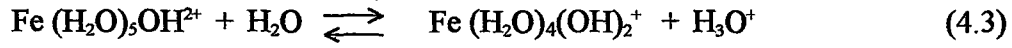
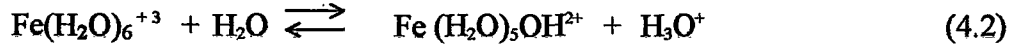
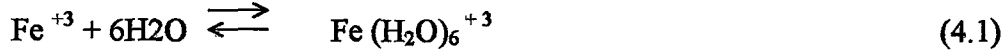
Tablo 4.1 Primer ve Aktif Çamur Karışımında Uygulanan Çeşitli Şartlandırma Yöntemleri (EPA,1982)

	İnorganik Polimerler	Organik Polimerler	Isı
Şartlandırma Mekanizması	Koagülasyon ve Flokülasyon	Koagülasyon ve Flokülasyon	Yüzey Özelliklerini Değiştirme, Biokütle Hücrelerini Değiştirme, Kimyasal Madde Salımı ve Hidroliz.
Katı Madde Yükleme Oranına Etkisi	Artar	Artar	Yüksek Oranda Artış.
Süpernant Akımına Etkisi	AKM Giderimi Artar.	AKM Giderimi Artar.	Renk, AKM, Çözülmüş BOİ, NH ₃ -N ve KOİ'de Aşırı Artış.
İş Gücüne Etkisi	Düşük	Düşük	Kalifiye İşletme Personeli İhtiyacı ve Yüksek bakım İhtiyacı.
Çamur Kütlesine Etkisi	Çamur Miktarı Artar.	Etkisi Yok.	Mevcut Kütleli Azaltır, Geri Devirde Kütle Artışı Olur.

4.2 İNORGANİK KİMYASAL ŞARTLANDIRMA

Çamur şartlandırma inorganik maddeler yaygın olarak kullanılmaktadır. İnorganik kimyasalların kullanılması son zamanlarda yerini daha düşük miktarlarda uygulanan, verimi yüksek ve uygulanabilirliği daha kolay olan polimerlere bırakmaktadır. İnorganik olarak şartlandırılmış çamurlar tarım alanlarında ve kompostlaştırma işleminde kullanılabilirler. Demir klorür ve kireç kombinasyonu vakum filtre ve filtre presler için yaygın olarak kullanılmaktadır. İnorganik kimyasallar özellikle yüksek oranda yağ muhteva eden çamurlar için uygundur.

Demir klorürün gerçekleştirdiği reaksiyonlar kompleks oluşturma ve çöktürmedir. İlk olarak demir klorür suda hidroliz olarak çeşitli çözünürlüğe sahip demir hidroksitler ve katı demir türleri oluşturur:

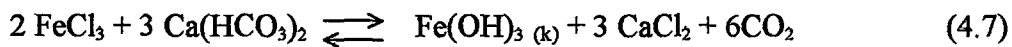


Bazı durumlarda daha geniş ve daha fazla pozitif yüke sahip hidroksit kompleksleri oluşur:



Oluşan demir hidroksit kompleksleri etkin şartlandırma vasıtalarıdır ve kireç kullanılmayan durumlarda demir tuzlarının verimini belirler. Demir tuzlarının verimliliği pH ve alkaliniteye bağlıdır. Düşük pH'larda pozitif yüklü demirhidroksit türleri oluşurken yüksek pH'larda katı haldeki $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{k})$ türleri meydana gelir. Demir hidroksit kompleksleri çok daha fazla etkin olduklarından düşük pH'lar daha iyi sonuçlar verir. Optimum pH 5 ile 8 arasındadır.

Demir tuzlarının verimini etkileyen diğer bir faktör de, şartlandırma prosesi boyunca pH kontrolünde önemli rol oynayan, alkalinitedir. Demir tuzları ile sudaki alkalinite reaksiyona girerek flokülant olarak davranan hidroksitleri oluşturur:



Demir hidroksit kompleksleri etkili koagülantlar olmasına rağmen atıksu çamurlarının şartlandırılmasında kireç kullanılmadan yeterli verim elde edilemez. Çamur şartlandırmada demir klorürün kullanılması kireç ilavesinden

sonra olmaktadır. Demir klorürün kireçle birlikte kullanılması maliyeti azaltmaktadır. Kireç düşük dehidrasyon derecesine sahip olmasına rağmen pH kontrolü, koku giderimi ve dezenfektan etkilerinden dolayı tercih edilir. Kalsiyum karbonat, kireç ve bikarbonatın reaksiyona girmesi ile oluşur. Granül yapısından dolayı çamurun porozitesi ve sıkıştırılabilirliği artar.

Kömür tozu, kiln ve kül şartlandırıcı olarak veya yardımcı madde olarak kullanılabilirler. Toz haline getirilmiş kömür santrifüj ve vakum filtrelerde şartlandırıcı olarak uygulanabilir. Albertson ve Koopers bowl tipi santrifüjlerde kömür tozu kullanarak kek katı madde miktarını, 0,1 – 0,3 kg kömür / kg katı madde uygulayarak % 7'den 14'e çıkarmışlardır. Kiln tozu, çimento ve kireç endüstrisinde yan ürün olarak oluşur ve vakum filtrelerde şartlandırıcı olarak uygulanabilir. Kül, çamurların şartlandırılmasında susuzlaştırma hızını ve kek miktarını arttırmak için şartlandırıcı yardımcısı olarak kullanılır (EPA, 1982)

4.3 ORGANİK POLİMERLER

Polimerler atıksu çamurlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimerlerin kimyasal bileşimi, fonksiyonel etkisi ve maliyeti diğer kimyasallardan oldukça farklıdır. Polimerleri etkinliğinin artırılması ile her türlü susuzlaştırma sistemlerinde kullanılabilir. Polimerlerin avantajları şöyle sıralanabilir:

- Az miktarda eklendiklerinden çamur hacmini çok az artırırlar. İnorganik şartlandırıcılar çamur hacmini % 15 – 30 oranında artırırlar.
- Çamurun yakıt değerini çok az azaltırlar.
- Bakım ve işletim problemini azaltırlar.

Polimerler uzun zincir yapılı, suda çözünebilen kimyasallardır. Tek monomerlerden veya doğal oluşlu polimerlere, fonksiyonel monomer veya grupların eklenmesi ile oluşturulabilirler. Monomer, polimerizasyon reaksiyonlarıyla oluşan polimerlerin bir alt birimleridir. Acrylamide, sentetik organik polimerlerde kullanılan ana monomerdir. Polyacrylamide, monomerlerin bir araya gelip uzun bir zincir oluşturması ile meydana gelirler ve molekül gibi davranırlar.

Polimerler yüzey yüklerine göre anyonik, katyonik veya noniyonik karakterde olabilirler. Anyonik tip polyacrylamide flokülantlar sulu çözeltilerde negatif yük taşırlar. Hem amid grubunun hidrolizi ile hem de acrylamide monomerlerin anyonik monomerlerle bileşik oluşturması ile meydana gelirler. Katyonik polimerler pozitif yük taşırlar ve iyonik olmayan polyacrylamidin kimyasal değişimi veya katyonik monomerlerin acrylamide ile birleşmesi ile oluşurlar. Katyonik monomerler, acrylamide ile değişik oranlarda kullanılması ile çeşitli yük derecelerine ve molekül ağırlığına sahip katyonik polimerler oluştururlar. Çamur şartlandırmada, çamurdaki katı maddelerin negatif yüke sahip olmalarından dolayı katyonik polimerler yaygın olarak kullanılırlar.

Çamur şartlandırmada kullanılan polimerler ayrıca düşük, orta ve yüksek moleküler ağırlıklı olarak da sınıflandırılabilirler. Moleküler ağırlık çözülebilirliği, çözeltinin viskozitesini ve yük yoğunluğunu tayin eder. Düşük moleküler ağırlıklı polimerler primer koagülant olarak adlandırılırlar ve ağırlıkları 20000 ila 100000 arasında değişmektedir. Bu tip polimerler düşük viskoziteye sahiptir ve % 30-50'lik çözeltiler halinde uygulanır. Düşük moleküler ağırlıklı polimerlerin kullanımı, çoğunlukla çöktürme işlemlerinde ve birden fazla polimer kullanılması gereken durumlarda gerçekleşir.

Orta molekül ağırlıklı polimer daha viskoz bir yapıya sahiptir ve ağırlıkları 300000 ile milyon arasındadır. Bu tip polimerler yoğunlaştırma veya yüksek katı madde konsantrasyonuna sahip biolojik çamurların susuzlaştırılmasında, % 10'luk çözelti halinde kullanılır. Çamur şartlandırmada kullanılan katyonik polimerlerin büyük çoğunluğu bu kategoriye girmektedir. Yüksek moleküler ağırlıklı polimerlerin ağırlıkları $2 \cdot 10^6$ ile $12 \cdot 10^6$ seviyesindedir. Genellikle % 0,5-2'lik çözeltiler halinde çamura uygulanır.

Organik polimerler kuru halde veya sıvı olarak bulunabilirler. Toz, granül veya boncuk halde bulunabilen kuru polimerler yüksek etkinliğe sahiptir ve aktif katı madde konsantrasyonu % 90 – 95 civarındadır. Kuru polimerler suda çözülerek kullanılırlar. Çözdürme işlemi yavaş olarak yaklaşık 60 dakika kadar yapılmalıdır.

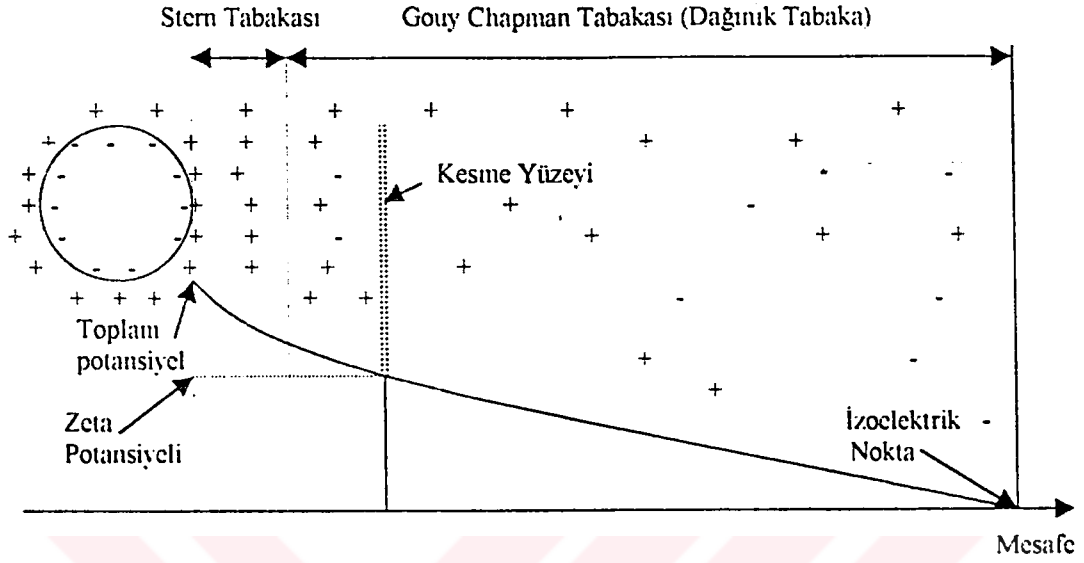
4.4 ŞARTLANDIRMA MEKANİZMALARI

Çamurdaki kollidler negatif elektriksel yüke sahiptirler. Partikülü çevreleyen elektrik alanları; zıt yüklü iyonların bulunduğu ve kararlı bir yapıya sahip olan “Stern Tabakası” ve aynı ve zıt yüklü iyonların birlikte bulunduğu “Dağınık Tabaka” oluşur. Her iki tabaka birlikte “Çift Tabaka” olarak adlandırılır. Partikülden uzaklaştıkça dağınık tabakadaki aynı yüklü iyon miktarı azalır ve “İzoelektrik Nokta” olarak adlandırılan noktada zıt ve aynı yüklü iyonların sayısı eşit olur. Bu iyonların sayısının eşit olması sonucu izoelektrik noktadaki potansiyel sıfıra eşittir. Kolloid yüzey yükü ile içinde bulunduğu sıvı arasındaki elektriksel potansiyel farkına “Zeta Potansiyeli” denilmektedir. Dağınık tabakanın tamamı kolloid ile birlikte hareket etmez. Partikülün etrafındaki elektrik tabakasından ayrıldığı yüzeydeki elektrik potansiyeli zeta potansiyeline eşittir. Kolloidal danenin gösterdiği elektrokinetik özellikler kesilmenin gerçekleştiği bu zeta potansiyele bağlıdır.

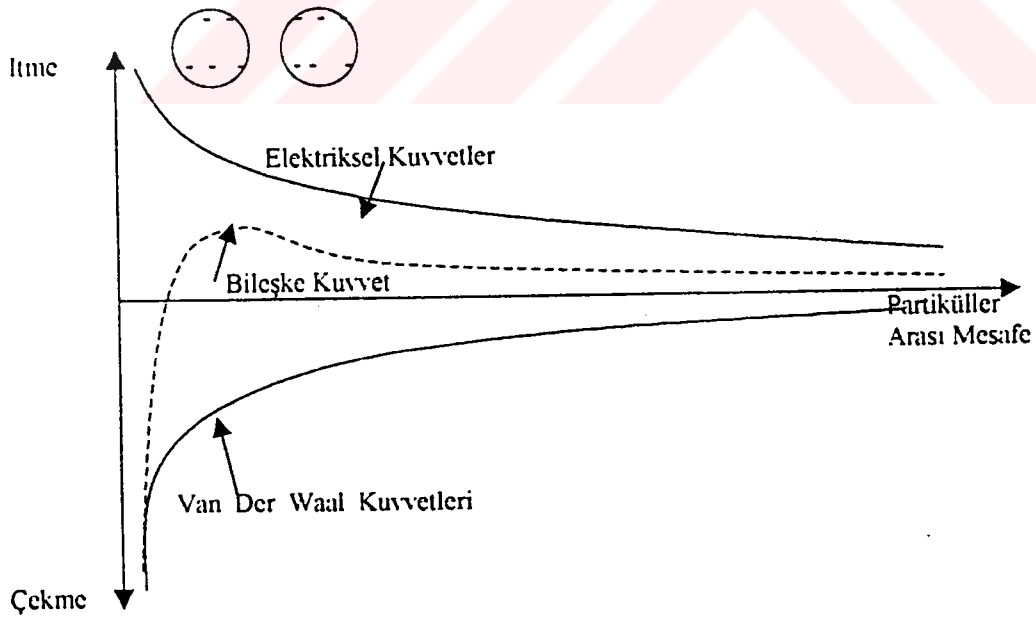
Partikülleri stabilize eden moleküler kuvvetler, şartlandırıcı madde ile kolloidler veya diğer partiküller arasında denge halindedir. Bu kuvvetler:

- Partiküller arasındaki elektrostatik kuvvetler;
- Van der Waals kuvvetleri;
- Katyon değişimi, polimer: OH bağları, hidrojen bağları gibi kimyasal bağlar;
- Fiziksel bağlar.

Genel olarak çamurların şartlandırılmasında etkili olan mekanizmalar partiküllerin yük nötralizasyonu sağlanarak gerçekleşen koagülasyon ve partiküllerin birleşerek oluşturdukları flokülasyondur. Koagülasyon ile partiküller arasındaki elektrostatik itme kuvvetleri azaltılarak çamur partikülleri destabil hale getirilir. Destabilizasyon kolloidi çevreleyen çift tabakanın sıkışması ile gerçekleşir. Flokülasyon aşaması ise yavaş karıştırma ile destabilize olmuş partiküller bir araya getirilerek birbirleriyle birleşir.



Şekil 4.1 Negatif yüklü partiküllerin etrafındaki tabakalar



Şekil 4.2 Partiküllere etki eden itme çekme kuvvetleri

Polimerlerle çamur şartlandırmada yük nötralizasyonunun yanısıra zincir flok oluşumu gerçekleşir. İlave edilen polimer moleküller hem birbirleriyle birleşilerek uzun bir zincir oluştururlar hem de çok sayıda çamur partikülüyle birleşiler ve uzun bir zincir halinde floklar oluştururlar.

4.4.1 POLİMERLERLE PARTİKÜLLERİN GERÇEKLEŞTİRDİĞİ REAKSİYONLAR

Polimerlerle çamur şartlandırmada gerçekleşen mekanizmalar şöyle sıralanabilir:

1. BAŞLANGIÇ POLİMER ADSORBSİYONU

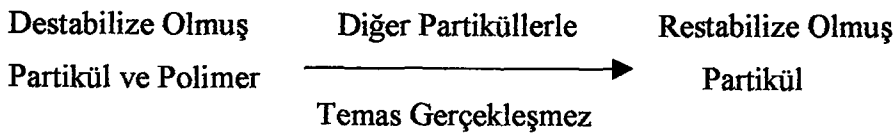
Polimerlerin çamur katı maddeleri ile ilk teması, polimerin hızlı bir şekilde karıştırılıp çamur içinde dispersiyonu ile gerçekleşir. Partiküller ile polimerlerin zıt bölgeleri arasındaki çekme kuvveti, polimer zincirindeki aynı yüklü bölgeler arasındaki itme kuvvetinden daha kuvvetlidir. Reaksiyon tipik olarak çamur içinde dağılmış polimerin partiküllerle temas ettiğinde gerçekleşir.

2. FLOK OLUŞUMU



Flok oluşumu polimer ile partikül arasındaki ilk temastan sonra gerçekleşir. Destabilize olmuş partiküller birleşerek flok partikülleri oluşturur. Partiküllerin elektrostatik yükleri nötralize olduğundan birbirlerini daha zayıf olarak çekmektedirler ve flok gücü daha zayıftır. Partiküllerin birbirleriyle temas etmesi için karıştırma gerekmektedir.

3. POLİMERLERİN İKİNCİ ADSORBSİYONU



Bu reaksiyon, partikül yüzeyinde kısmi adsorbsiyonun oluşması sonunda gerçekleşir. Destabilize olmuş flok partiküllerindeki polimer parçaları diğer partiküllerle birleşmeyerek aynı flok partikülüne döner ve tekrar stabil hale gelir. Bu olay genellikle düşük polimer dozlarında aşırı karıştırma sonucu oluşur.

4. AŞIRI POLİMER DOZU İLE BAŞLANGIÇ ADSORBSİYONU

Aşırı Polimer + Partikül $\longrightarrow$ Stabil Partikül

Aşırı polimer partikülün etrafını tamamen çevirerek partikül yüzeyinde hiç boş alan bırakmaz ve diğer partiküllerle birleşmesini engeller. Tekrar stabil olan partikülün desatbilizasyonu çok zor gerçekleşir. Aşırı polimer dozlaması sonucu filtre ortamının tıkanarak filtrat veya santrat katı madde konsantrasyonunun artmasına neden olur. Yüksek viskoziteden dolayı polimer çamur içinde etkili bir şekilde dağılamaz. Ayrıca yetersiz karışım şartlarında polimerlerin tekrar stabil hale geçmesine neden olur.

5. FLOKLARIN PARÇALANMASI

Flok Partikülü $\xrightarrow[\text{Uzun Süreli Karışım}]{\text{Aşırı Hızlı veya}}$ Flok Parçaları

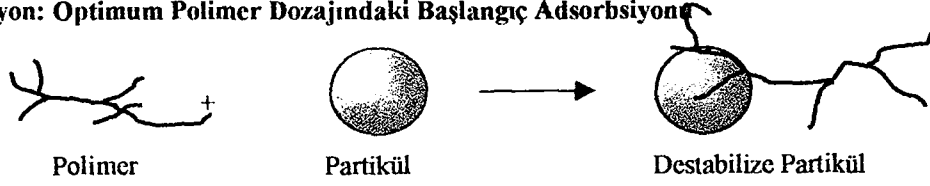
Aşırı veya uzun süreli karıştırma sonucu flok partikülleri parçalanarak küçük partikül parçalarına ayrılır.

6. POLİMERLERİN İKİNCİ RESTABİLİZASYONU

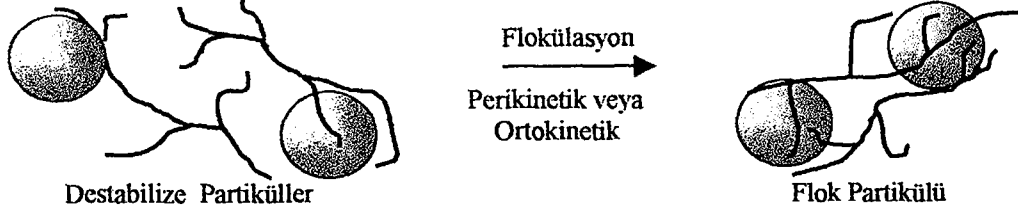
Flok Parçaları $\longrightarrow$ Flok Parçalarının Restabilizasyonu

Bu durum genellikle santrifüj santratlarında veya belt filtre filtrantlarında gerçekleşir. Polimer parçaları tekrar kendi üzerlerine dönerek partikül tekrar stabil hale gelir.

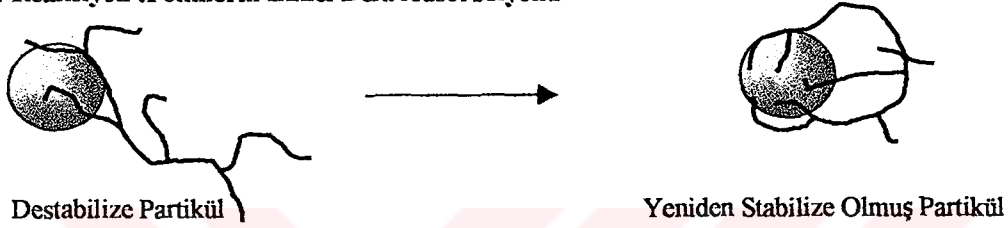
1. Reaksiyon: Optimum Polimer Dozajındaki Başlangıç Adsorbsiyonu



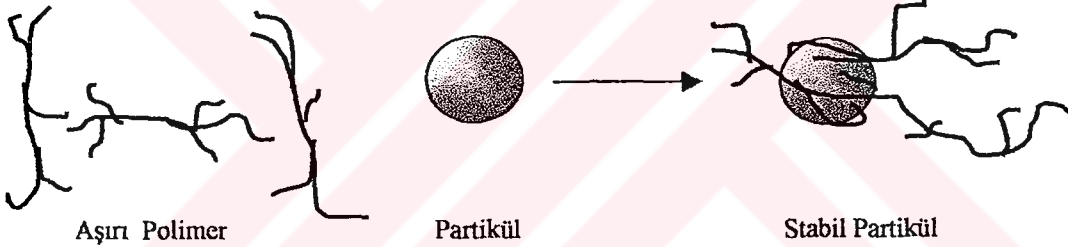
2. Reaksiyon : Flok Oluşumu



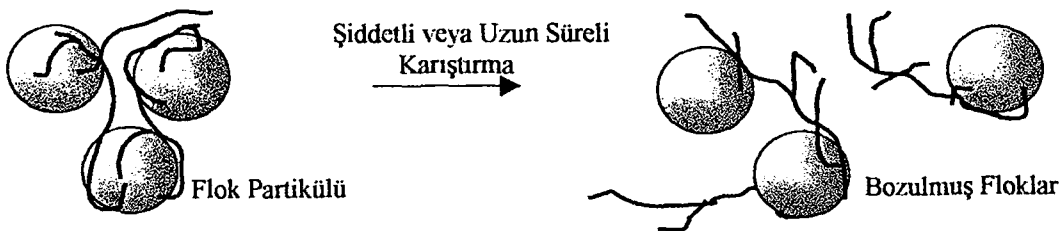
3. Reaksiyon : Polimerin İkinci Defa Adsorbsiyonu



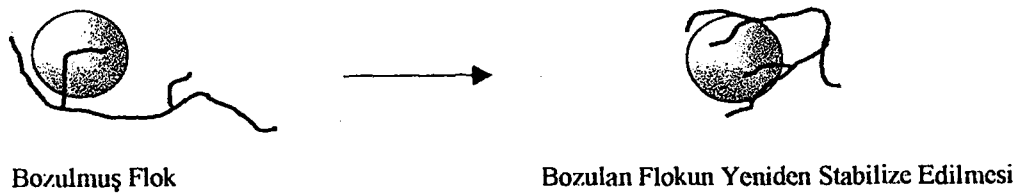
4. Reaksiyon : Aşırı Polimerin Başlangıç Adsorbsiyonu



5. Reaksiyon : Oluşmuş Flokların Bozunumu



6. Reaksiyon : Polimerin İkinci Defa Adsorbsiyonu



Şekil 4.3 Polimer İlavesiyle Partiküllerin Destabilizasyonu (EPA, 1982)

4.5 ŞARTLANDIRMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Arıtma çamurlarının şartlandırma prosesine birçok faktör etki etmektedir. Bunlar çamur özellikleri ve kimyasal madde özellikleri olarak ayrılabilir. Novak ve O'Brien (1978) tarafından yapılan çalışmalarda, kimyasal çamurların şartlandırılmasında polimerlerin ve çamur özelliklerinin, polimer seçimi ve doz ihtiyacı üzerine etkileri incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu inceleme ve değerlendirme sonucunda şartlandırmaya etki eden polimer ve çamura ait özellikler belirlenmiştir:

a.Çamur Özellikleri

- 1.Çamur tipi
- 2.pH
3. Katı madde oranı
4. Özgül direnç
5. Askıda katı madde
6. Sıkışabilirlik

b. Polielektrolit Özellikleri

1. Molekül ağırlığı
- 2.Yük (Anyonik ,katyonik ,non iyonik)
- 3.Yük dağılımı
4. Polimer kimyası

Korr ve Keinath (1978) yaptıkları çalışmalarda ise şartlandırmaya etki eden faktörleri daha detaylı olarak incelenişler ve aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir:

- Selüloz içeriği
- pH
- Partikül yükü
- Organik madde içeriği
- Bağlı su miktarı
- Süzüntü vizksitesi
- Alkalinite
- Katı madde konsantrasyonu

- Şartlandırma uygulaması
- Karıştırma şiddeti
- Çamur tipi
- Partikül boyut dağılımı
- Sıkışabilirlik katsayısı
- Biyolojik bozulma hızı
- Partiküllerin dayanıklılığı
- Azot, fosfor ve yağ içeriği

4.5.1 ÇAMURUN KAYNAĞI VE ÇAMUR ÖZELLİKLERİ

Atıksu çamurları primer, sekonder ve çürümüş çamur olarak üçe ayrılabilir. Bunların herbirinin su muhtevası, hidrasyon derecesi, yüzey kimyası, partikül dağılımı ve boyutları farklıdır. Şartlandırmayı etkileyen çamur özellikleri partikül boyutu ve dağılımı, yüzey yükü, partiküller arası etkileşim, biopolimer üretimi, primer/ sekonder çamur oranı ve inorganik içeriktir. (EPA, 1982)

Çamurun kaynağı şartlandırma için gerekli şartlandırıcı maddenin miktarını tayin eder. Genel olarak primer çamurların kimyasal madde ihtiyacı sekonder çamurlardan daha azdır. Biofilm çamurların şartlandırılması için gerekli doz aktif çamurlara oranla daha düşüktür. Kimyasal çamurların şartlandırılması, hem kullanılan kimyasal madde çeşidi hemde dozu açısından biyolojik çamurlara göre farklılık gösterir.

Çamurların anaerobik veya aerobik olarak çürütülmesi çamurun fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirir. Genelde çürümüş çamurlar daha yüksek özgül direnç değerlerine sahip olduklarından susuzlaştırılmaları daha zordur ve bu sebeple şartlandırma için gerekli kimyasal madde ihtiyacı daha yüksektir.

Çamurun kaynağı ve türü şartlandırmada kullanılan şartlandırıcı çeşidini belirler. Biyolojik çamurlar yüksek miktarda negatif yüklü kolloid içerdiklerinden şartlandırmada katyonik polimerler kullanılırken kimyasal çamurlarda anyonik polimerler yaygın olarak kullanılmaktadır. (WPCF, 1988)

4.5.2 KATI MADDE MİKTARI

Şartlandırma işlemi, zıt yüklü polimer ilave ederek koagülasyon ve flokülasyon işlemiyle veya inorganik komplekslerin adsorbsiyonu ile kolloid yüzey yükünün

nötralizasyonu ile gerçekleşir. Bu yüzden askıda katı madde miktarının artması, gerekli olan koagülant dozunu arttırmaktadır. (WPCF,1988)

Yüksek katı madde konsantrasyonun polimerlerle şartlandırmada, çamur ile polielektrolit çözeltisiyle etkili bir şekilde karışmasını zorlaştırmaktadır. Çamur konsantrasyonun % 5'in üstüne çıkması halinde etkili bir karışım için gerekli olan enerji ihtiyacı artmaktadır.(WPCF,1988)

4.5.3 PARTİKÜL BOYUTU VE DAĞILIMI

Partikül boyutu ve dağılımı, şartlandırmayı dolayısıyla susuzlaştırmayı etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Partikül boyut dağılımı, partikül yüzey alanını ve bu partiküllerden oluşan kek porozitesini etkilemektedir. Ortalama partikül boyutunun azalmasıyla, partikül yüzey alanı/ hacim oranını exponansiyel olarak arttırmaktadır. Yüzey alanının artması hidrasyonun artmasına neden olmakta, susuzlaştırma özelliklerini bozmakta ve kimyasal madde ihtiyacını arttırmaktadır.

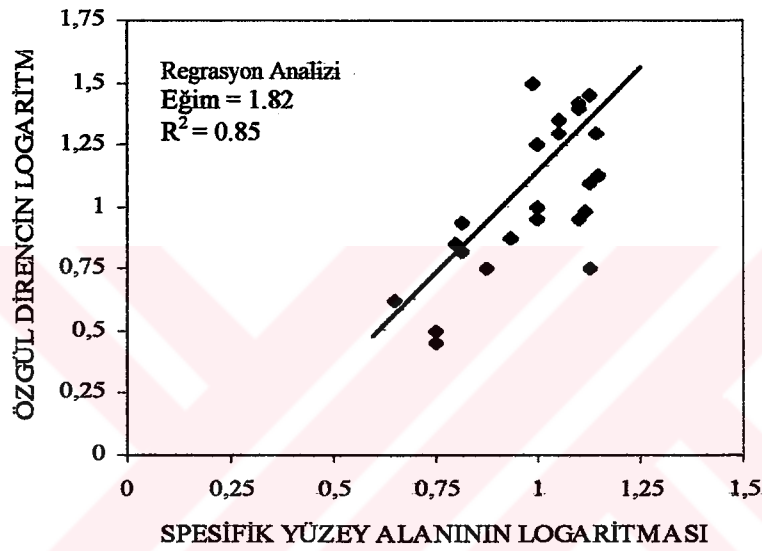
Karr ve Keinath (1978) tarafından yapılan çalışmalarda, şartlandırmaya etki eden partikül boyutunun 1-100 µm arasındaki süprakolloidler olduğunu göstermişlerdir. Süprakolloid miktarının yüksek olması çamurun susuzlaşabilirlik özelliklerini kötüleşmektedir.

Ham evsel atıksular önemli miktarda kolloidler ve ince daneler ihtiva etmektedir. Kolloidal partiküller negatif yüke sahip olduklarından birbirlerini iterek çarpışmalarını ve partikül boyutunun artmasını engeller. Kimyasal şartlandırma ile kolloidlerin nötralizasyonu sağlanır. Kolloidlerin fazla miktarda olması şartlandırıcı ihtiyacını arttırmaktadır. Koagülasyon ve flokülasyon uygulanmamış evsel atıksulardaki kolloidler ön çöktürmede tutulamazlar. Biyolojik arıtma aşamasında BOİ giderimi yanında kolloid danelerde giderildiğinden biyolojik çamurlar çok miktarda kolloid muhteva ederler ve kimyasal madde gereksinimi fazladır.

Lawler (1986) yaptığı çalışmalar sonucunda anaerobik çürümenin partikül boyutuna olan etkisini incelemiştir. Anaerobik çürüme, çamur partiküllerinin

yapısını bozmakta, partiküllerin boyut dağılımı değişmektedir. İyi işletme şartları yüzey alanını azaltmaktadır. Kötü işletme şartlarında ise büyük boyutlu partiküllerin parçalanması dane boyutunu azaltmakta ve yüzey alanını arttırdığı için susuzlaştırmayı olumsuz yönde etkilemektedir.

Çamura taşınması ve pompalanması sırasında maruz kaldığı kuvvetler partikül yapısını bozmakta ve kimyasal madde ihtiyacını arttırmaktadır. Şartlandırılmış çamurların pompalanması oluşmuş flokların parçalanmasına yol açacağından tavsiye edilmemektedir. (WPCF,1988)



Şekil 4.4 Partikül Boyutu ile Susuzlaşabilirlik Arasındaki İlişki (Lawler ve dğr., 1986)

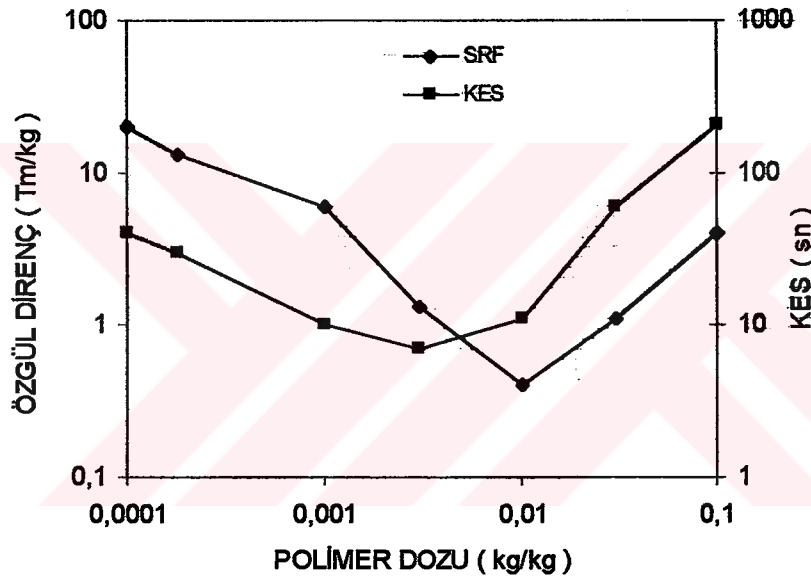
4.5.4 SIKIŞABİLİRLİK

Çamurun sıkışabilirlik özelliği; uygun mekanik susuzlaştırma sisteminin seçilmesinde etkilidir. Çamur sıkışabilirliğinin yüksek olması, çamur danelerinin sıkışarak suyun dışarı çıkmasını engellemekte ve nem oranı yüksek kek elde edilmektedir. Kum gibi sıkışamayan malzemeler için sıkışabilirlik katsayısı $S=0$ olurken, evsel çamurlar için bu değer $S=0,4-0,85$ arasındadır. (Vesilind, 1974). Smollen tarafından yapılan çalışmada, en düşük sıkışabilirlik özelliğine sahip çamurları çürütülmüş çamurlar ($S= 0,5$) olduğunu göstermiştir. Termal olarak şartlandırılmış çamurların sıkışabilirlik değeri

$S = 1,0$ 'dır. Sıkışabilirliği fazla olan çamurlar için en uygun susuzlaştırma sistemi belt filtre pres, nispeten daha düşük olan çamurlar için ise filtre preslerdir. (Onay ve Gönenç, 1989)

4.5.5 KİMYASAL MADDE DOZU:

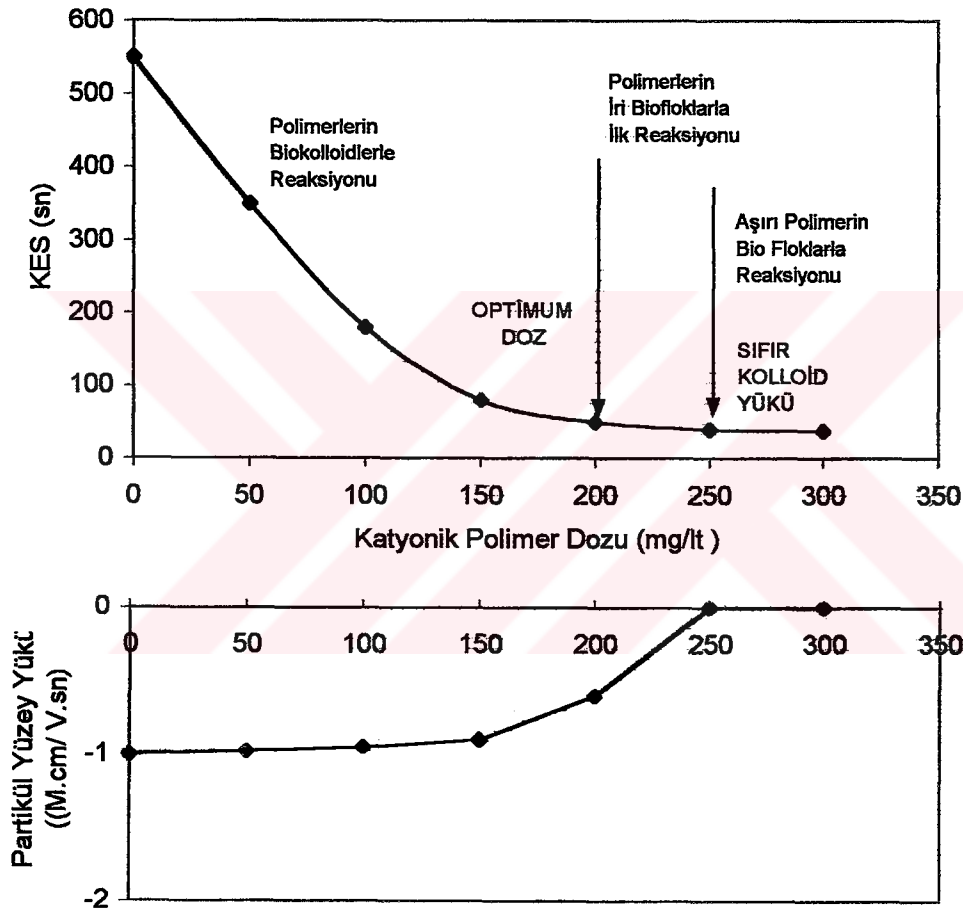
Çamurların şartlandırılmasında optimum doz; hem en iyi susuzlaştırma özellikleri veren hem de en düşük kimyasal madde ilavesi ile kabul edilebilir susuzlaştırma verimi elde edilebilen kimyasal madde dozu olarak tanımlanabilir. Yetersiz veya aşırı dozlarda çamur özellikleri kötü olmakta ve susuzlaştırma verimi düşmektedir.



Şekil 4.5 Polimer Dozuna Bağlı Olarak Özgül Direnç Ve Kapiler Emme Süresinin Değişimi (Chiritensen, 1993)

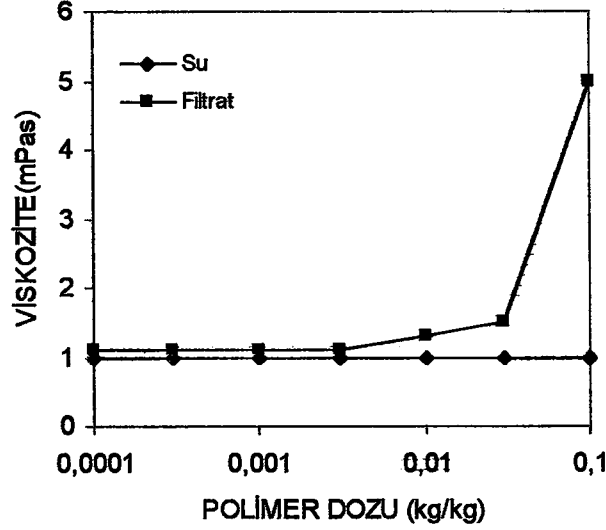
Novak ve diğerleri, alüm ve biyolojik çamurlarla yaptıkları çalışmada aşırı dozlamamanın sadece alüm çamurlarında gerçekleştiğini göstermişlerdir. Alüm çamurlarında optimum dozdan yüksek dozlarda çamur özellikleri bozulmaktadır. Aktif çamur büyük floklardan ve küçük anyonik kolloidlerden oluşmaktadır. Polimerlerin şartlandırmadaki esas rolü kolloidleri yük nötralizasyonu ile koagüle etmektir. Düşük dozlarda, kullanılan katyonik polimerlerin büyük miktarı biokolloidlerin koagülasyonunda kullanılır. Yüksek polimer dozlarında

ise biokolloidlerin nötralizasyonundan sonra büyük floklar da polimerlerle reaksiyona girer. En iyi susuzlaştırma yüzey yükünün sıfır olduğu noktada gerçekleşmesine rağmen yeterli şartlandırma yüzey yükü sıfırlanmadan önce gerçekleşmektedir. Bu yüzden optimum doz yüzey yükünün sıfırlanmasından öncedir. Optimum doz ile sıfır yüzey yükünün arasındaki polimer dozu büyük floklar tarafından kullanılır ve susuzlaştırma verimini az miktarda artırırlar. Aşırı dozlarda fazla miktar polimer geniş floklar tarafından harcandığından çamur özellikleri bozulmaz. (Cole ve Singer, 1985)



Şekil 4.6 Biolojik Çamurlarda Katyonik Polimer İlavesi İle Gerçekleşen Reaksiyonlar (Cole ve Singer, 1985)

Aşırı dozlama sadece organik polimerlerin kullanılması durumunda sözkonusudur. Çamur özelliklerinin bozulması, çamur sıvı fazının viskozitesinin artmasından kaynaklanmaktadır. (Christensen,1993)



Şekil 4.7 Polimer Dozuna Bağlı Olarak Süzüntü Viskozitesinin Değişimi
(Chiristensen ve dğr.,1993)

4.5.5 KARIŞTIRMA ŞİDDETİ VE SÜRESİ

Karıştırma şiddeti ve süresi, kimyasal madde uygulamalarında şartlandırmanın etkili bir şekilde yapılmasını sağlayan en önemli faktörlerdendir. Çamur şartlandırma verimini etkileyen parametreler; polimer dozu, karıştırma şiddeti (G) ve karıştırma süresi (t)'dir. (Werle ve dğr., 1984).

Çamur şartlandırmada polimerler özellikle mekanik susuzlaştırma sistemleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygun polimer ve doz seçimi, şartlandırmanın ve susuzlaştırmanın verimli bir şekilde yapılabilmesi bakımından önemlidir. Optimum polimer dozunun belirlenmesinde karıştırma şiddeti (G) ve karıştırma süresi (t) kritik faktörlerdir. Genel olarak karıştırma şiddetinin artması (Gt) polimer ihtiyacını arttırmaktadır. Werle ve dğr. (1984) alüm çamuru ile yaptıkları çalışmada, (Gt) değerinin artmasının optimum polimer dozunu arttırdığını göstermişlerdir. Aşırı karıştırma, çamur partiküllerinin parçalanmasına ve parçalanmış partiküllerin yeniden bir araya gelmesi için kimyasal madde ihtiyacını arttırmaktadır (Novak ve dğr, 1988).

$$G = \sqrt{\frac{2\pi g N \tau}{60 V \rho}} \quad (4.8)$$

G : Hız Gradyanı (sn⁻¹)

g : Yerçekimi İvmesi (m/sn²)

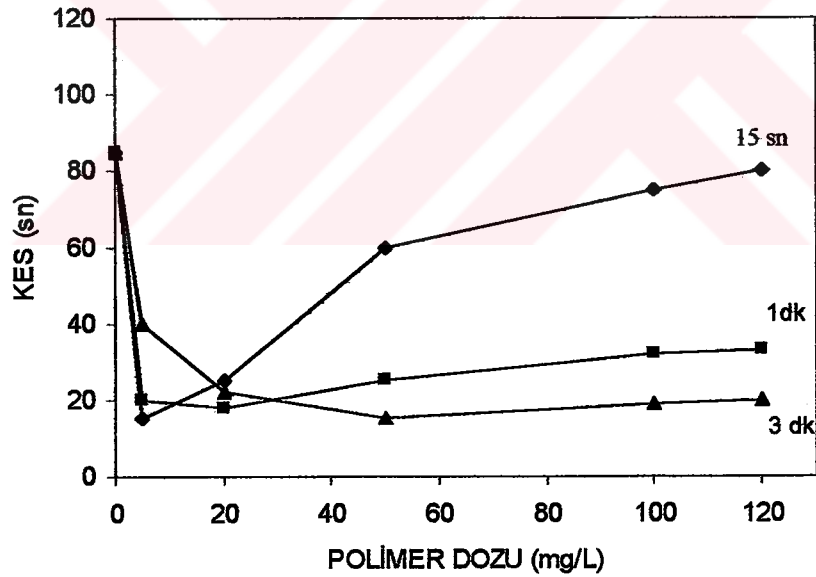
N: Karıştırıcı Dönme Hızı (dev/dk)

τ : Karıştırıcı Üzerindeki Net Torque (gr.m³)

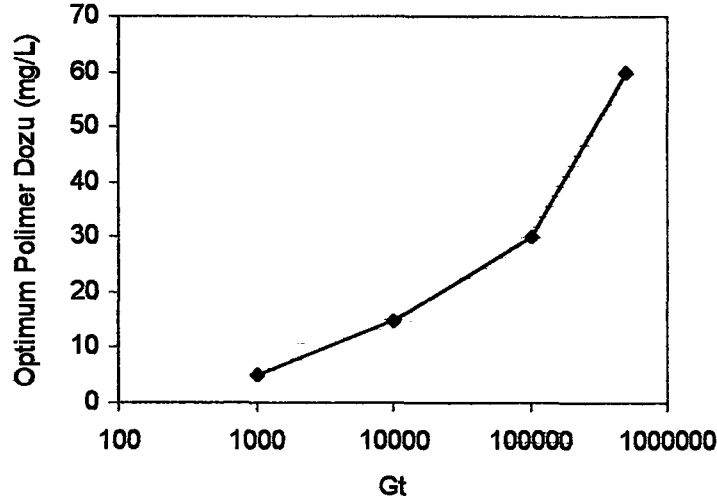
V: Çamur Numune hacmi (m³)

ν : Çamur Kinetik Viskozitesi (m²/sn)

g: Suyun Özgül Ağırlığı (gr/m³)

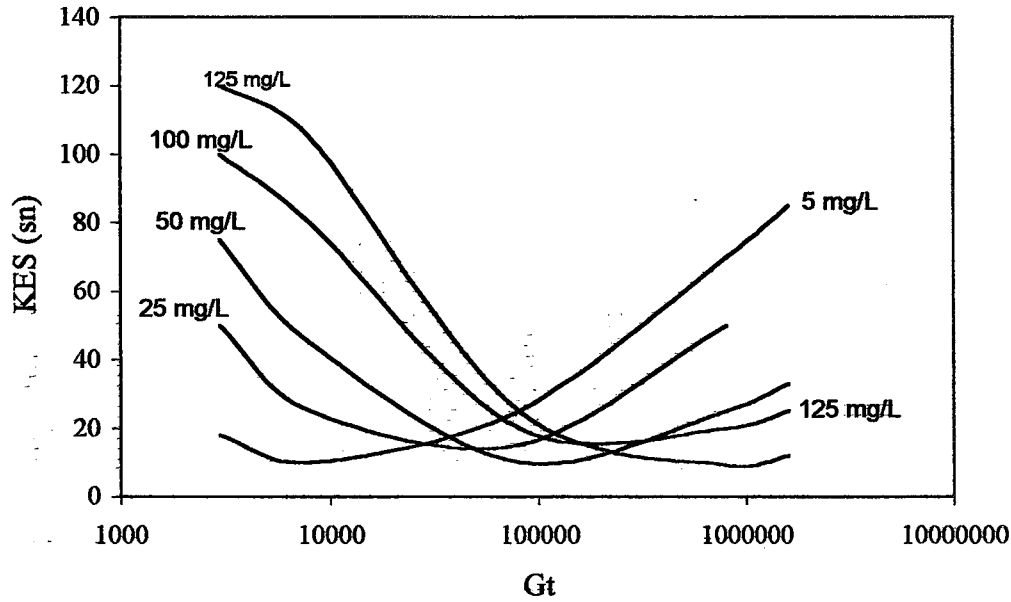


Şekil 4.8 Alüm Çamurlarında Şartlandırılmasında Karıştırma Süresinin Ve Polimer Dozunun Etkisi (Novak ve dğr, 1988)



Şekil 4.9 Alüm Çamurları İçin Gt'nin Optimum Doza Etkisi (Novak ve dğr, 1988)

Karışım şartları oluşan flokların dayanıklılığını belirler. Karıştırma karakteristikleri şartlandırma ve susuzlaştırma sistemlerinin optimizasyonunda önemli rol oynar. Şartlandırılmış çamurlar susuzlaştırma prosesi boyunca kesme kuvvetine maruz kalmaktadır. Kesme kuvveti partiküllerin parçalanmasına eden olarak çamur özelliklerini kötüleştirmekte ve polimer ihtiyacını arttırmaktadır. Polimer miktarının artırılması ile parçalanmış partiküllerin tekrar birleşmesi sağlanarak bu aşırı kesme kuvvetinin etkisi azaltılmaktadır. Bu bakımdan şartlandırma koşulları, seçilecek susuzlaştırma sistemi gözönüne alınarak yapılmalıdır. Çamur susuzlaştırma yönteminin seçilmesi karıştırma şiddetine (Gt) ve polimer dozuna göre seçilebilir. Gt değeri arttıkça, en iyi özellikte çamur elde etmek için gerekli olan optimum polimer dozu artmaktadır. Düşük Gt ve düşük polimer dozlarında elde edilen optimum polimer dozlarıyla şartlandırılan çamurlar kurutma yatakları gibi düşük gerilmeli susuzlaştırma sistemler için uygundur. Santrifüjler gibi yüksek gerilmeli susuzlaştırma sistemler ise güçlü floklar gerektirdiğinden yüksek Gt değerleri ve yüksek dozlarda elde edilen optimum polimer dozları en yüksek verimi vermektedir. Benzer KES sonuçlarını veren floklardan en dayanıklı flokları oluşturan dozlar seçilmelidir.



Şekil 4.10 Alüm Çamurları İçin Karıştırma Şartları Ve Polimer Dozunun KES Üzerindeki Etkisi (Novak ve dğr, 1988)

Hız gradyanı (G), karıştırma süresi (t) ve polimer dozunun sabit tutulması halinde karıştırma işleminde kullanılan karıştırıcı şeklinin akım rejimini değiştirdiğini ve şartlandırma verimi üzerinde etkisi olduğunu Christensen ve dğr. (1985) göstermişlerdir. Polimerlerle çamur şartlandırmada oluşan aşamalar; yüksek türbülansla polimerin çamur içinde dispersiyonu ve laminar şartlar altında gerçekleşen flokülasyondur. Bütün karıştırıcı çeşitlerinde polimerin dispersiyonu için yeterli türbülanslı karışımın sağlandığı ve şartlandırma verimini belirleyen etkenin laminar şartların sağlanması olduğunu yapılan çalışmada gösterilmiştir. Buna göre karıştırma işleminde uygulanan kuvveti laminar akıma dönüştüren karıştırıcılar, türbülanslı şartlar oluşturan karıştırıcılara oranla daha iyi bir performansa sahiptir. Pervaneli pedallar türbün tipi pedallara göre daha stabil akım şartları sağlamaktadır.

4.5.7 KATYON KONSANTRASYONU

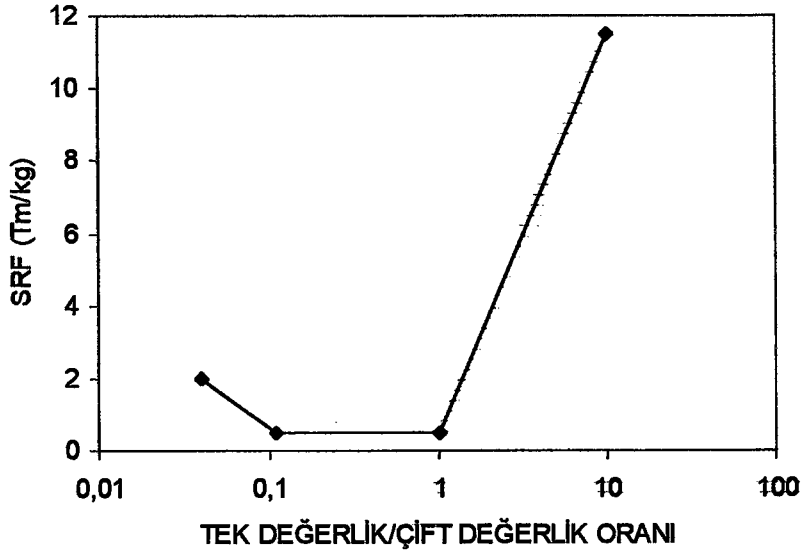
Çamurdaki katyon konsantrasyonunun çamurun çökelme ve susuzlaşma özellikleri üzerinde önemli etkisi vardır. Çamurdaki katyon dengesi çamur çökeltme ve susuzlaştırma sistemlerinin optimizasyonunda kritik bir faktördür.

Kasyon konsantrasyonunun susuzlaştırma ve çökelme özellikleri üzerinde etkisi olan etkenler; tek değerlik / çift değerlik oranı ve kalsiyum / magnezyum oranıdır.

Higgings ve Novak (1997), kationların çamur özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada, tek değerliğe sahip olan sodyum ve potasyum konsantrasyonunun çift değerlikli olan kalsiyum ve magnezyum miktarına oranı 1:1 oluncaya kadar çamur çökelme hızının arttığını ve bu oranın üzerinde ise çamur özelliklerinin kötüleştiği ve süpernatanttaki askıda katı madde miktarının arttığını göstermişlerdir. Genel olarak bu oran 2:1 olması çamur özelliklerini kötüleştirmektedir. Bu kötüleşmenin sebebi; floklardaki çift değerlikli kationların yerini tek değerlikli kationların alması ve bunun sonucu olarak biopolimerlerle floklar arasındaki bağlanmanın azalmasıdır. Biopolimerlerin ağ yapısındaki negatif yüklü alanlar arasında köprü vazifesi gören çift değerlikli kationların floklardan uzaklaşması, flok yapısını güçsüzleştirmekte ve sonuç olarak çamur özellikleri kötüleşmektedir.

Katı madde konsantrasyonu ve flok yoğunluğu kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonunun artmasıyla artmaktadır. Forstler ve Lewin (1972) aktif çamura eklenen kalsiyum miktarının çamurdaki bağlı su miktarını azalttığını, flok yoğunluğunu ve kek katı madde miktarını arttırdığını göstermişlerdir. Çift değerlikli kationlar kesme kuvvetine karşı daha dirençli biopolimer ağ yapısının oluştururlar. Bu sıkı ağ yapısına daha az miktarda su bağlanmakta ve daha kuru kek elde edilebilmektedir.

Aktif çamurlara çift değerlikli kation ilavesi yapılarak şartlandırma için gerekli olan optimum polimer dozu % 30 – 70 azaltılabilir. Bu azalmanın sebebi partikül dağılımının değişmesi ve partiküllerin yüzey yükünün azalmasıdır. Kasyon eklenmesi susuzlaştırmada etkili olan 5 – 50 µm arasındaki partikül miktarı azalmaktadır. (Novak, 1977)



Şekil 4.11 Çamurdaki Katyon Oranının Susuzlaşabilirlik Üzerindeki Etkisi (Higgings ve Novak, 1997)

4.5.7 pH VE ALKALİNİTE

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 arasındaki etkileşim sonucu 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. Alkalinitenin şartlandırma için gerekli olan kimyasal madde dozu üzerinde etkisi bulunmaktadır. Yüksek alkalinite değerine sahip çamurların şartlandırılmasında şartlandırıcı ihtiyacı yüksektir (Lue-Hing, 1992).

4.5.8 BİYOLOJİK FAKTÖRLER

Çamurun biyolojik yapıda olması şartlandırıcı türü ve ihtiyacı üzerinde etkisi vardır. Biofilm çamurların şartlandırılması için gerekli doz aktif çamurlara oranla daha düşüktür. Kimyasal çamurların şartlandırılması, hem kullanılan

kimyasal madde çeşidi hemde dozu açısından biolojik çamurlara göre farklılık gösterir. Biolojik çamurlar yüksek miktarda negatif yüklü kolloid içerdiklerinden şartlandırmada katyonik polimerler kullanılırken kimyasal çamurlarda anyonik polimerler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Biolojik çamurların çok miktarda filamentli mikroorganizma, biokolloid ve biopolimerlerin bulundurması polimer ihtiyacını arttırmaktadır. Ayrıca uzun çamur yaşının uygulandığı aktif çamur sistemlerinde polimer ihtiyacı daha fazla olmaktadır (Lue-Hing,1992).



5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1.ATAKÖY ARITMA TESİSİ GENEL TASARIM BİLGİLERİ

Yapılan çalışmalar Ataköy Atıksu Arıtma Tesisi anaerobik çamur çürütücüsü çıkışından alınan damlatmalı filtre çamuru ile gerçekleştirilmiştir. Ataköy Atıksu Arıtma Tesisi, yüksek hızla işletilen damlatmalı filtreden oluşmaktadır. 550 m³/saat proje debisine sahip olan tesis yaklaşık olarak 45000 eşdeğer nüfusa göre tasarlanmıştır. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından işletilen tesis, 1996 yılında devreye alınmıştır. Çürütücü tankında çamur, belli konsantrasyona ulaştıktan sonra yoğunlaştırılmakta ve alt kısımda yoğun çamur fazı şartlandırılarak belt filtrelerde susuzlaştırılmaktadır.

Tesise ait işletme, tasarım ve boyutlandırma parametreleri Tablo 5.1- 4'te verilmiştir. (YPM,1996)

Tablo 5.1 Ataköy Arıtma Tesisi tasarım debileri (m³/saat)

Proje Debisi	550
Max. Debi	638
Min. Debi	207
Ort. Debi	318

Tablo 5.2 Ataköy Arıtma Tesisi boyutlandırma kriterleri (YPM, 1996)

Parametre	Ön Çöktürme Havuzu	Damlatmalı Filtre	Son Çöktürme Havuzu
Bekletme Süresi, saat	3	-	3
Havuz Hacmi, m ³	969	-	969
Havuz Derinliği, m	2,65	-	2,65
Yüzeysel Yük, m ³ /m ² /saat	0,9	1,01	0,9
Organik Yük, kgBOİ ₅ /m ³ /gün	-	1,75	-
Hacimsel Yük, m ³ /m ² /saat	1,03	1,03	-

Tablo 5.3 Ataköy Arıtma Tesisi'nin çeşitli birimlerinin kirlilik parametreleri ve giderim verimleri boyutlandırma kriterleri (YPM, 1996)

Parametre	Ham Atıksu	Ön Çöktürme Çıkaşı	Son Çöktürme Çıkaşı	Ham Çamur	Çürütücü Çıkaşı	Çürütücü Süpernatatı
BOİ ₅ , mg/l	100-220	63-135	28 - 50	---	---	325-1170
BOİ ₅ Verimi, %	66-83	---	---	---	---	---
KOİ, mg/l	233-513	189-375	79 - 129	---	---	950-4000
KOİ Giderme Verimi, %	60-79	---	---	---	---	---
AKM, mg/l	147-212	58	28 - 55	15903 - 22366	11013-37194	---
AKM Giderme Verimi, %	69-83	---	---	---	---	---
TKM, mg/l	---	---	---	18370 - 25338	11468-10696	---
Alkalinite, mg/l	---	---	---	679-607	1723-3275	---
pH	7.46-7.86	7.26-7.68	7.54 - 7.86	6.43-6.81	6.65-7.05	6.75-7.23
Sıcaklık, °C	12.7-24	12.68-23.4	12.75 - 24.3	13.46-24.55	13.96-25.2	---

Tablo 5.4 Ataköy Arıtma Tesisi çamur çürütme tankı tasarım parametreleri (YPM, 1996)

Parametre	Değeri
Reaktör Hacmi	1786 m ³
Çamur Debisi	125 m ³ /gün
Hidrolik Bekletme Süresi	14.3 gün
Sıcaklık	20 °C
pH	6.65 – 7.05(Ort. 6.89)
Uçucu Katı madde Yüğü	2.06 kgUKM/m ³ / gün
BOİ ₅ Yüğü	2.87 kg BOİ ₅ /m ³ /gün

Ataköy Arıtma Tesisi'nde çürütücü tankına alınan çamur, alt akımın askıda katı madde konsantrasyonu yaklaşık olarak 30000 mg/l'yi geçince çürütme işleminin yeterli gerçekleştiği kabul edilerek çürütme sonrası kademeye geçilmektedir. Bu kademe çürütme tankı mekanik karıştırıcılarla yaklaşık 4 saat boyunca karıştırılarak çamurun üniform bir yapıya kavuşması sağlanır. Bu karıştırma süresi sonunda çamurun 3 saat süreyle yerçekimi etkisiyle çökelerek yoğunlaşması sağlanır. Böylece alt kısımda yoğun çamur fazı, üst kısımda da kirletici madde (N,P) konsantrasyonu yüksek olan duru faz oluşur. Alt kısımda oluşan yoğunlaşmış çamur pompa vasıtasıyla çekilerek şartlandırma ünitesine verilir. Şartlandırılan çamur belt filtrelerde susuzlaştırılır.(YPM, 1996)

5.2. DENEYSEL YÖNTEM

Yapılan deneysel çalışmada, anaerobik çürümüş damlatmalı filtre çamurlarının şartlandırılmasında polielektrolit dozu ve karışım koşullarının santrifüjleme verimine olan etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla değişik polielektrolit dozları eklenmiş çamur numuneleri, çeşitli karışım şiddetleri ve sürelerinde karıştırılmıştır. Şartlandırılmış çamur numunelerinin filtre edilebilirlik özellikleri kapiler emme süresi (KES) ve filtrasyon süresi (FS) tayinleri ile belirlenmiştir.

Ataköy Arıtma Tesisi'ndeki çamur çürütücü ünitesi çıkışında sirkülasyon sırasında alınan çamur numuneleri, tesisteki işletme problemlerinden dolayı yeterli katı madde konsantrasyonu sağlanamadığı ve aynı karakterde çamur ile çalışmak amacıyla, laboratuvarında çökelmeye bırakılmış ve üstteki duru faz toplanmıştır. Yoğunlaştırma sonucu elde edilen çamurun özellikleri Tablo 5.5'de verilmiştir:

Tablo 5.5 Yoğunlaştırılmış çamurun özellikleri (Ortalama değerler)

Parametre	Birinci Numune	İkinci Numune
Toplam Katı Madde	40000 mg/L	40000 mg/L
Uçucu Katı Madde	28000 mg/L	31700 mg/L
pH	7.3	7.8
KES	475 sn	535 sn
Filtrasyon Süresi	55 dk	77 dk

Çamurların şartlandırılmasında SEL (1998) tarafından aynı çamur numunesi ile yapılan çalışma sonucunda en yüksek verime sahip olduğu belirlenen, orta kuvvetli kationik özellikteki CYTEC 250 markalı, granüler haldeki polielektrolit kullanılmıştır. Çalışmalarda 1000ml hacminde %0.1'lik olarak hazırlanan polielektrolit çözeltisi kullanılmıştır. Polielektrolit çözeltisi polielektrolit aktiviteleri azalacağından dolayı maksimum 48 saat bekletilebilmektedir. Bu sebeple kullanılan polielektrolit çözeltisi literatürde belirtildiği gibi 1 saat karıştırılarak her gün taze olarak hazırlanmıştır.(EPA, 1982). Deneylerin her birinde 500 ml çamur numunesi kullanılmış ve eklenecek polielektrolit çözeltisi hacmi, katı madde muhtevasına bağlı olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan çözelti hacimleri tablo 5.6'da gösterilmiştir.

Tablo 5.6 Deneysel Çalışmada Kullanılan CYTEC 250 Marka Polimerin Özellikleri

Polimer Adı	Molekül Ağırlığı	Yükü
CYTEC-250	5500000	Orta Kuvvetli Kationik

Tablo 5.7 Numunelere Uygulanan Dozlar ve Çözelti Hacimleri

Polielektrolit Dozu (mg PE/kgKM)	500 ml Çamur İçin Gerekli Çözelti Hacmi(ml)
1	20
3	60
5	100
7	140

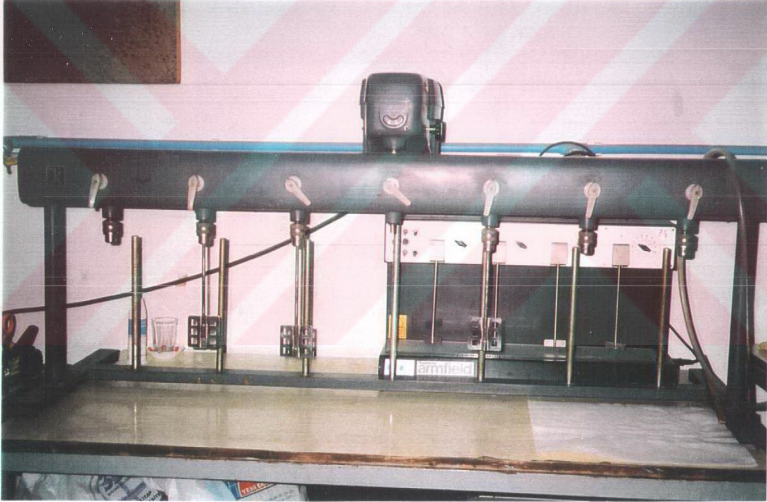
Çalışmalar 4 farklı polielektrolit dozunda (1, 3, 5, 7 mgPE/kgKM), 5 ayrı karıştırma süresinde (0.5, 1, 3, 5, 7 dk) ve 7 ayrı karıştırma hızında (50, 75, 100, 150, 250, 500, 1000 dev/dk) çalışılarak gerçekleştirilmiştir.

Çamur numuneleri sıcaklık nedeniyle özelliklerini değiştireceğinden, alınan numuneler 4°C’de bekletilmiştir. Deneyler, KES ölçümlerini etkileyen viskozite değişimlerini önlemek amacıyla, çamur sıcaklığı 20°C civarına getirilerek yapılmıştır.

Çamur şartlandırma aşamasında Janke Kunkel KG RM 460 markalı karıştırıcı kullanılmıştır. çamur ile polielektrolitin karışmasını sağlamak amacıyla 6.5×7 cm boyutlarında ve 39.5 cm² yüzey alanına sahip pedallar kullanılmıştır.

Çamurun filtre edilebilirlik özelliklerinin tayini, kapiler emme süresi ve filtrasyon süresi testler uygulanarak yapılmıştır. Kapiler emme süresi tayininde Triton Electronic şirketine ait kapiler emme süresi (KES) ölçüm aleti kullanılmıştır. Bu yöntem çamurdaki suyun, boşluklu bir filtre kağıdı üzerinde kapiler emme basıncı ile yayılması esasına dayanmaktadır. Filtre kağıdı üzerinde dairesel olarak yayılan suyun belirli iki nokta arasındaki mesafeyi aldığı süre elektronik olarak alet üzerinden okunmaktadır. Kapiler emme süresi, basit ve kolay uygulanması bakımından en çok kullanılan yöntemdir. Kapiler emme süresinin tayininde kullanılan deney düzeneği esas olarak iki plastik plaka, çelik bir numune haznesi, 9×7 cm boyutlarındaki Whatman No 17 kromotografi, üst plakaya yerleştirilmiş 2 adet elektrot ve otomatik bir zamanlayıcıdan oluşmaktadır. Filtre

kağıdı pürüzlü taraf üst kısma gelecek şekilde plakalar arasına konulur ve silindir numune haznesi üstteki plakada bulunan boşluğa yerleştirilir. Çamur numune haznesine konulduktan sonra çamur yerçekimi etkisiyle dairesel olarak yayılma başlar. Silindirin dış çeperinden yaklaşık olarak 0.8 cm uzaklıta bulunan ilk elektrotta su ulaşması ile zamanlayıcı çalışmaya başlar ve ilk elektrottan 0.7 cm uzaklıktaki ikinci elektrotta ulaştığında ise zamanlayıcı durur. Çamurun kapiler emme süresi alet üzerindeki göstergeden saniye cinsinden okunur.numune haznesine literatüre göre 6.4 ml çamur konulabildiği gibi hazne tamamen de doldurulabilir.(Vesilind, 1988). Çalışmalar daha pratik olamasından dolayı hazne tamamen doldurularak yürütülmüştür. (Standart Metodlar, 1992). KES sonuçları 3 kez tekrarlanmış ve ortalama değerler alınmıştır.



Şekil 5.1 Çalışmalarda Kullanılan Karıştırıcı Düzeneği

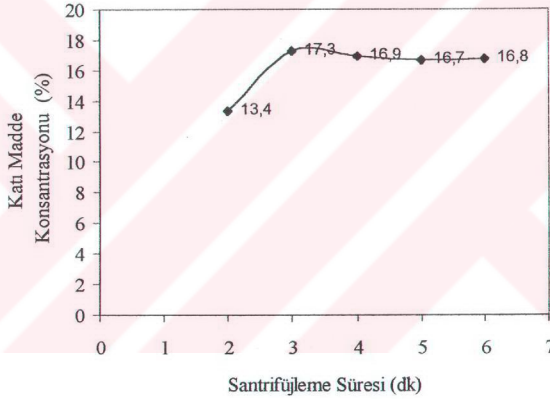
Çamurun filtre edilebilirlik özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla diğer bir metod olarak filtrasyon süresi tayin edilmiştir. Filtrasyon süresi optimum kimyasal madde dozunun ve çamur susuzlaştırma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan ve özgül direnç tayinine oranla daha hızlı ve basit olan bir ölçüm yöntemidir. Bu metod

çeşitli dozlarda kimyasal madde ilavesi yapılmış çamura vakum uygulanarak, belirli bir miktar süzöntü hacminin birikmesi için gerekli olan sürenin tespit edilmesi esasına dayanmaktadır. Deney düzeneyi Buchner hunisi, vakum pompası, mezur, filtre kağıdı ve vakum ölçerden oluşmaktadır. Uygulamada 200ml veya 50 ml çamur kullanılabilir. Yapılan çalışmada 200 ml çamur kullanılmıştır. Bu hacimdeki çamur numunesi 390 mmHg vakum uygulanarak Whatman No 2 filtre kağıdından süzölmüştür. Vakum, filtre kağıdı Buchner hunisi üzerine yerleştirildikten sonra uygulanmaya başlanmaktadır ve kullanılan çamur hacminin yarısı hacimde süzöntü elde edilinceye kadar uygulanmaktadır. bu süzöntü hacminin elde edildiği süre ölçölmekte ve filtrasyon süresi direkt olarak bu süreye eşit olmaktadır. (Standart Metodlar, 1992). FS ölçömleri sırasında filtre kağıdının uygulanan vakuma dayanmayarak bazı numulelerde parçalandığı görölmüştür ve süzölme hızını etkilemeyecek şekilde dolgu malzemesi kullanılmıştır.. Literatürde Dolgu malzemesinin kullanılabileceği belirtilmektedir. (Dentel,1988)



Şekil 5. 2 Çalışmalarda Kullanılan Santrifüj

Şartlandırma koşullarının santrifüjlerin verimine olan etkisinin belirlenmesi amacıyla SED firmasının Model 20R, yarı çapı 12 cm, maksimum hızı 11000 dev/dk olan santrifüjü kullanılmıştır. Her biri yaklaşık olarak 30 ml hacminde olan 8 adet silindirik cam tüp santrifüj içinde 45° açı ile bulunmaktadır. Şartlandırılmış çamur numuneleri 3 dakika süresince 3000 dev/dk (1200g) dönme hızında santrifüjlenmiştir. Santrifüj hızı laboratuvar ölçekli çalışmalarda performans değerlendirmesinde uygulanan Auger testi ve gerçek ölçekli santrifüjlerin hızı göz önüne alınarak belirlenmiştir. (Spellman,1997). Santrifüjleme süresi çeşitli süreler denenerek 3 dakika olarak tespit edilmiştir. Bu süreden daha uzun santrifüjleme sürelerinde katı madde konsantrasyonunun fazla değişmediği görülmüştür.



Şekil 5.3 Optimum Santrifüjleme Süresinin Belirlenmesi

Santrifüjleme sonucunda çamurun üst kısmındaki duru faz ayrılarak bulanıklık değeri HACH 2100 A model türbidimetre kullanılarak NTU olarak tespit edilmiştir. Çamur kekinin katı madde muhtevası ise %KM olarak belirlenmiştir. (Standart metodlar, 1992).

5.3 DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

5.3.1 Karışım Şartları Ve Polimer Dozunun Filtre Edilebilirlik Üzerindeki Etkisi

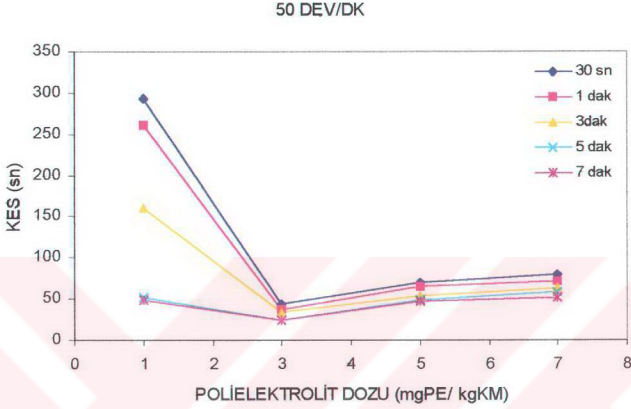
5.3.1.1 Kapiler Emme Süresindeki Değişimler

Yoğunlaştırılmış çamur numuneleri 50, 75, 100, 150, 250, 500, 1000 dev/dk karıştırma hızlarında 0.5, 1, 3, 5, 7 dakika karıştırma sürelerinde şartlandırılmış ve çamur numunelerinin filtre edilebilirlik özellikleri, kapiler emme süresi (KES) ve filtrasyon süresi (FS) tayinleri daha önce belirtilen deney düzenekleri uygulanarak tespit edilmiştir.

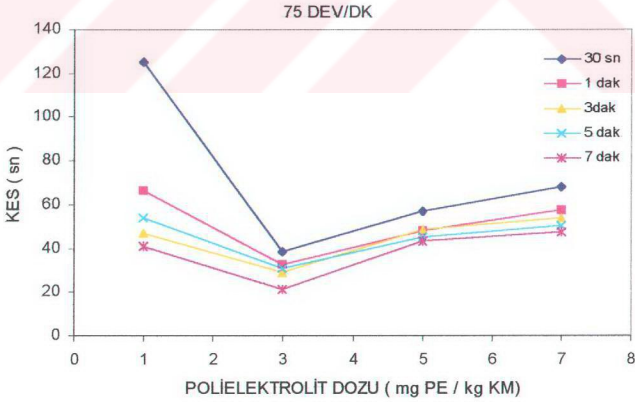
Çeşitli karışım şartlarında, farklı polielektrolit dozları ilave edilerek şartlandırılmış çamur numunelerinin kapiler emme süresi değerlerindeki değişim şekil 5.4 – 5.10'da verilmektedir. Genel olarak bakıldığında polielektrolit dozunun artması ile KES değerinde azalma görülmektedir. KES değeri, belli bir polielektrolit dozundan daha yüksek dozlarda artmaktadır. Minimum kapiler emme süresinin elde edildiği polielektrolit dozu optimum doz olarak tanımlanmaktadır. Yapılan araştırmalarda kapiler emme süresindeki belli bir polielektrolit dozundan sonraki artışın sebebi polimerlerle yapılan şartlandırmada aşırı dozlama ile çamur vizkositesinin artması olarak göstermektedir. (Christensen, 1993). Novak (1984) ise bu artışın nedeni, çamur partiküllerinin tutunma alanlarının aşırı polimerler tarafından doyurulması, bunun sonucu olarak partiküllerin birbirleriyle birleşerek floklar oluşturmasını engellemesi olarak vermiştir.

Şekil 5.4 – 5.6; çalışılan 50, 75, 100 dev/dk arasında KES değerindeki değişimleri göstermektedir. 50 dev/dk karışım hızında en yüksek kapiler emme süreleri 30 sn karışım süresi sonucunda elde edilmiştir. Karışım süresinin artması ile çamur numunelerinin filtre edilebilirlik özelliklerinin arttığı görülmektedir. 1 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ilave edilerek çeşitli karışım sürelerinde şartlandırılmış numunelerin KES değerleri göz önüne alındığında, KES değerlerindeki değişimin daha fazla olmuştur. Dozun artması ile kapiler emme sürelerindeki değişim azalmıştır. Bu karışım hızlarında tüm karışım süreleri için minimum KES değeri

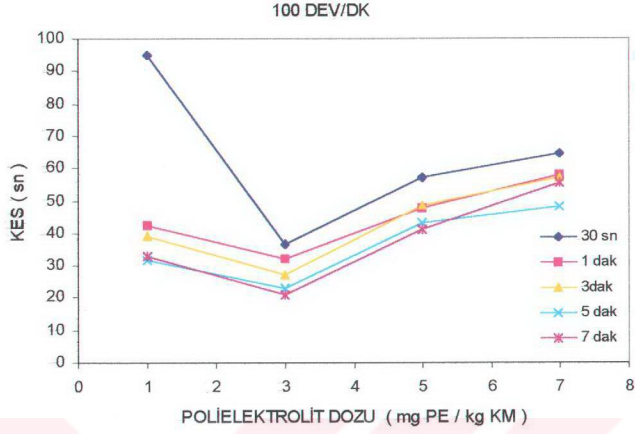
polielektrolit dozu 3 mgPE/kgKM dozunda belirlenmiştir. Minimum KES değerleri; 50 dev/dk hızında 43.2 sn ile 23.8 sn arasında değişmiştir. En düşük değer 7 sn sonunda elde edilmiştir. 75 dev/dk hızında minimum KES değerleri 32.5 – 21.5 sn arasında iken 100 dev/dk karışım hızında 26,8 sn ile 20,8 sn civarına inmiştir.



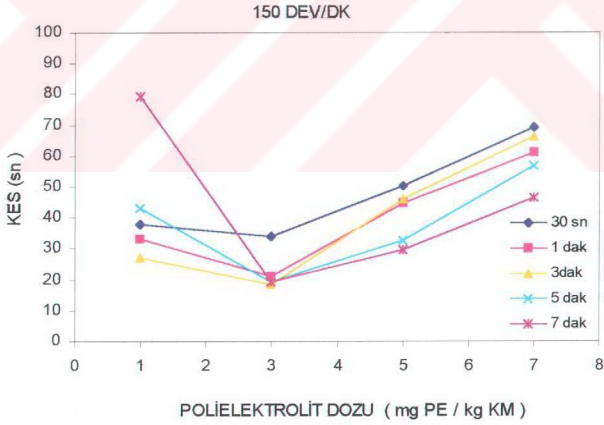
Şekil 5.4 50 dev/dk karıştırma hızında KES değerinin değişimi



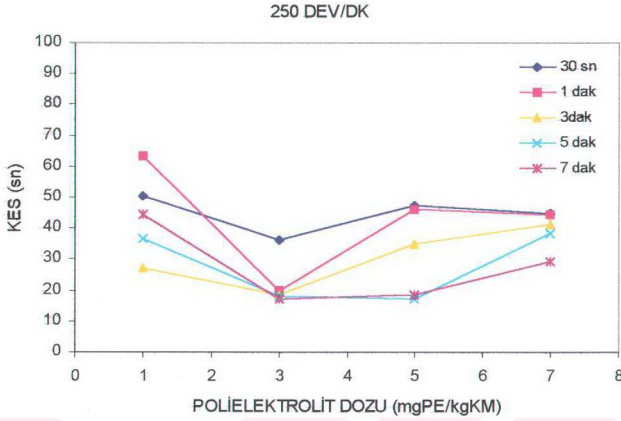
Şekil 5.5 75 dev/dk karıştırma hızında KES değerinin değişimi



Şekil 5.6 100 dev/dk karıştırma hızında KES değerinin değişimi



Şekil 5.7 150 dev/dk karıştırma hızında KES değerinin değişimi

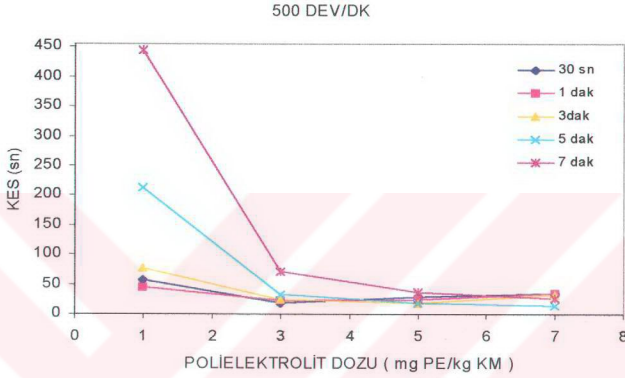


Şekil 5.8 250 dev/dk karıştırma hızında KES değerinin değişim

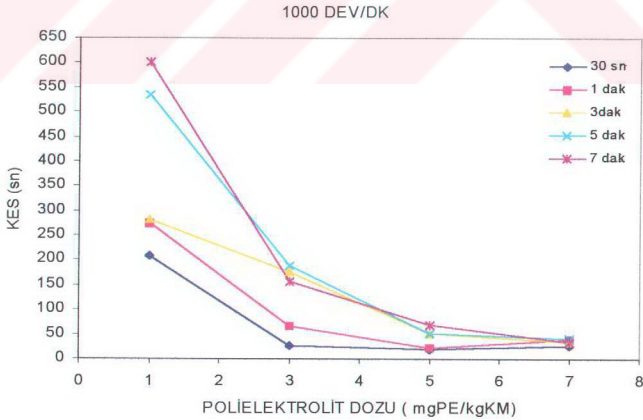
Karışım hızının 150 ve 250 dev/dk olduğu deneysel çalışmalarda minimum kapiler emme süresi, bütün karışım şiddetlerinde ve sürelerinde 3mgPE/kgKM dozunda belirlenmiştir. Minimum KES değerleri, 150 dev/dk'da 24 ~ 19.4 sn aralığında, 250 dev/dk'da ise 25.1 sn ile 17.8 sn arasında değişmektedir. 1~3 mgPE/kgKM arasındaki düşük polimer dozlarında en düşük KES değerleri 3 dakika karıştırma süresinde elde edilmiştir. Aşırı karışım şartlarında, bir araya gelen partiküller tekrar parçalanmaya başlamakta ve tekrar yumaklaşabilmesi için ortamda yeterli polimer bulunmamasından dolayı çamurun susuzlaşabilirlik özellikleri kötüleşmektedir. 3 mgPE/kgKM dozundan yüksek dozlarda ise düşük KES değerleri uzun karıştırma sürelerinde elde edilmiştir.

500 dev/dk ve 1000 dev/dk'da çalışılan yüksek karıştırma hızlarında, düşük polielektrolit dozu ilave edilmiş numunelerin KES değerlerine göre en düşük kapiler emme süresi değerleri 30sn karıştırma süresi sonucunda elde edilmiştir. Karıştırma süresinin artması ile flokların aşırı karışımından dolayı parçalandığı ve kapiler emme süresinin çok yüksek değerlere çıktığı görülmektedir. Polielektrolit dozunun artması ile, aşırı karışım şartlarından dolayı oluşan çamur özelliklerindeki kötüleşme azalmaktadır. Minimum kapiler emme süresinin elde edildiği polielektrolit dozu,

uygulanan karıştırma sürelerine göre değişiklik göstermiştir. Karışım şiddetinin ve süresinin artması çamurun polimer ihtiyacını arttırdığından, minimum KES'in elde edildiği dozlar da artmıştır. Minimum KES değerlerinin belirlendiği dozlar, 500 dev/dk karıştırma hızında karışım süreleri için sırasıyla 3, 3, 5, 7, 7 mg PE/kg KM olarak tespit edilirken 1000 dev/dk karıştırma hızı için bu dozlar 5, 5, 5, 7, 7 mgPE/kgKM olmuştur.



Şekil 5.9 500 dev/dk karıştırma hızında KES değerinin değişimi



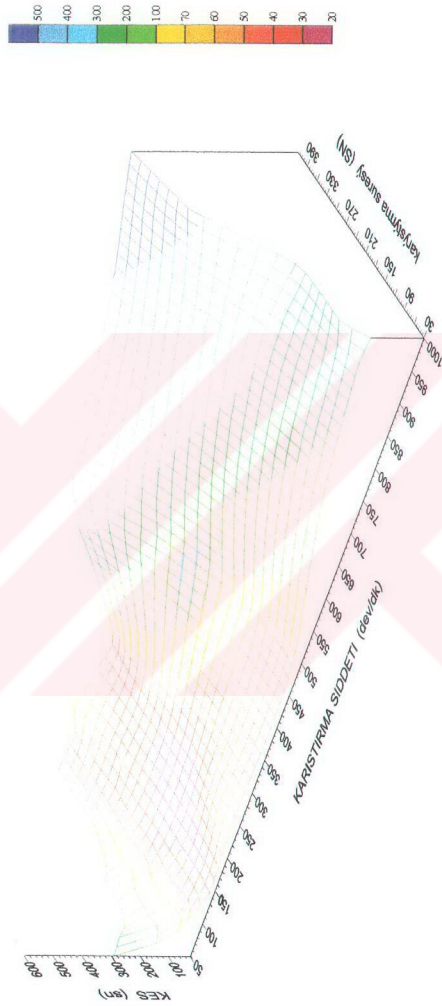
Şekil 5.10 1000 dev/dk karıştırma hızında KES değerinin değişimi

Tablo 5.8 Çeşitli Karışım Şartlarında Minumum KES Değerlerinin Belirlendiği Dozların Değişimi (mgPE/kgKM)

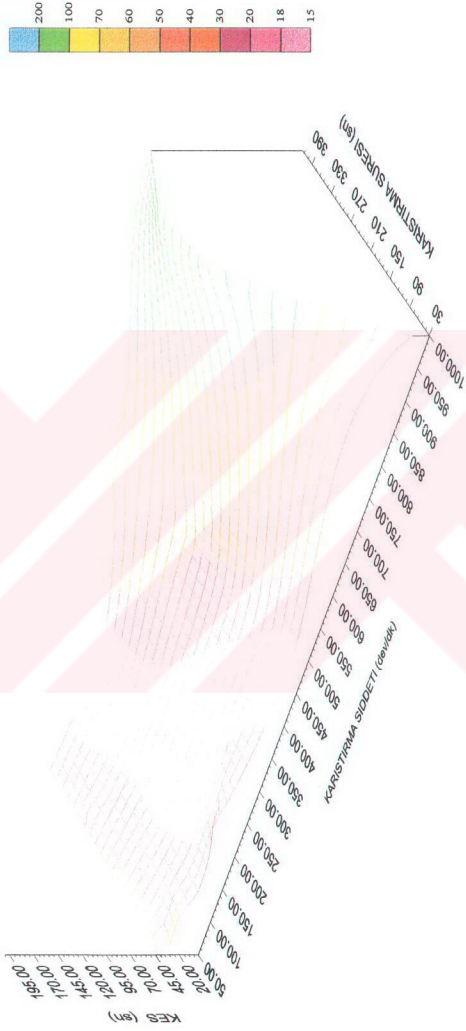
	KARIŞTIRMA SÜRESİ (DK)				
	0.5 dk	1 dk	3 dk	5 dk	7 dk
50	3	3	3	3	3
75	3	3	3	3	3
100	3	3	3	3	3
150	3	3	3	3	3
250	3	3	3	3	3
500	3	3	5	7	7
1000	5	5	5	7	7

Tablo 5.9 Çeşitli Karışım Şartlarındaki Minumum KES Değerlerinin Değişimi (sn)

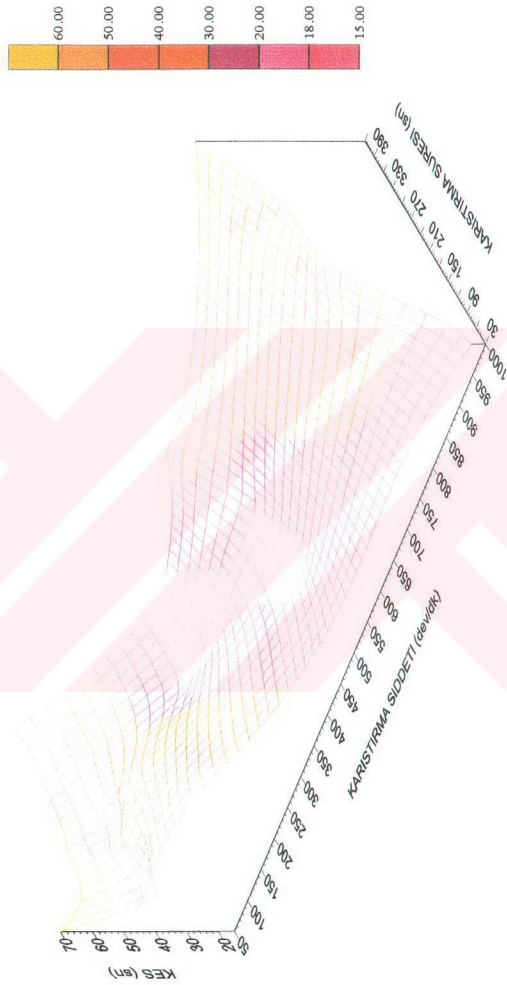
	KARIŞTIRMA SÜRESİ (DK)				
	0.5 dk	1 dk	3 dk	5 dk	7 dk
50	43,2	37,2	34,6	25,1	23,8
75	32,5	28,8	25,8	23,4	21,5
100	26,8	23,8	27,3	23,1	20,8
150	24	21,3	18,7	19,4	19,5
250	36,1	19,7	18,7	18,2	19,2
500	17,6	17,2	18,2	16,5	26,3
1000	18,2	21,2	33,9	42,5	55



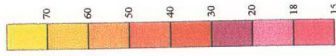
Şekil 5.11 1 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Kapiler Emme Süresindeki Değişim



Şekil 5.12 3 mgP/kgKM Polielektrolit Dozunda Kapiler Emme Süresindeki Değişim



Şekil 5.13 5 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Kapiler Emme Süresindeki Değişim



Şekil 5.14 7 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Kapiler Emme Süresindeki Değişim

Çeşitli karışım hızlarında ve karışım sürelerinde 1 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ilave edilmiş çamur numunelerinin kapiler emme sürelerindeki değişim şekil 5.11’de görülmektedir. Başlangıçta 50 dev/dk karışım hızında 1 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ile 30 sn karıştırılmış çamur numunesinin KES değeri 293,2 sn olarak tespit edilmiştir. Bu karışım hızında karışım süresinin artması ile kapiler emme süresinin azaldığı görülmektedir ve 420sn karışım süresi sonunda 48,8 sn olarak belirlenmiştir. 1 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ilave edilen çalışmalar sonucunda minimum KES değeri, 250 dev/dk karışım hızında 180 sn karışım süresi sonunda 27 sn olarak belirlenmiştir. Karışım şartlarının artması ile kapiler emme süresi artmaktadır. Aşırı karışım şartlarında, bir araya gelerek floklar oluşturan çamur partikülleri aşırı kuvvete maruz kalmakta ve flokların tekrar parçalanmasına neden olmaktadır. Aşırı karışım şartları uygulanan çamur numunelerinin kapiler emme süresi maksimum değeri 1000 dev/dk karışım hızında 420 sn karışım süresi sonucunda 600 sn olarak ölçülmüştür.

3 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ilave edilerek şartlandırılmış çamur numunelerinin KES değerlerindeki değişim şekil 5.12’de verilmektedir. Kapiler emme süresi değerlerine bakıldığında 3 mgPE/kgKM polielektrolit dozundaki değerlerin, 1 mgPE/kgKM dozu ilave edilerek şartlandırılmış çamur numunelerinin kapiler emme süresi değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. 50 dev/dk karışım hızında 30 sn karışım süresinde bu dozda şartlandırılmış çamurun KES değeri 43,2 sn olarak ölçülmüştür. Bu değer yine karışım süresinin artması ile azalmaktadır ve 420 sn karışım süresi sonunda 23,8 sn olarak tespit edilmiştir. Bu polielektrolit dozunda en düşük kapiler emme süresi 250 dev/dk karışım hızında 17,2 sn olarak 420 sn karışım süresi sonucunda elde edilmiştir. Karışım hızının artması ile KES değerleri artmaya başlamaktadır. KES değerlerindeki artış 1 mgPE/kgKM polielektrolit dozuna oranla daha az artmaktadır. Maksimum KES değeri, 1000 dev/dk karışım hızında ve 420 sn karışım süresinde 189 sn’dir.

Polielektrolit dozunun artması ile düşük karışım şartlarında kapiler emme süresi değerleri artış göstermektedir. Şekil 5.13’de 5 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ilave edilmiş çamur numunelerinin KES değerlerindeki değişim verilmektedir. 50 dev/dk karışım hızında 30 sn karıştırma süresi sonunda elde edilen KES değeri 69.7 sn olurken bu değer 420 sn sonunda 46,8 sn olarak tespit edilmiştir. 5 mgPE/kgKM

polielektrolit dozu ilave edilerek şartlandırılmış çamur numunelerinde minimum KES değeri, 500 dev/dk karışım hızında 300 sn karıştırma sonunda, 18,2 sn olmuştur. Düşük karışım şartlarında belirlenen KES değerleri 1 ve 3 mgPE/kgKM dozlarındaki değerlerden yüksek gerçekleşirken hızlı karışım şartlarındaki değerlerin ise daha düşük olduğu görülmektedir.

7 mgPE/kgKM polielektrolit dozunda 50 dev/dk karışım hızında 30 sn sonunda elde edilen kapiler emme süresi değeri 79,9 sn olurken 420 sn sonunda 51,2 sn olarak tespit edilmiştir. Bu dozda şartlandırılan numunelerde, en düşük kapiler emme süresi 500 dev/dk'da 300 sn karıştırma süresi sonucunda 15 sn olarak belirlenmiştir. 1000 dev/dk karışım hızında 30 sn sonunda kapiler emme süresi 28,1 sn iken 420 sn karışım süresinde 45 sn olmuştur.

Elde edilen KES sonuçlarına göre; optimum polielektrolit dozu karışım şartlarına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Düşük karışım şartlarında minimum kapiler emme süresinin elde edildiği polielektrolit dozu düşüken karışım şartlarının artması ile optimum doz artmaktadır. (Tablo 5.8)

Hiç polielektrolit konmamış numunelerin KES değerleri 475 ila 535 sn arasında değişmektedir. (Tablo 5.5). Buna göre polielektrolit ilavesi çamurun susuzlaşabilirlik özelliklerini iyileştirmektedir. Düşük karışım hızlarında minimum KES değerlerinin elde edildiği karıştırma süreleri uzun iken karıştırma hızının artması ile minimum değerler daha kısa karıştırma sürelerinde belirlenmiştir. Genel olarak tüm karıştırma hızlarında 0.5 dakikalık karıştırma ile polielektrolit dozunda gözle görünür bir azalma ve çamur susuzlaşabilirlik özelliklerinde artma gözlemlenmektedir. (Tablo 5.9)

5.3.1.2 Filtrasyon Süresindeki Değişimler

Değişik polielektrolit ilavesi yapılarak şartlandırılmış çamur numunelerinin suyunu bırakma kabiliyetlerinin değerlendirilmesi amacıyla kapiler emme süresi tayinlerinin yanı sıra filtrasyon süresi testleri uygulanmıştır.

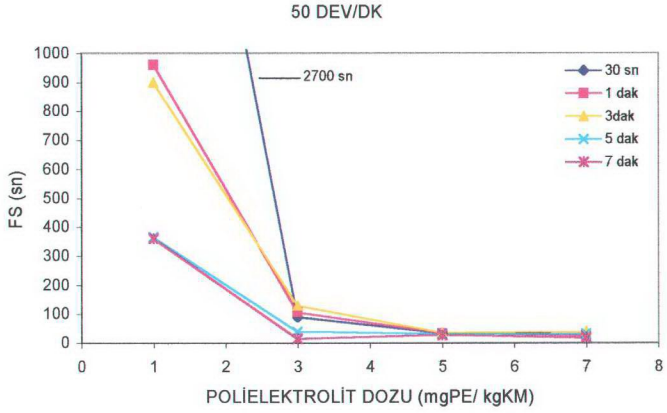
Şekil 5.15-19; 50~250 dev/dk karışım hızlarında şartlandırılan çamur numunelerindeki, polimer dozu ve karışım sürelerinin filtrasyon süresi üzerindeki etkisi görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre polielektrolit dozunun artması ile FS

değeri azalmaktadır. Kapiler emme süresi şartlandırıcı dozunun artması ile azalmakta fakat belli bir dozdan artmaktadır. Filtrasyon süresi değerlerinde ise bu azalama kapiler emme süresinin tersine polielektrolit dozunun artması ile devam etmektedir. Kapiler emme süresi ile filtrasyon süresi arasındaki bu farklılık, iki yöntem arasındaki uygulama farklılığından kaynaklanabilir. KES testlerinde su filtre kağıdı üzerinde sadece kapiler kuvvetler etkisi ile yayılmakta ve viskozitenin artması ile süzülebilirlik zorlaşmaktadır. Filtrasyon süresi ölçümlerinde ise çamura 390 mmHg vakum uygulanmakta ve filtre edilebilirlik viskozite artışından daha az etkilenebilmektedir.

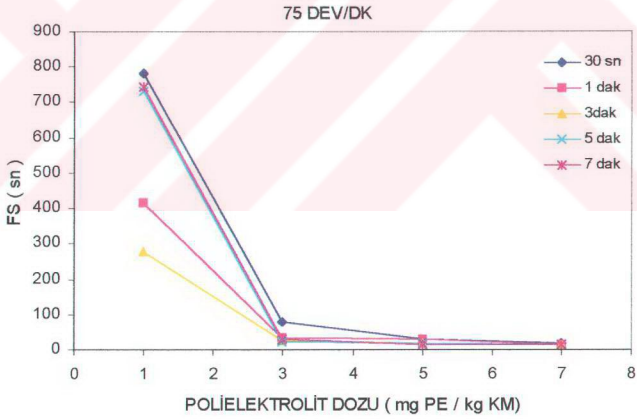
Düşük karışım şartlarında elde edilen flokların iri fakat güçsüz floklar elde edildiği gözlemlenmiştir. Bunun sonucu olarak iri fakat güçsüz floklar uygulanan vakum kuvveti ile parçalanmakta ve tekrar birleşmek için ortamdaki polielektroliti kullanmakta ve yüksek dozlar çamurun filtre edilebilirlik özelliğini arttırmaktadır. Hızlı karışım koşullarında ise KES ile FS yöntemleri benzer sonuçlar göstermiştir.

Tablo 5.10 Çeşitli Karışım Şartlarında KES ve FS Sonuçlarına Göre Minimum Değerlerin Elde Edildiği Dozlar (KES/FS)

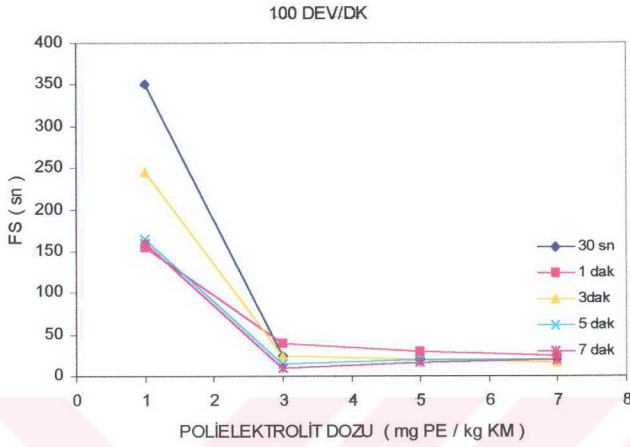
	KARIŞTIRMA SÜRESİ (DK)				
	0.5 dk	1 dk	3 dk	5 dk	7 dk
50	3/7	3/7	3/5	3/5	3/3
75	3/7	3/7	3/7	3/7	3/7
100	3/7	3/7	3/7	3/3	3/3
150	3/7	3/3	3/3	3/3	3/3
250	3/7	3/3	3/3	3/3	3/3
500	3/3	3/3	5/5	7/7	7/7
1000	5/5	5/5	5/3	7/3	7/3



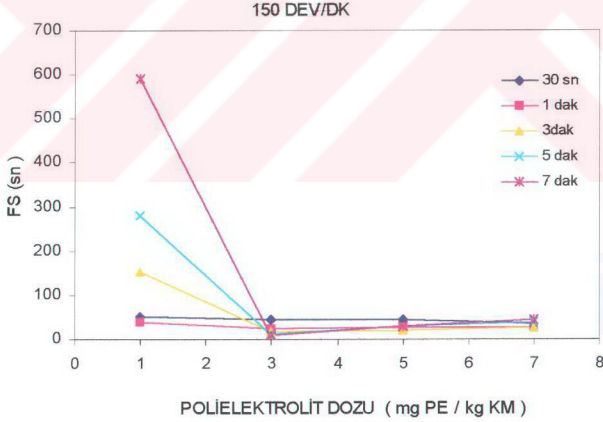
Şekil 5.15 50 dev/dk karıştırma hızında filtrasyon süresinin değeri n i n değ i ş i m i



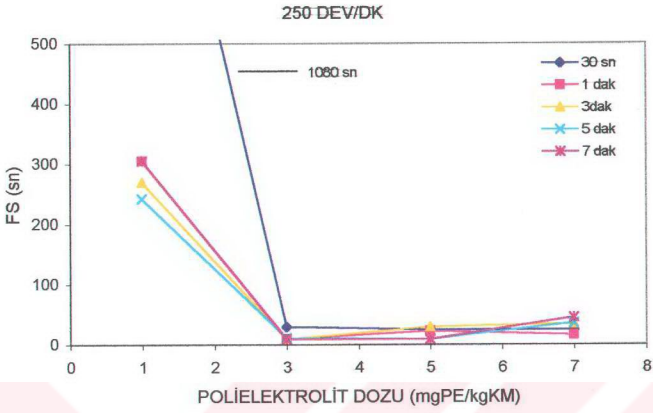
Şekil 5.16 75 dev/dk karıştırma hızında filtrasyon süresinin değeri n i n değ i ş i m i



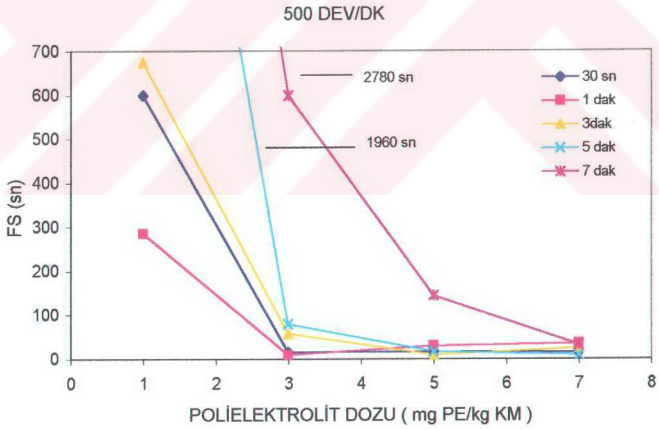
Şekil 5.17 100 dev/dk karıştırma hızında filtrasyon süresinin değeri değişimi



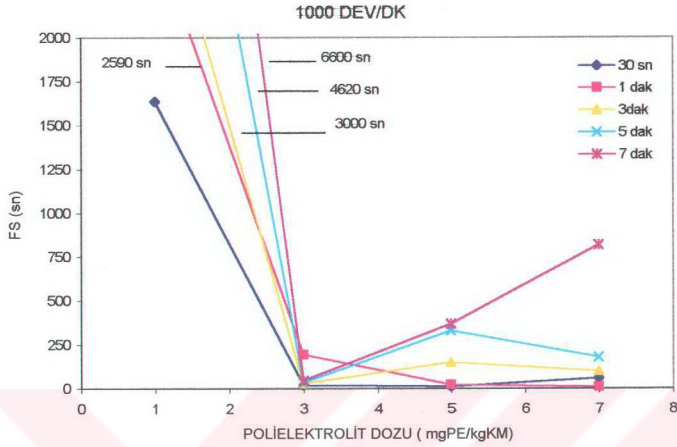
Şekil 5.18 150 dev/dk karıştırma hızında filtrasyon süresinin değeri değişimi



Şekil 5.19 250 dev/dk karıştırma hızında filtrasyon süresinin değeriinin değışimi



Şekil 5.20 500 dev/dk karıştırma hızında filtrasyon süresinin değeriinin değışimi



Şekil 5.21 1000 dev/dk karıştırma hızında filtrasyon süresinin değerinin değişimi

500 ve 1000 dev/dk karıştırma hızlarında, düşük polielektrolit dozu uygulanan çalışmalarda aşırı karışım şartlarından dolayı filtrasyon süresi değerleri yüksek olmuştur. Bu karışım şartlarında oluşan flokların düşük karışım hızlarında oluşan floklardan daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Bu küçük fakat güçlü flokların dayanıklılığı daha fazla olduğundan daha iyi susuzlaşabilmektedir. Gücsüz flokların oluşması durumunda floklar etki eden kuvvetle dağılmakta ve polielektrolit ihtiyacı fazla olmaktadır.

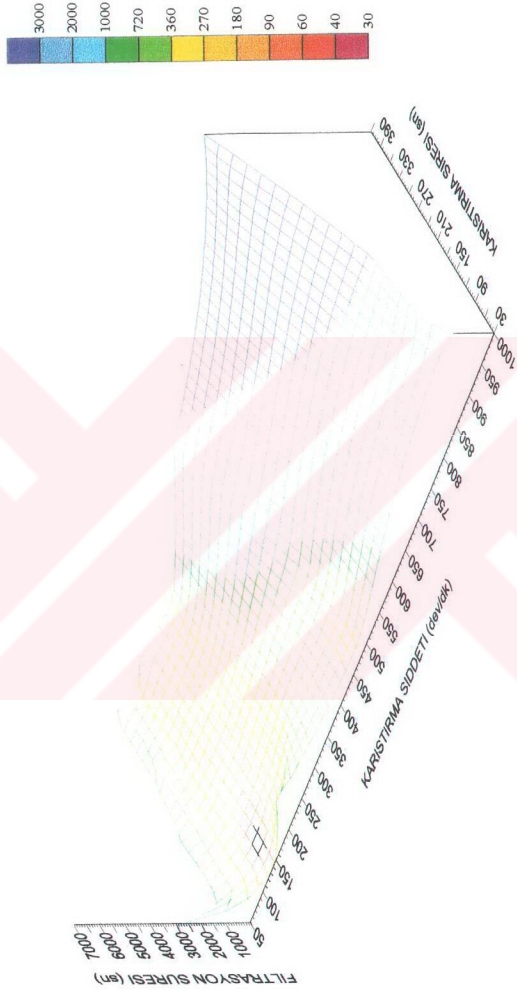
Çeşitli karışım hızlarında ve karışım sürelerinde 1 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ilave edilmiş çamur numunelerinin filtrasyon sürelerindeki sürelerindeki değişim şekil 5.22'de verilmektedir. Başlangıçta 50 dev/dk karışım hızında 1 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ile 30 sn karıştırılmış çamur numunesinin FS değeri 2700 sn olarak tespit edilmiştir. Bu karışım hızında karışım süresinin artması ile kapiler emme süresinin azaldığı görülmektedir ve 420 sn karışım süresi sonunda 360 sn'ye inmektedir. 1 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ilave edilen çalışmalar sonucunda minimum FS değeri, 150 dev/dk karışım hızlarında, 60 sn karışım süresi sonunda 40

sn olarak belirlenmiştir. Karışım hızının artması ile filtrasyon süresi değerleri artmaktadır. Aşırı karışım şartları uygulanan çamur numunelerinin maksimum filtrasyon süresi de 1000 dev/dk karışım hızında 420 sn karışım süresi sonucunda 6600 sn olarak ölçülmüştür.

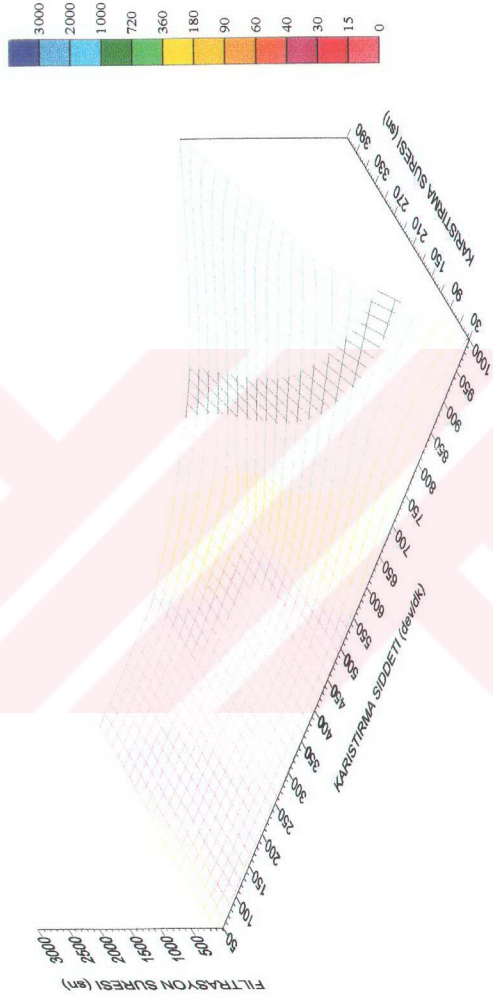
3 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ilave edilerek şartlandırılmış çamur numunelerinin FS değerlerindeki değişim Şekil 5.23’de verilmektedir. 3 mgPE/kgKM polielektrolit dozundaki elde edilen filtrasyon süresi değerlerinin, 1 mgPE/kgKM dozu ilave edilerek şartlandırılmış çamur numunelerinin filtrasyon süresi değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu polielektrolit dozunda en düşük filtrasyon süresi 250 dev/dk karışım hızında 9 sn olarak 420 sn karışım süresi sonucunda elde edilmiştir. Karışım hızının artması ile FS değerleri artmaya başlamaktadır.

Polielektrolit dozunun artması ile filtrasyon süresindeki azalma devam etmektedir. Şekil 5.24’te 5 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ilave edilmiş çamur numunelerinin FS değerlerindeki değişim verilmektedir. 50 dev/dk karışım hızında 30 sn karıştırma süresi sonunda elde edilen FS değeri 33 sn olurken bu değer 420 sn sonunda 28 sn olarak tespit edilmiştir. 5 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ilave edilerek şartlandırılmış çamur numunelerinde minimum FS değeri, 500 dev/dk karışım hızında 180 sn karıştırma sonunda, 9 sn olarak tespit edilmiştir.

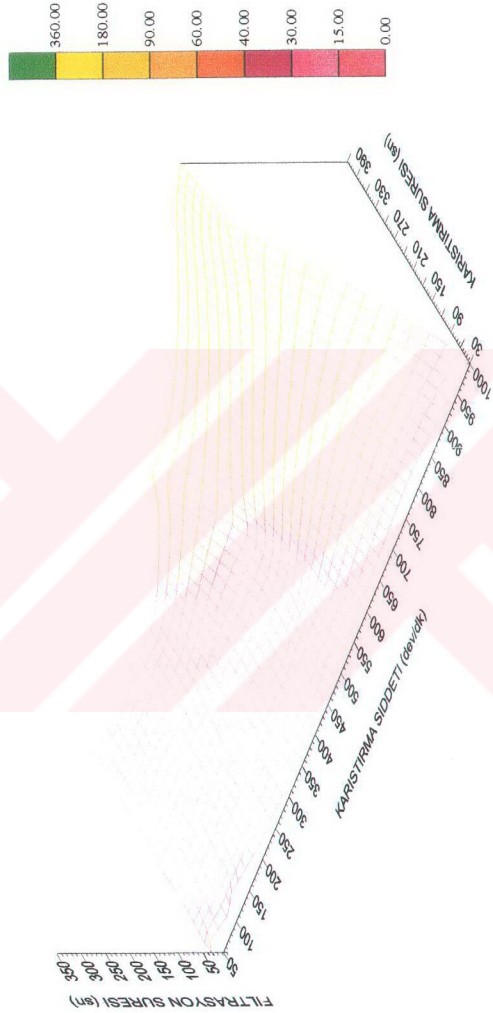
7 mgPE/kgKM polielektrolit dozunda 50 dev/dk karışım hızında 30 sn sonunda elde edilen filtrasyon süresi değeri 30 sn olurken 420 sn sonunda 19 sn olarak tespit edilmiştir. Bu dozda şartlandırılan numunelerde, en düşük filtrasyon süresi 500 dev/dk’da 300 sn karıştırma süresi ve 1000 dev/dk’da 60sn karıştırma süresi sonucunda 9 sn olarak belirlenmiştir. 1000 dev/dk karışım hızında filtrasyon süresi 420 sn karışım süresinde 820 sn olmuştur.



Şekil 5.22 1 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Filtrasyon Süresindeki Değişim



Şekil 5.23 3 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Filtrasyon Süresindeki Değişim



Şekil 5.24 5 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Filtrasyon Süresindeki Değişim

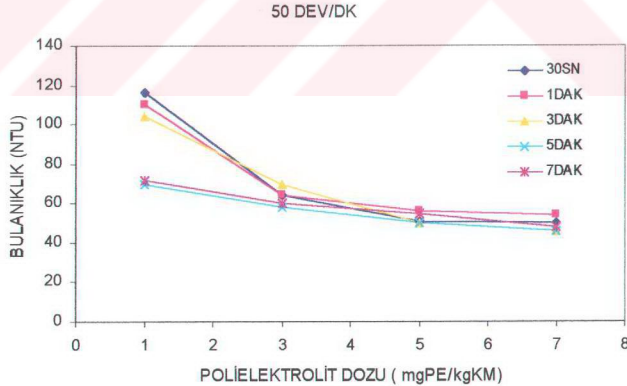


Şekil 5.25 7 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Filtrasyon Süresindeki Değişim

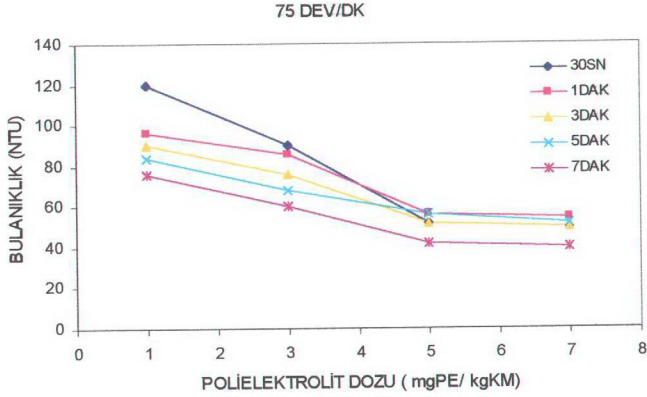
5.3.2 Karışım Şartları Ve Polimer Dozunun Santrifüj Verimi Üzerindeki Etkisi

Farklı karışım şartlarında değişik polielektrolit dozları ilave edilerek şartlandırılmış çamur numuneleri santrifüjlenmiş ve duru faz bulanıklık değerleri ile kek katı madde konsantrasyonları belirlenmiştir. Kek katı madde konsantrasyonları, çalışılan tüm karışım koşullarında sağlıklı sonuçlar elde edilemediği için değerlendirme dışında bırakılmıştır. Santrifüjleme işleminde küçük hacimli santrifüj tüpleri kullanıldığından her bir tüpte çok küçük miktarda çamur keki elde edilmiş ve duru fazın tüplerden yeterli ölçüde uzaklaştırılamaması sonucu yeterli ve temsil edici özellikte sonuçlar elde edilememiştir. Bunun sonucu olarak karışım şartları ve polielektrolit dozunun santrifüj verimine olan etkisini duru faz bulanıklık değerleri baz alınarak yapılmıştır.

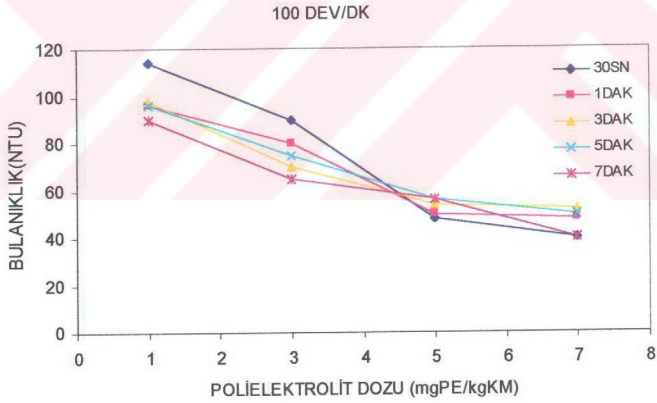
Şekil 5.26 –5.32 'de çeşitli karışım koşullarında şartlandırılmış çamur numunelerinde polielektrolit dozunun bulanıklık değerleri üzerindeki değişimleri verilmektedir. Genel olarak duru faz bulanıklık değerleri sonuçlarına göre, polielektrolit dozunun artması ile bulanıklık değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şartlandırılmış çamur numuneleri santrifüjleme sırasında yüksek kuvvete maruz kalmakta flokların parçalanmasına neden olmakta ve polielektrolit ihtiyacını arttırmaktadır.



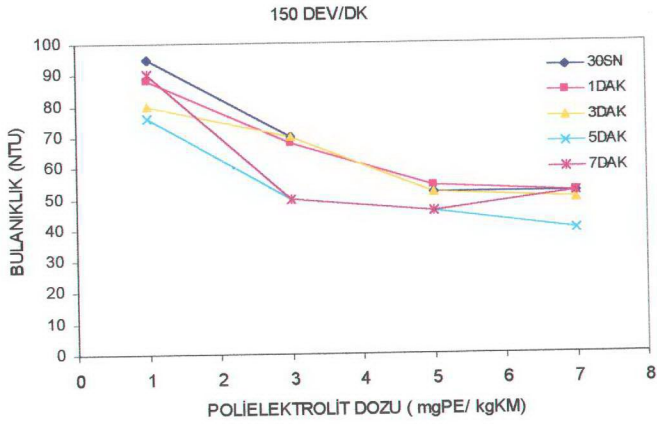
Şekil 5.26 50 dev/dk karıştırma hızında bulanıklık değerinin değişimi



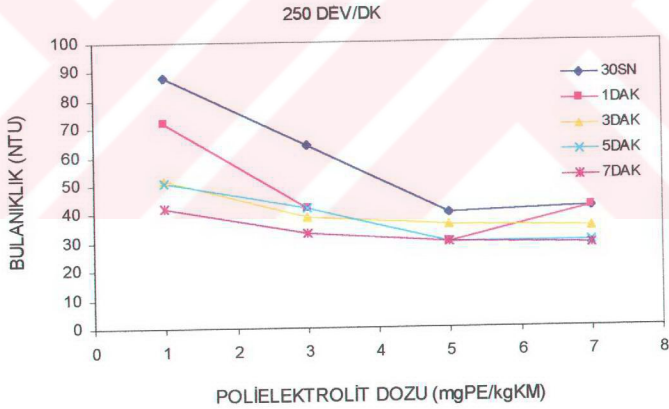
Şekil 5.27 75 dev/dk karıştırma hızında bulanıklık değerinin değişimi



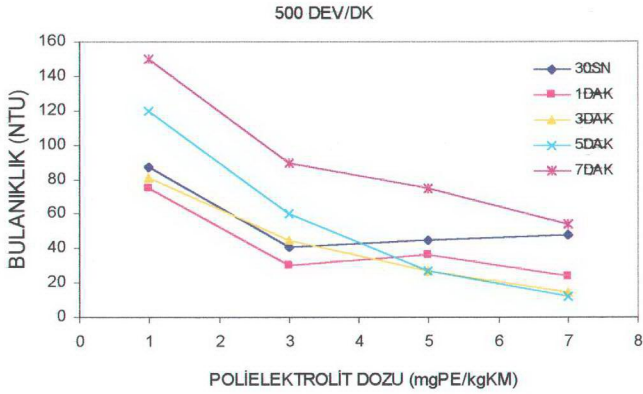
Şekil 5.28 100 dev/dk karıştırma hızında bulanıklık değerinin değişimi



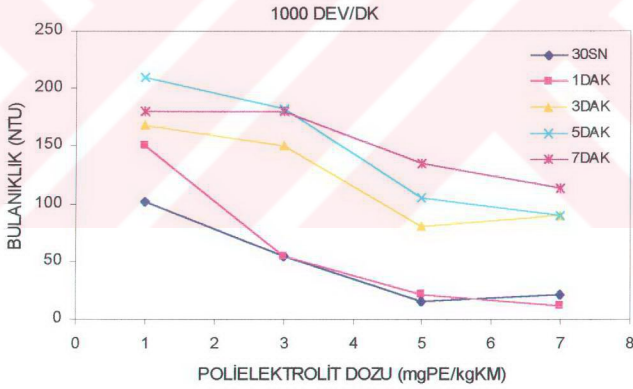
Şekil 5.29 150 dev/dk karıştırma hızında bulanıklık değerinin değişimi



Şekil 5.30 250 dev/dk karıştırma hızında bulanıklık değerinin değişimi



Şekil 5.31 500 dev/dk karıştırma hızında bulanıklık değerinin değişimi



Şekil 5.32 1000 dev/dk karıştırma hızında bulanıklık değerinin değişimi

Elde edilen sonuçlara göre, polielektrolit dozu, karıştırma şiddeti ve karıştırma süresinin susuzlaştırma verimi üzerinde olduğu görülmektedir. Farklı polielektrolit dozu ilave edilerek çeşitli karışım şiddetleri ve karışım sürelerinde şartlandırılmış çamur numunelerinin filtre edilebilirlik özelliklerindeki değişim daha önceki bölümlerde verilmişti. Buna göre, farklı polielektrolit dozları ilave edilmesi durumunda minimum KES ve FS değerleri, uygulanan doza bağlı olarak farklı karıştırma şiddetlerinde ve karıştırma sürelerinde elde edilmiştir. Düşük polielektrolit dozları eklenmesi durumunda minimum filtre edilebilirlik özellikleri daha düşük karışım hızlarında ve karışım sürelerinde elde edilirken, polielektrolit dozunun artması ile minimum değerler daha hızlı karışım şartlarında sağlanmıştır. 1 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ilave edilmiş çalışmalarda minimum KES değeri 250 dev/dk'da 180 sn karıştırma süresinde 27 sn olarak tespit edilirken, 3 mgPE/kgKM ilave edilmesi halinde minimum KES değeri 17.2 sn olarak 250 dev/dk karıştırma şiddetinde 420 sn sonunda belirlenmiştir. Polielektrolit dozunun artması ile en düşük KES değerleri daha şiddetli karışım şartlarında sağlanmıştır. 5 mgPE/kgKM dozunda bu değer 500 dev/dk ve 300 sn sonucunda 18.2 sn olurken 7 mgPE/kgKM dozunda ise 500 dev/dk ve 300 sn'de 15 sn olarak tespit edilmiştir. (Şekil 5.11-5.14)

Filtrasyon süresi değerleri göz önüne alındığında da minimum filtrasyon süreleri uygulanan polielektrolit dozuna bağlı olarak farklı karışım şartlarında elde edilmiştir. 1 mgPE/kgKM dozunda bu değer 150 dev/dk ve 60 sn'de 40 sn olurken 3 mgPE/kgKM polielektrolit dozu uygulanan çalışmalarda 250 dev/dk hızında 420 sn karıştırma süresinde 9 sn olmuştur. 5 mgPE/kgKM dozunda ise 9 sn olan minimum filtrasyon süresi değeri 500 dev/dk karışım hızında 180 sn karıştırma sonucunda tespit edilmiştir. 7 mgPE/kgKM polielektrolit dozunda ise 500 dev/dk hızında 300 sn süresi sonunda ve 1000 dev/dk hızında 60 sn karıştırma ile 9 sn olarak belirlenmiştir. (Şekil 5.22 - 5.25). Elde edilen sonuçlara göre benzer filtre edilebilirlik özelliklerine sahip çamurların farklı polielektrolit dozu ilavesi ve polielektrolit dozuna bağlı olarak farklı karışım şartlarında elde edilebileceği görülmektedir.

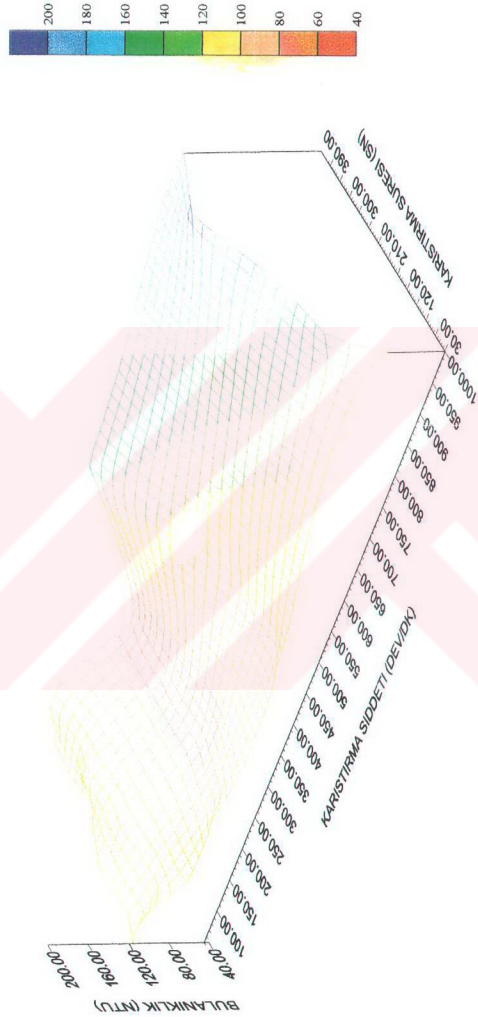
Santrifüjleme sonrasında, duru fazın bulanıklık değerlerine bakıldığında, farklı polielektrolit dozları ve karışım şartlarında benzer filtre edilebilirlik özelliklerine sahip çamur numuneleri elde edilebilmesine rağmen santrifüjleme verimlerinin

farklılık gösterdiği görülmektedir. Düşük polielektrolit dozları ve düşük karışım koşullarında şartlandırılmış çamur numunelerinin duru faz bulanıklık değerlerinin yüksek dozlarda ve daha hızlı karışım şartlarında elde edilen çamur numunelerinin bulanıklık değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 5.32-5.36'da 1, 3, 5, 7 mgPE/kgKM polielektrolit ilavesi yapılarak farklı karışım koşullarında şartlandırılarak santrifüjlenmiş çamur numunelerinin duru faz bulanıklık değerlerindeki değişim gösterilmiştir. 1 mgPE/kgKM dozunda polielektrolit ilavesi yapılan çamur numunelerinin santrifüjleme sonrasındaki duru faz bulanıklık değerlerine bakıldığında en düşük bulanıklık değerinin 250 dev/dk karışım hızında elde edildiği belirlenmiştir. Bu karışım hızındaki bulanıklık değerleri 180 sn karıştırma süresinde 52 NTU olarak ölçülmüştür. Karışım şartlarının artması ile bulanıklık değerlerinde artış görülmektedir. 3 mgPE/kgKM dozu ilave edilen numunelerde ise minimum bulanıklık değeri 250 dev/dk karışım hızında 420 sn karıştırma sonunda 33 NTU olarak elde edilmiştir. Bu dozda elde edilen bulanıklık değerlerinin 1 mgPE/kgKM dozunda elde edilen bulanıklık değerlerinden daha düşük değerler elde edilmiştir. 5 mgPE/kgKM dozu ilave edilmesi halinde bulanıklık değerlerindeki azalma devam etmiştir. Bulanıklık değerleri, karışım şartlarının artması ile azalmaya başlamış ve minimum 15 NTU olarak 1000dev/dk'da 30 sn karıştırma ile tespit edilmiştir. 7 mgPE/kgKM ise 500 dev/dk hızında 300 sn karıştırma süresinde ve 1000 dev/dk hızında 60 sn karıştırma süresinde 12 NTU olarak ölçülmüştür.

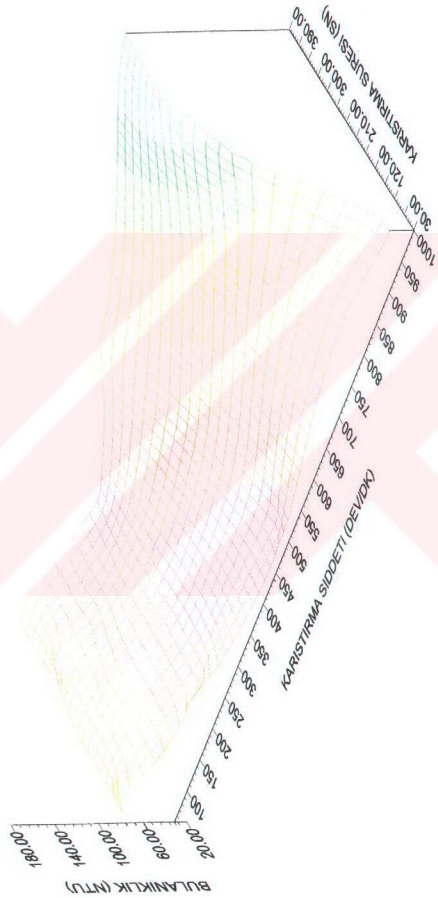
Santrifüjler gibi çamura yüksek kuvvet uygulanan susuzlaştırma sistemlerinde, etkin bir susuzlaştırma için uygulanan polielektrolit dozu ve karışım şartlarının önemli faktörler olduğu görülmektedir. Şartlandırma işleminde, düşük karışım şartlarında ve düşük polielektrolit dozları uygulanması durumunda santrifüjleme verimi düşük gerçekleşmektedir. Bu koşullarda güçsüz floklar oluşmakta ve susuzlaşma süresince maruz kaldığı kuvvetle parçalanarak istenilen performans elde edilememektedir. Düşük polielektrolit dozları ve düşük şiddetli karışım koşullarında şartlandırılan çamurların vakum filtreler ve kum kurutma yatakları gibi sistemlerde daha yüksek verim elde edilebileceği literatürde verilmektedir. (Novak, 1988). Yüksek polielektrolit dozları uygulanarak yüksek karışım şiddetlerinde şartlandırma sonucunda ise güçlü ve dayanıklı floklar oluşmaktadır. Güçlü floklar santrifüjleme ile

oluşan kuvvetlere karşı dayanıklı olmakta ve susuzlaştırma verimi artmaktadır. Santrifüjler gibi yüksek gerilimli susuzlaştırma sistemlerinde polielektrolit ihtiyacı bu sebeple diğer sistemlere göre daha yüksek olmakta ve etkili bir susuzlaştırma için güçlü flok yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır.

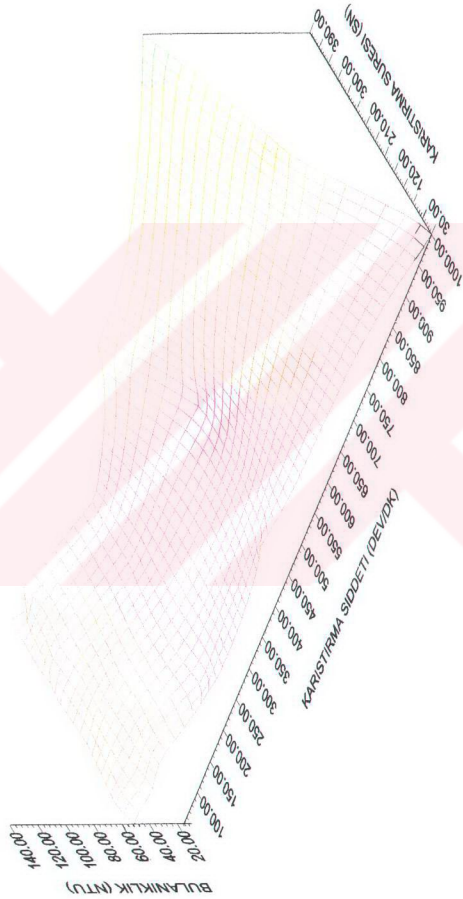
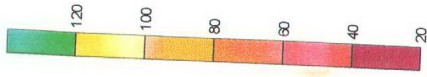




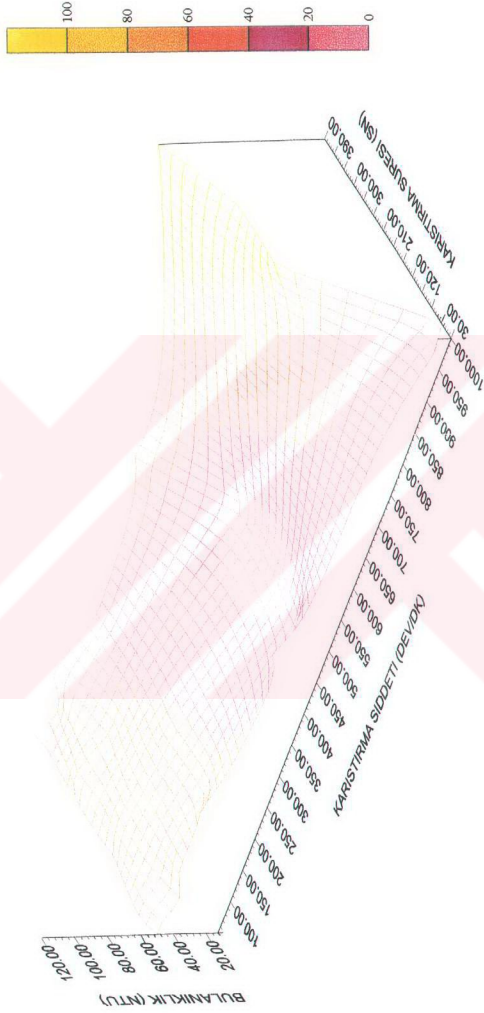
Şekil 5.33 1 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Bulamılık Değerlerindeki Değişim



Şekil 5.34 3 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Bulanıklık Değerlerindeki Değişim



Şekil 5.35 5 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Bulamıklık Değerlerindeki Değişim



Şekil 5.36 7 mgPE/kgKM Polielektrolit Dozunda Bulanıklık Değerlerindeki Değişim

6. SONUÇLAR

Etkili bir susuzlaştırma işlemi için şartlandırma ve uygulanan kimyasal madde miktarı önemli faktörlerdir. Çamur partikülleri susuzlaştırma sistemlerinde maruz kaldıkları kuvvetler sonucunda parçalanmakta ve tekrar birleşmeleri için kimyasal madde miktarı artmaktadır. Şartlandırmadaki karışım koşulları çamur susuzlaştırma sistemlerinin optimizasyonu açısından önemlidir. Şartlandırma ile oluşan flokların dayanıklılığını kimyasal madde dozu ve karışım koşulları belirlemektedir. Bu özellikle santrifüjler ve filtre presler gibi çamura yüksek kuvvet uygulayan sistemler için daha fazla önem taşımaktadır ve bu sistemlerde yüksek verim elde etmek için güçlü flok yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Şartlandırma koşullarının ve uygulanan polielektrolit dozunun santrifüjlerde susuzlaştırma verimine olan etkisini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada, Ataköy Atıksu Arıtma Tesisi anaerobik çürütücü çıkışından alınan çamur numuneleri, farklı polielektrolit dozları uygulanarak değişik karışım koşullarında şartlandırılmış ve çamur numunelerinin suyunu verme özellikleri kapiler emme süresi ve filtrasyon süresi tayinleriyle tespit edilmiştir. Şartlandırılmış çamur numuneleri laboratuvar tipi bir santrifüjde 3000 devir/dak (1200g) hızda ve 3 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Santrifüjleme sonucunda duru fazın bulanıklık değerleri ve kek katı madde muhtevası belirlenmiştir. Santrifüjlenme sonucu elde edilen sonuçlara göre santrifüjler için uygun polimer dozları ve karışım şartları belirlenmeye çalışılmıştır.

Şartlandırılmış çamur numunelerinin kapiler emme süresi (KES) değerleri göz önüne alındığında KES değerlerinin, karışım şiddeti ve karıştırma süresine bağlı olarak belli bir polielektrolit dozunda minimum değer vermekte ve bu dozdan daha yüksek dozlarda artmaya başladığı görülmüştür. Çalışılan tüm karışım şartlarında bu sonuca ulaşılmıştır. Düşük karışım şartlarında optimum doz olarak belirlenen polielektrolit dozu daha düşük olurken karışım şartlarının artması ile bu doz daha yüksek

olmaktadır. Optimum polielektrolit dozunun belirlenmesinde karışım şiddeti ve karıştırma süresinin kritik faktörler olduğu söylenebilmektedir.

Şartlandırılmış çamur numunelerinin filtrasyon süresi değerleri baz alındığında ise kapiler emme süresi değerlerinde olduğu gibi polielektrolit dozunun artması ile çamur numunelerinin filtre edilebilirlik özelliklerinin iyileştiği belirlenmiştir. Kapiler emme süresi şartlandırıcı dozunun artması ile azalmakta fakat belli bir dozdan artmaktadır. Filtrasyon süresi değerlerinde ise bu azalama kapiler emme süresinin tersine, çalışılan polielektrolit dozları için, polielektrolit dozunun artması ile devam etmektedir. Filtrasyon süresindeki bu eğilimin düşük karışım şartlarında gerçekleştiği ve bunun düşük karışım şartlarında güçsüz floklar oluşarak parçalanması sebebiyle gerçekleştiği sanılmaktadır.

Yapılan çalışma sonuçlarına göre farklı polielektrolit dozları ve karıştırma koşullarında benzer filtre edilebilirlik özelliklerine sahip çamur numuneleri elde edilebileceği görülmektedir. Bu düşük polielektrolit dozu düşük karışım şartlarında olabileceği gibi yüksek doz ve hızlı karışım şartlarında gerçekleşebilmektedir. 1 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ilave edilmiş çalışmalarda minimum KES değeri 250 dev/dk'da 180 sn karıştırma süresinde 27 sn olarak tespit edilirken, 3 mgPE/kgKM ilave edilmesi halinde minimum KES değeri 17.2 sn olarak 250 dev/dk karıştırma şiddetinde 420 sn sonunda belirlenmiştir. Polielektrolit dozunun artması ile en düşük KES değerleri daha şiddetli karışım şartlarında sağlanmıştır. 5 mgPE/kgKM dozunda bu değer 500 dev/dk ve 300 sn sonucunda 18.2 sn olurken 7 mgPE/kgKM dozunda ise 500 dev/dk ve 300 sn'de 15 sn olarak tespit edilmiştir.

Filtrasyon süresi değerleri göz önüne alındığında da minimum filtrasyon süreleri uygulanan polielektrolit dozuna bağlı olarak farklı karışım şartlarında elde edilmiştir. 1 mgPE/kgKM dozunda bu değer 150 dev/dk ve 60 sn'de 40 sn olurken 3 mgPE/kgKM polielektrolit dozu uygulanan çalışmalarda 250 dev/dk hızında 420 sn karıştırma süresinde 9 sn olmuştur. 5 mgPE/kgKM dozunda ise 9 sn olan minimum filtrasyon süresi değeri 500 dev/dk karışım hızında 180 sn karıştırma sonucunda tespit edilmiştir. 7 mgPE/kgKM polielektrolit dozunda ise 500 dev/dk hızında 300 sn süresi sonunda ve 1000 dev/dk hızında 60 sn karıştırma ile 9 sn olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre benzer filtre edilebilirlik özelliklerine sahip çamurların

farklı polielektrolit dozu ilavesi ve polielektrolit dozuna bağılı olarak farklı karışım şartlarında elde edilebileceğı görölmektedir.

Santrifüjleme sonrasında, duru fazın bulanıklık değerlerine bakıldığında, farklı polielektrolit dozları ve karışım şartlarında benzer filtre edilebilirlik özelliklerine sahip çamur numuneleri elde edilebilmesine rağmen santrifüjleme verimlerinin farklılık gösterdiği görölmektedir. Düşük polielektrolit dozları ve düşük karışım koşullarında şartlandırılmış çamur numunelerinin duru faz bulanıklık değerlerinin yüksek dozlarda ve daha hızlı karışım şartlarında elde edilen çamur numunelerinin bulanıklık değerlerinden daha yüksek olduğu görölmektedir. 1 mgPE/kgKM dozunda polielektrolit ilavesi yapılan çamur numunelerinin santrifüjleme sonrasındaki duru faz bulanıklık değerlerine bakıldığında en düşük bulanıklık değerinin 250 dev/dk karışım hızında elde edildiğı belirlenmiştir. Bu karışım hızındaki bulanıklık değerleri 180 sn karıştırma süresinde 52 NTU olarak ölçölmüştür. Karışım şartlarının artması ile bulanıklık değerlerinde artış görölmektedir. 3 mgPE/kgKM dozu ilave edilen numunelerde ise minimum bulanıklık değeri 250 dev/dk karışım hızında 420 sn karıştırma sonunda 33 NTU olarak elde edilmiştir. Bu dozda elde edilen bulanıklık değerlerinin 1 mgPE/kgKM dozunda elde edilen bulanıklık değerlerinden daha düşük değerler elde edilmiştir. 5 mgPE/kgKM dozu ilave edilmesi halinde bulanıklık değerlerindeki azalma devam etmiştir. Bulanıklık değerleri, karışım şartlarının artması ile azalmaya başlamış ve minimum 15 NTU olarak 1000dev/dk'da 30 sn karıştırma ile tespit edilmiştir. 7 mgPE/kgKM ise 500 dev/dk hızında 300 sn karıştırma süresinde ve 1000 dev/dk hızında 60 sn karıştırma süresinde 12 NTU olarak ölçölmüştür.

Anaerobik çürütölmüş çamur numuneleri ile yapılan çalışmada, santrifüjler gibi çamura yüksek kuvvet uygulanan susuzlaştırma sistemlerinde, etkin bir susuzlaştırma için uygulanan polielektrolit dozu ve karışım şartlarının önemli faktörler olduğu görölmektedir. Şartlandırma ile elde edilen floklarının dayanıklılığı, uygulanan polielektrolit dozu ve şartlandırma koşulları ile yakından ilişkilidir ve bunun sonucunda susuzlaştırma işleminin verimi üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Şartlandırma işleminde, düşük karışım şartlarında ve düşük polielektrolit dozları uygulanması durumunda santrifüjleme verimi düşük gerçekleşmektedir. Bu koşullarda güçsüz floklar oluşmakta ve susuzlaşma süresince maruz kaldığı kuvvetle

parçalanarak istenilen performans elde edilememektedir. Yapılan çalışmada da düşük doz düşük karışım şartları uygulanan numunelerin santrifüjleme verimi daha düşük gerçekleşirken yüksek doz ve hızlı karışım şartlarında daha yüksek verimler elde edilmiştir. En yüksek santrifüjleme verimi 7 mgPE/kgKM polielektrolit dozu ilavesinde 500 dev/dk hızında 300 sn karıştırma süresinde ve 1000 dev/dk hızında 60 sn karıştırma süresinde 12 NTU olarak ölçülmüştür.

Katı madde oranı değerlerinin bir düzen içinde hareket etmemesi, birbirine yakın çalışma koşullarında bile tutarsız sonuçlar vermesi, katı madde oranı tayinlerinde deneysel yanlışlıklar yapılmış olabileceği ihtimalini düşündürmektedir.

Çalışmalarda kullanılan laboratuvar santrifüjünde çamur numuneleri 45° lik bir açı ile santrifüjlenmektedir. Buda çamur partikülleri üzerine tesis şartlarında kullanılan bir santrifüjde etkiyen kuvvetlerden farklı kuvvetlerin etkimesi anlamına gelmektedir. Dolayısıyla laboratuvar santrifüjünden kaynaklanabilecek etkilerin de katı madde oranı değerlerinde gözlenen tutarsız sonuçların bir nedeni olarak göz önüne alınmalıdır.

Yapılan çalışmada santrifüjleme verimleri göz önüne alındığında çeşitli karışım şartlarında polielektrolit dozunun artması ile susuzlaştırma veriminin arttığı görülmektedir. Minimum kapiler emme süresi elde edilen polielektrolit dozlarında yüksek performans sağlanamamış dozun artması ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Buna rağmen bulanıklık değerleri tek başına bir değerlendirme parametresi olarak alınmamalı ve daha belirgin ve sağlıklı sonuçlar elde edilebilmesi için zeta potansiyeli tespiti yapılmalıdır. Filtrasyon süresi değerlerinden görüleceği gibi polielektrolit dozunun artması çamur filtre edilebilirlik özelliklerini arttırmaktadır. Bu bakımdan santrifüjler gibi çamura yüksek kuvvet uygulayan susuzlaştırma sistemlerin yüksek kimyasal madde ihtiyacı olmaktadır. Güçsüz flokların oluşması durumunda floklar etki eden kuvvetle dağılmakta düşük KES sonuçları vermesine rağmen düşük susuzlaşma verimi elde edilmektedir ve KES değerleri çamurun gerçek susuzlaşabilirlik özelliğini temsil edemeyebilmektedir. İri flokların oluşması durumunda (superflokülasyon) çamur bünyesinde serbest su miktarı fazla olmakta ve KES ölçünlerinde filtre kağıdı üzerinde hızlı bir şekilde yayılarak çamurun bünyesinden su bırakmasına fırsat vermeden ölçüm sonlanmakta ve düşük KES

değerlerinin elde edilmesine sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak gerçek susuzlaşabilirlik özellikleri tespit edilmemektedir.

Yapılan çalışmada karıştırma hızı G cinsinden ifade edilemediği için yeterli değerlendirme yapılamamıştır. Bu sebeple karışım şartlarının susuzlaşabilirlik özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek için karıştırma şiddeti Gt çarpanı olarak ifade edilmelidir. Yapılacak çalışmalar bu doğrultuda yürütülmelidir.

KAYNAKLAR

- Baskerville, R.C., Gale, R.S.**, 1968, A Simple Automatic Instrument For Determining The Filtrability of Sewage Sludge, *J. Inst. Water Pollut. Control*
- Chiristensen, G.L., Dick, R.I.**, 1985, Specific Resistance Measurements Nonparabolic Data, *J. Environ. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*, **11**
- Chiristensen, J.R., Sorensen, P.B., Chiristensen, G.L.**, 1983, Mechanism for Overdosing in Sludge Conditioning, *Journal of Environmental Engineering*, Vol. **19**
- Chiristensen, J.R., Chiristensen, G.L.**, 1985, Improved Characterization of Mixing for Sludge Conditioning, *Journal of Environmental Engineering*, Vol **121**
- Cole, A., Singer, P.C.**, 1985, Conditioning of Anaerobically Digested Sludges, *Jou. Envir. Engrg., ASCE*, **111**(4), 501-510
- Çabuk, M.**, 1998, Anaerobik Çürümüş Çamurların Kimyasal Şartlandırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul
- Dentel, S.K., Abu-Orf, M.M.**, 1993, Application of the Streaming Current Dedector in Sludge Conditioner Selection and Control, *Water Science Technology*, **28/1**
- Dentel, S.K., Abu-Orf, M.M.**, 1995, Laboratory and Full Scale Studies of Stream Viscosity and Streaming Current for Characterization and Monitoring of Dewaterability, *Water Research*, vol. **29**
- Dentel, S.K., Resta, J.J.**, 1998, Selection Coagulant, Filtration and Sludge Conditioning, *Research And Technology, Journal of AWWA*
- Dick, R.I.**, 1985, Measurement of Activated Sludge Rheology, *Environ. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*
- Dick, R.I., Ewing, B.B.**, 1976, Rheology of Activated Sludge, *Jour. Water Poll. Control. Fed.*, **39**(4), 543-560
- EPA**, 1979, Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal, EPA-625/1-79-014, USA, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OHIO

- EPA**, 1982, Dewatering of Municipale Waste Water Sludges, EPA-625/1-82-014, USA, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OHIO
- Ericson, L.**, 1987, Conditionig of Biological Sludges with Cationic Polielectrolytes, *Water Science Tech.*, **19**
- Eroğlu, V.**, 1985, Su Tasfiyesi , İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- Fair, G.M., Geyer, J.C., Okun, D.A.**, 1958, Water and Wastewater Engineering, Vol. 2 John Wiley and Sons, Inc., New York
- Forster, C.F., Lewin, D.C.**, 1972, Polymer Interactions at Activated Sludge Surfaces, *J. Effluent Water Treat.*, 512-520
- Higgings, J., Novak, T.J.**, 1997, Dewatering and Settling of Activated Sludges: The Case for Using Cation Analysis, *Wat. Environmental Research*, Vol. **69** No:2, 225-232
- Higgings, J., Novak, T.J.**, 1997, Effects of Cations on the Settling and Dewatering of Activated Sludges: Laboratory Results, *Water Environmental Research*, Vol: **69** No:2, 215-224
- Lawler, D.F., Chund, Y.Y., Hwang, S., Hull, B.A.**, 1986, Anaerobic Digestion: Effects on Particle Size and Dewaterability, *JWPCF*, Vol. **58**, 1107
- Lotito, V., Minini, G., Spinosa, L.**, 1990, Models of Sewage Sludge Conditioning, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. **22**, No: 12
- Lue-Hing, C., Zenz, D.R., Kuchenrither, R.**, 1992, Municipal Sewage Sludge Managament Processing, Utilazation and Disposal, Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania.
- Karr, P.R., Keinath, T.M.**, 1978, Limitation of Spesific Resistance and CST Tests for Sludge Dewaterability, *Journal of Water Pollution Federation*
- Metcalf & Eddy, Inc.**, 1991, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, 4th Ed. Mc Graw Hill Co., New York
- Novak, J., Haugan, E.**, 1979, Chemical Conditioning Of Activated Sludge, *J. Environ. Eng. Div. Am. Soc. Of Civil Eng.*, **105**, No. EE5
- Novak, J. T., Werle, C.P., Knocke, W.R., Sherrard, J.H.**, 1984, Mixing İntensity and Polymer Sludge Conditioning, *J. Environ. Eng. Div. Am. Soc. Of Civil Eng.*, **110**
- Novak, J. T., Prendenile, J.F., Sherrard, J.H.**, 1988, Mixing Intensity and Polymer Performance in Sludge Dewatering, *J. Environ. Eng. Div. Am. Soc. Of Civil Eng.*, **114**, No. 1

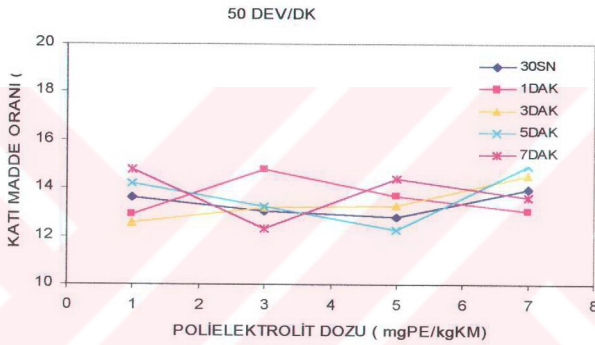
- Novak, J., Lynch, P.**, 1990, The effect Of Shear On Conditioning: Chemical Equipments During Mechanical Sludge Dewatering, *Water Science and Tech.*, Vol.22
- Smith, J.K.**, 1992, The Use of Dilatometry to Measure the Characteristic of Water in Sludge, *MS Thesis*, Department of Civil and Environmental Engineering, Duke University, Durhan NC
- Standart Metodlar**, 1998, Apha, AWWA Yayini, 20. Baskı
- Sel, İ.**, 1998, Anaerobik Çürümüş Çamurların Farklı Kimyasal Maddelerle Şartlandırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul
- Smollen, M.**, 1986, Dewaterability of Municipale Sludges 1: A Comparative Study of SRF and CST as a Dewaterability Parameter, *Water SA*, 12
- Spellman, R.**, 1997, Dewatering Biosolids, Lanchaster, Po. Technologic Public
- Onay, T., Gönenç, I.**, 1989, Sludge Dewatering, Disposal and Utilization Techniques, *NATO-TU Waters Final Report*
- Tiravanti, G., Lore, F., Sonnante, G.**, 1985, Influence of the Charge Density of Cationic Polyelectrolytes on Sludge Conditioning, *Water Science and Tech.*, Vol. 19
- Vesilind, P.A.**, 1970, Estimation of Sludge Centrifuge Performance, *J. Sanit. Div.* 96 (SA3), 805-813
- Vesilind, P.A.**, 1974, Treatment and Disposal of Wastewater Sludges, Ann Arbor Science Pub., Inc.
- Vesilind, P.A.**, 1988, Capillary Suction Time As A Fundamental Measure Of Sludge Dewaterability, *Journal WPCF*, Vol. 60, Number 2
- Vesilind, P.A., Martel, C.J.**, 1989, Freezing of Water and Wastewater Sludges, *J. Environ. Eng., ASCE*, 116, 854-861
- Vesilind, P.A., Cheng-Chao Hsu**, 1997, Limits Of Sludge Dewaterability, *Water Science and Tech.*, Vol. 36
- Water Research Center**, 1979, Notes on Water Research, No:24, November
- Werle, P.C., Novak, J.T.**, 1984, Mixing Intensity and Polymer Sludge Conditioning, *ASCE*, vol. 110, No: 5
- WPCF**, 1983, Sludge Dewatering: Manuel of Practice, No: FD- 20, Water Pollution Control Federation, Alexandria, VA
- WPCF**, 1988, Sludge Conditioning: Manuel of Practise, No:FD-14, Water Pollution Control Federation, Alexandria, VA

YPM, 1996, Ataköy Atıksu Arıtma Tesisi İşletmeye Alma Talimatnamesi, Yapı Proje Merkezi A.Ş. -

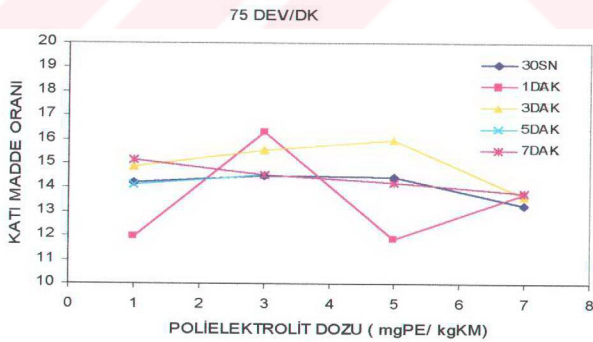


EKLER

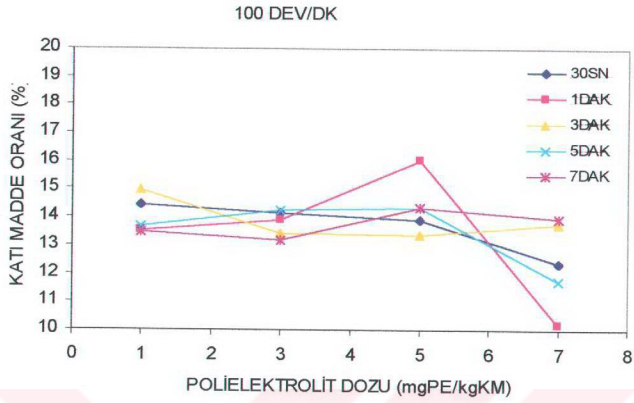
KARIŞIM ŞARTLARI VE POLİMER DOZUNUN KATI MADDE ORANI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ



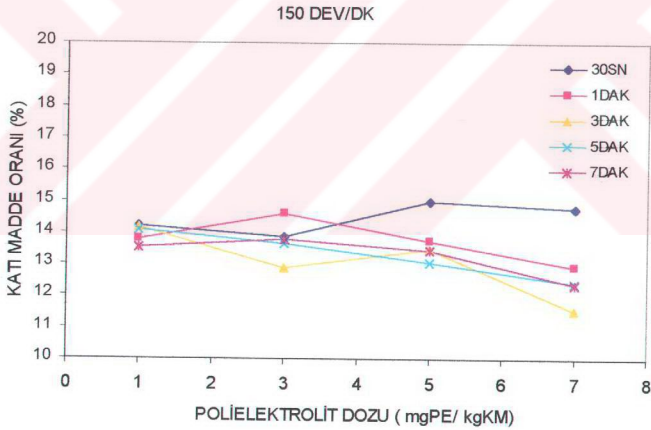
Şekil Ek.1 50 Dev/dk Karışım Hızında Katı Madde Oranındaki Değişim



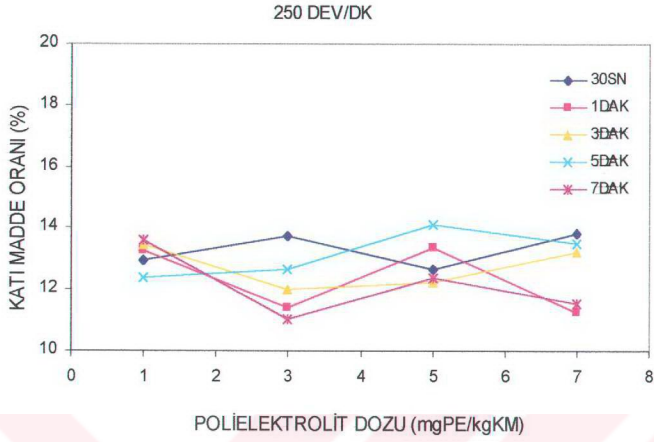
Şekil Ek.2 75 Dev/dk Karışım Hızında Katı Madde Oranındaki Değişim



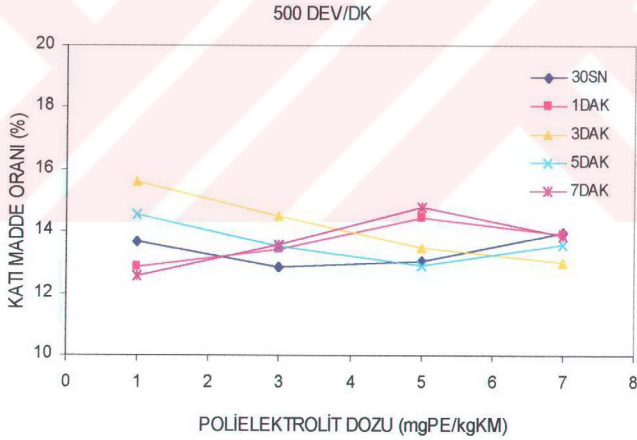
Şekil Ek.3 100 Dev/dk Karışım Hızında Katı Madde Oranındaki Değişim



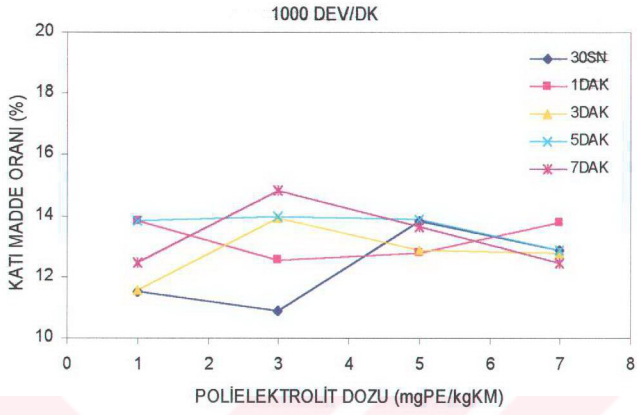
Şekil Ek.4 150 Dev/dk Karışım Hızında Katı Madde Oranındaki Değişim



Şekil Ek.5 250 Dev/dk Karışım Hızında Katı Madde Oranındaki Değişim



Şekil Ek.6 500 Dev/dk Karışım Hızında Katı Madde Oranındaki Değişim



Şekil Ek.7 1000 Dev/dk Karışım Hızında Katı Madde Oranındaki Değişim

ÖZGEÇMİŞ

Nilgün Biçeroğlu, 30 Ocak 1975 tarihinde İstanbul'un Bakırköy ilçesinde doğdu. İlköğretimini Ataköy İlkokulunda tamamladı. Ortaokul ve lise eğitimini Ataköy Lisesinde tamamladı. 1992 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümüne girdi ve 1996 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı.