

**SANTRİFÜJLERDE ÇAMUR SUSUZLAŞTIRMA  
ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ İÇİN UYGUN  
PARAMETRELERİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Çevre Müh. Mehmet Ekrem Zafer HIZAL**  
**(F 0197 Y 445)**

101113

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Haziran 2000**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Haziran 2000**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Lütfi AKÇA**

**Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hasan Z. Sarıkaya (İ.T.Ü)**

**Doç.Dr. Turgut T. Onay (B.Ü.)**

*Lutfi Akca*

*H. Sarıkaya*

*Turgut Onay*

**HAZİRAN 2000**

## ÖNSÖZ

Doç. Dr. Lütfi Akça danışmanlığında yürütmüş olduğum bu çalışmada öncelikle sahip olduğu bilgileri ile bana yol gösteren ve maddi manevi desteğini hep hissettiren değerli hocama teşekkür etmek istiyorum.

Deneysel çalışmaları beraber yürüttüğümüz Çevre Müh. Nilgün Biçeroğlu'na bana göstermiş olduğu sabırdan ve özverili çalışmasından dolayı teşekkür ediyorum ve kendi tezinde başarılı olmasını diliyorum.

Ayrıca 3 yıl boyunca sabırla ve daima arkamda olan ve beni destekleyen aileme, tezi yazmamda bana yardımcı olan ve manevi destekleri ile her zaman bana moral veren sevgili arkadaşlarım Taşkın Deniz ve Dinçer Dilkan'a teşekkür ediyorum.

HAZİRAN 2000

MEHMET EKREM ZAFER HIZAL

## İÇİNDEKİLER

|                                             | <u>Sayfa No</u> |
|---------------------------------------------|-----------------|
| <b>ÖNSÖZ</b>                                | <b>ii</b>       |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                        | <b>V</b>        |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                        | <b>vi</b>       |
| <b>ÖZET</b>                                 | <b>viii</b>     |
| <b>SUMMARY</b>                              | <b>ix</b>       |
| <b>BÖLÜM 1 GİRİŞ</b>                        | <b>1</b>        |
| 1.1 Konu                                    | 1               |
| 1.2 Amaç ve Kapsam                          | 2               |
| <b>BÖLÜM 2 ÇAMUR ÖZELLİKLERİ</b>            | <b>4</b>        |
| 2.1 Giriş                                   | 4               |
| 2.2 Fiziksel Özellikler                     | 4               |
| 2.2.1 Konsantrasyon                         | 4               |
| 2.2.2 Partikül Boyutu                       | 6               |
| 2.2.3 Çamurlarda Su Dağılımı                | 7               |
| 2.2.4 Akış Özellikleri                      | 7               |
| 2.2.5 Reolojik Özellikler                   | 8               |
| 2.3 Kimyasal Özellikler                     | 9               |
| 2.3.1 Isıl Değer                            | 9               |
| 2.3.2 Gübre Değeri                          | 9               |
| 2.4 Biyolojik Özellikler                    | 10              |
| <b>BÖLÜM 3 ÇAMUR SUYUNU ALMA SİSTEMLERİ</b> | <b>11</b>       |
| 3.1 Giriş                                   | 11              |
| 3.2 Doğal Suyunu Alma Yöntemleri            | 11              |
| 3.2.1 Çamur Kurutma Yatakları               | 11              |
| 3.2.2 Çamur Kurutma Lagünleri               | 12              |
| 3.3 Mekanik Suyunu Alma Yöntemleri          | 13              |
| 3.3.1 Vakum Filtreler                       | 13              |
| 3.3.2 Filtre Pres                           | 14              |
| 3.3.3 Bant Filtre Pres                      | 14              |
| 3.3.4 Santrifüjler                          | 16              |
| 3.3.4.1 Giriş                               | 16              |
| 3.3.4.2 Santrifüjlerin Tarihsel Gelişimi    | 16              |
| 3.3.4.3 Santrifüjlerde Dizayn Yöntemleri    | 18              |
| 3.3.4.4 Santrifüjlerde Verim                | 23              |
| 3.3.4.5 Santrifüj Tipleri                   | 25              |
| 3.3.4.6 Verimi etkileyen değişkenler        | 29              |
| <b>BÖLÜM 4 ŞARTLANDIRMA</b>                 | <b>32</b>       |
| 4.1 Giriş                                   | 32              |
| 4.2 Şartlandırmayı Etkileyen Faktörler      | 32              |
| 4.2.1 Partikül Boyutu ve Dağılımı           | 33              |
| 4.2.2 Çamur Kaynağı                         | 34              |
| 4.2.3 Katı Madde Miktarı                    | 34              |
| 4.2.4 Karıştırma Şiddeti ve Süresi          | 35              |

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3 İnorganik Kimyasal Şartlandırma                                       | 37        |
| 4.3.1 İnorganik Kimyasal Şartlandırıcıların Özellikleri                   | 38        |
| 4.3.2 Kireç                                                               | 38        |
| 4.3.3 Demir Klorür                                                        | 39        |
| 4.4 Organik Polimerler                                                    | 39        |
| 4.4.1 Polimer Kimyası                                                     | 40        |
| 4.4.2 Polimer Reaksiyonları                                               | 40        |
| 4.5 Şartlandırmanın Etkinliğinin Belirlenmesi                             | 43        |
| 4.5.1 Kapiler Emme Süresi Deneyi (KES)                                    | 43        |
| 4.5.2 Özgül Direnç Deneyi                                                 | 47        |
| 4.5.3 Filtre Süresi                                                       | 48        |
| 4.5.4 Laboratuar Ölçekli Santrifüj Testi                                  | 49        |
| 4.5.5 Penetrometre Testi                                                  | 49        |
| 4.5.6 Flok Dayanıklılığı Testi                                            | 51        |
| 4.5.7 Strobe Test Metodu                                                  | 52        |
| <b>BÖLÜM 5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>                                        | <b>53</b> |
| 5.1 Deney Malzemeleri                                                     | 53        |
| 5.2 Deney Yöntemleri                                                      | 54        |
| 5.3 Deneysel Sonuçlar                                                     | 57        |
| 5.3.1 KES ve Filtre Süresi Arasındaki İlişki                              | 59        |
| 5.3.2 KES ile Santrifüj Duru Fazı Bulanıklığı Arasındaki İlişki           | 67        |
| 5.3.3 Filtre Süresi ile Santrifüj Duru Fazı Bulanıklığı Arasındaki İlişki | 71        |
| 5.3.4 KES ile Santrifüjleme Sonrası Katı Madde Oranı Arasındaki İlişki    | 75        |
| 5.3.5 FS ile Santrifüjleme Sonrası Katı Madde Oranı Arasındaki İlişki     | 78        |
| <b>BÖLÜM 6 SONUÇLAR</b>                                                   | <b>83</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                          | <b>86</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                           | <b>88</b> |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                             | <u>Sayfa No</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 2.1</b> : Evsel atıksu çamurlarının tipik konsantrasyonları                                        | 5               |
| <b>Tablo 3.1</b> : Santrifüjlerde kek konsantrasyonunu ve katı tutma verimini etkileyen faktörler           | 23              |
| <b>Tablo 3.2</b> : Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Gözlenen Basket Tipi Santrifüjlerin Performans Dataları | 26              |
| <b>Tablo 3.3</b> Solid-bowl Tipi Santrifüjlerde Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurları Performansı            | 28              |
| <b>Tablo 5.1</b> Ataköy Arıtma Tesisi tasarım debileri                                                      | 53              |
| <b>Tablo 5.2</b> Ataköy Arıtma Tesisi Boyutlandırma Kriterleri                                              | 53              |
| <b>Tablo 5.3</b> Ataköy Arıtma Tesisi Çürütme Tankı Tasarım Parametreleri                                   | 54              |
| <b>Tablo 5.4</b> Ham Çürümüş Çamur Özellikleri                                                              | 55              |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                            | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 2.1 : Partikül Dağılımının ifadesi                                                   | 6               |
| Şekil 3.1 : Santrifüjlerde Kek Tutma Verimi ile Katı Madde Konsantrasyonu                  | 31              |
| Şekil 4.1 : Alüm Çamurlarında Karıştırma Süresinin Etkisi                                  | 36              |
| Şekil 4.2 : Alüm Çamurunda CST Değerinin Gt' ye Göre Değişimi                              | 37              |
| Şekil 4.3 : Kapiler Emme Süresi Deney Düzeneklerinin Genel Yapısı                          | 44              |
| Şekil 4.4 : Polimer Dozuna Bağlı Olarak Vizkozite Değişimi                                 | 45              |
| Şekil 4.5 : Polimer Dozuna Bağlı Olarak KES Değişimi                                       | 46              |
| Şekil 4.6 : Özgül Direnç Deney Düzenekleri                                                 | 47              |
| Şekil 4.7 : Penetrometre Aleti                                                             | 50              |
| Şekil 4.8 : Farklı Çamurlar İçin Penetrasyon Değerleri                                     | 51              |
| Şekil 5.1 Uygun santrifüj süresini belirleme için yapılan ön çalışma sonuçları             | 57              |
| Şekil 5.2 : KES-Polimer Doz Grafiği                                                        | 58              |
| Şekil 5.3 : FS-Polimer Doz Grafiği                                                         | 58              |
| Şekil 5.4 : 50 rpm'de KES ile FS ilişkisi                                                  | 59              |
| Şekil 5.5 : 75 rpm'de KES ile FS ilişkisi                                                  | 59              |
| Şekil 5.6 : 100 rpm'de KES ile FS ilişkisi                                                 | 60              |
| Şekil 5.7 : 150 rpm'de rpm'de KES ile FS ilişkisi                                          | 60              |
| Şekil 5.8 : 250 rpm'de KES ile FS ilişkisi                                                 | 61              |
| Şekil 5.9 : 500 rpm'de KES ile FS ilişkisi                                                 | 61              |
| Şekil 5.10 : 1000 rpm'de KES ile FS ilişkisi                                               | 62              |
| Şekil 5.11 : Tüm Deney Sonuçlarının Gösterildiği KES-FS Grafiği                            | 62              |
| Şekil 5.12 : "KES <100 - FS<600" Aralığındaki Deney Sonuçları                              | 63              |
| Şekil 5.13 : 1 mgPE/gr katı madde dozajında Genel KES-FS İlişkisi                          | 63              |
| Şekil 5.14 : 1 mgPE/gr katı madde dozajında "KES<300-FS<2000" Aralığındaki Deney Sonuçları | 64              |
| Şekil 5.15 : 3 mgPE/gr katı madde dozajında Genel KES-FS İlişkisi                          | 64              |
| Şekil 5.16 : 3 mgPE/gr katı madde dozajında "KES<50-FS<175" Aralığındaki Deney Sonuçları   | 64              |
| Şekil 5.17 : 5 mgPE/gr katı madde dozajında Genel KES-FS İlişkisi                          | 65              |
| Şekil 5.18 : 5 mgPE/gr katı madde dozajında "KES<80-FS<100" Aralığındaki Deney Sonuçları   | 65              |
| Şekil 5.19 : 7 mgPE/gr katı madde dozajında Genel KES-FS İlişkisi                          | 65              |
| Şekil 5.20 : 7 mgPE/gr katı madde dozajında "KES<100-FS<100" Aralığındaki Deney Sonuçları  | 66              |
| Şekil 5.21 : 50 rpm'de KES ile Bulanıklık Arasındaki İlişki                                | 67              |
| Şekil 5.22 : 75 rpm'de KES ile Bulanıklık Arasındaki İlişki                                | 67              |
| Şekil 5.23 : 100 rpm'de KES ile Bulanıklık Arasındaki İlişki                               | 68              |
| Şekil 5.24 : 150 rpm'de KES ile Bulanıklık Arasındaki İlişki                               | 68              |
| Şekil 5.25 : 250 rpm'de KES ile Bulanıklık Arasındaki İlişki                               | 69              |
| Şekil 5.26 : 500 rpm'de KES ile Bulanıklık Arasındaki İlişki                               | 69              |
| Şekil 5.27 : 1000 rpm'de KES ile Bulanıklık Arasındaki İlişki                              | 69              |
| Şekil 5.28 : Tüm sonuçlarla KES-Bulanıklık İlişkisi                                        | 70              |
| Şekil 5.29 : "KES<125-Bulanıklık<200" Değer Aralığında KES ile Bulanıklık İlişkisi         | 70              |

|                                                                                | <b>Sayfa No</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Şekil 5.30</b> : 50 rpm’de FS ile Bulanıklık İlişkisi                       | 71              |
| <b>Şekil 5.31</b> : 75 rpm’de FS ile Bulanıklık İlişkisi                       | 71              |
| <b>Şekil 5.32</b> : 100 rpm’de FS ile Bulanıklık İlişkisi                      | 72              |
| <b>Şekil 5.33</b> : 150 rpm’de FS ile Bulanıklık İlişkisi                      | 72              |
| <b>Şekil 5.34</b> : 250 rpm’de FS ile Bulanıklık İlişkisi                      | 73              |
| <b>Şekil 5.35</b> : 500 rpm’de FS ile Bulanıklık İlişkisi                      | 73              |
| <b>Şekil 5.36</b> : 1000 rpm’de FS ile Bulanıklık İlişkisi                     | 73              |
| <b>Şekil 5.37</b> : Filtre Süresi-Bulanıklık İlişkisi                          | 74              |
| <b>Şekil 5.38</b> : “FS<500-Bulanıklık<150” Aralığında FS-Bulanıklık İlişkisi  | 74              |
| <b>Şekil 5.39</b> : 50 rpm’de KES ile Katı Madde İlişkisi                      | 75              |
| <b>Şekil 5.40</b> : 75 rpm’de KES ile Katı Madde İlişkisi                      | 75              |
| <b>Şekil 5.41</b> : 100 rpm’de KES ile Katı Madde İlişkisi                     | 76              |
| <b>Şekil 5.42</b> : 250 rpm’de KES ile Katı Madde İlişkisi                     | 76              |
| <b>Şekil 5.43</b> : 500 rpm’de KES ile Katı Madde İlişkisi                     | 76              |
| <b>Şekil 5.44</b> : 1000 rpm’de KES ile Katı Madde İlişkisi                    | 77              |
| <b>Şekil 5.45</b> : KES ile Katı Madde İlişkisi                                | 78              |
| <b>Şekil 5.46</b> : 50 rpm’de FS ile Katı Madde İlişkisi                       | 78              |
| <b>Şekil 5.47</b> : 75 rpm’de FS ile Katı Madde İlişkisi                       | 79              |
| <b>Şekil 5.48</b> : 100 rpm’de FS ile Katı Madde İlişkisi                      | 79              |
| <b>Şekil 5.49</b> : 150 rpm’de FS ile Katı Madde İlişkisi                      | 79              |
| <b>Şekil 5.50</b> : 250 rpm’de FS ile Katı Madde İlişkisi                      | 80              |
| <b>Şekil 5.51</b> : 500 rpm’de FS ile Katı Madde İlişkisi                      | 80              |
| <b>Şekil 5.52</b> : 1000 rpm’de FS ile Katı Madde İlişkisi                     | 80              |
| <b>Şekil 5.53</b> : FS ile Katı Madde Arasındaki İlişki                        | 81              |
| <b>Şekil 5.54</b> : “Fs<400-Katı Madde %<25” Aralığında FS-Katı Madde İlişkisi | 81              |

## ÖZET

Atıksu arıtma çamurlarının uzaklaştırılması her zaman için önemli olmuştur. Çünkü arıtma sonunda oluşan bu çamurun bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu uzaklaştırma işleminin sağlıklı ve ekonomik şartlarda gerçekleşebilmesi için çamurun mümkün olduğunca kuru olması gerekmektedir.

Susuzlaştırma işleminin mekanik sistemlerle yapılması halinde, genellikle çamurun kimyasal maddelerle şartlandırılması gerekmektedir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki kimyasal maddelerle şartlandırılan çamurlar sularını daha kolay vermektedir. Kimyasal şartlandırmada en önemli hususlardan bir tanesi kullanılacak kimyasalın optimum dozunun belirlenmesidir.

Şartlandırma etkinliğinin belirlenebilmesi için çamurun susuzlaşabilirliğinin test edilmesi gereklidir. Bu konuda geliştirilmiş bir çok test metodu vardır. Bunlardan iki tanesi Kapiler Emme Süresi (KES) testi ve Filtre Süresi (FS) testleridir. Bunlardan KES büyük bir çoğunluk tarafından kabul görmüş ve uzun süredir kullanılan bir tayin yöntemidir. Filtre Süresi ise Özgül Direnç test metoduna alternatif olarak son bir kaç basımda Standart Metodlar'a alınmış ve yeni yeni kullanılmaya başlanılan bir test metodudur.

Bu çalışmada, santrifüjlerde susuzlaştırma etkinliğinin tahmin edilmesi için uygun test yöntemleri araştırılmıştır. Bu amaçla, öncelikli olarak KES ve FS arasında olası bir ilişkii aranmıştır. Elde edilen sonuçlara göre iki metod arasında filtrat viskozitesinin düşük olduğu durumlarda iyi bir korelasyon olduğu ve bu korelasyonun viskozite artışıyla giderek bozulduğu tespit edilmiştir.

Deneyin ilerleyen safhalarında şartlandırılan çamur santrifüjlenmiştir. Santrifüjlenen çamurun duru fazında bulanıklık, kekinde ise katı madde oranı ölçülmüş ve iki deney yönteminin (KES ve FS) sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bulanıklık ölçümlerinden elde edilen sonuç FS deneyinin KES deneyine nazaran daha iyi sonuçlar verdiğiidir. Bunun nedeni olarak FS deneyinde santrifüjlere oranla çok farklı proseslerin gerçekleşiyor olması gösterilmiştir. Elde edilen katı madde değerlerinden ise sağlıklı bir yorum yapmak mümkün olmamıştır.

## **STUDY ON APPROPRIATE PARAMETERS FOR DETERMINING CENTRIFUGE PERFORMANCE IN SLUDGE DEWATERING**

### **SUMMARY**

Because of economic and maintenance considerations, the water content of sludge has to be low as can as possible.

Usually, the chemical conditioning is necessary if mechanical systems are chosen as a dewatering proses. Investigations have shown that the chemical conditioned sludges dewater more easily. One of the most important parts of chemical conditioning is to determine the optimum dosage of the chemical.

In order to estimate the dewatering performance, the dewaterability of sludges should be tested. There are a lot of laboratory test methods about this subject. Two of them are Capillary Suction Time (CST) and Time-to-Filter (TTF) tests. CST test is a commonly used test. Time-to-filter test method is a rather new one and has developed as an alternative to Specific Resistance to Filtration test method.

The aim of this study is to determine the test methods which can be used in order to estimate the centrifugal performance. Firstly, a corelation between CST and TTF was searched. The results have shown that, for low degrees of polymer dosage, there is a good corelation between two test methods. But also the detoriation of this corelation has been observed as the polymer dosage increases.

In the second step, the conditioned sludge has been dewatered by using a laboratory centrifuge, and the turbidity of centrate and solid concentration of the sludge cake has determined and the resulst has been corelated with the results of CST and TTF.

As a result of the corelation between the turbidty and CST and TTF, it can be said that TTF has a better corelation than CST.

On the other hand, because of the variations in solid concentration results, a strong corelation between this parameter and two test methods couldn't be observed.

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1 Konu

Çevre mühendislerinin bir atıksuyun arıtımı işleminde karşılaştıkları en önemli sorunlardan birisi arıtma tesislerinin değişik kademelerinden kaynaklanan farklı yapılardaki çamurların nihai uzaklaştırılmasıdır.

Bir çevre mühendisinin amacı nihai uzaklaştırmadan önce çamurun su muhtevasını mümkün olduğunca düşürmektir. Bunu yapmaktaki nedenleri aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

- Nihai uzaklaştırma öncesinde çamur hacmini azaltarak, taşıma ve uzaklaştırma maliyetlerini en aza indirmek.
- Çamur kullanımını daha avantajlı hale getirmek. Kurumuş bir çamurun arazide kullanımı, düzenli depolanması veya tarım alanlarında kullanımı sulu çamura göre daha kolay olmaktadır.
- Genellikle kurutma işlemi sonrasında uygulanan yakma işleminde çamurdaki fazla nemi alarak kalorifik değeri yüksek bir çamur hazırlamak.
- Çamurun arazi doldurmak amacıyla kullanımı düşünülüyor ise, sızıntı suyu tehlikesini azaltmaktır.

Çamur suyunu alma yöntemlerini doğal ve mekanik yöntemler olarak iki ana başlıkta toplamak mümkündür. En yaygın kullanılan doğal sistemler olarak kum kurutma yatakları ve lagünler sayılabilir. Mekanik sistemler olarak ise belt pres, vakum filtre, filtre pres ve santrifüjler sayılabilir.

Yapılan çalışmalar çamur susuzlaştırmasında yukarıda sayılan mekanik sistemlerin tek başlarına kullanılmalarının hem zaman hem de maliyet açısından pek ekonomik olmadıklarını ortaya çıkarmıştır. Bu sorunu gidermek için genellikle uygulanan işlem çamurun susuzlaştırma ekipmanına verilmeden önce suyunu vermesini kolaylaştıracak bir kimyasalla şartlandırılması işlemidir.

Çamur şartlandırma işleminde en yaygın kullanılan maddeler kireç, demir klorür ve organik şartlandırıcılardır (polimerler). Çamur şartlandırmada bu kimyasal maddelerden hangisinin, hangi dozaj ve karıştırma şartlarında kullanılacağını belirlenmesi gerekir.

Şartlandırma işleminde kimyasalın türü, kullanılacak dozajı ve uygulama şartlarının belirlenmesi için laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneysel yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları Kapiler Emme Süresi (KES) ve Özgül Direnç deneyleridir. Ayrıca filtre yaprağı testi ve son zamanlarda standart metodlara dahil edilen Filtrasyon Süresi (FS) deneyi de kullanılmaktadır.

## 1.2 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan KES deneyi ile yeni yeni kullanılmaya başlanan FS parametrelerinin, santrifüjle susuzlaştırma etkinliğini belirlemede kullanılabilirliği ve bu iki parametre arasındaki ilişki Ataköy biyolojik arıtma tesisi çürütme tankından alınan çamur numuneleri üzerinde orta kuvvetli katyonik polielektrolit kullanılarak yapılan şartlandırma deneyleri ile belirlenmeye çalışılmıştır.

Çamur şartlandırma işleminde, kullanılacak kimyasal şartlandırıcının cinsi, dozajı, karıştırma şiddeti ve süresi, işlemin verimi üzerinde önemli etkileri bulunan parametrelerdir. Dolayısıyla en uygun çalışma şartlarının belirlenmesi için tüm bu parametrelerin birbirleriyle olan ilişkileri laboratuvar şartlarında incelenmelidir.

Laboratuvar şartlarında gerekli olan bu deneysel çalışmaların yapılması sırasında karşılaşılan en önemli sorunlardan bir tanesi, şartlandırılan çamur üzerinde yapılan deneylerin mümkün olduğunca kısa sürede bitirilmesi gerekliliğidir. Çünkü

şartlandırıldıktan sonra numunenin bekletilmesi yanlış sonuç alma olasılığını arttıracaktır.

Yapılan bu çalışmada yapılması kolay olan ve genelde kabul gören bir test metodu olan Kapiler Emme Süresi deneyi ile Filtrasyon Süresi Deneyi sonuçları arasında kabul edilebilir bir ilişkinin olup olmadığı araştırmıştır.

Çalışmanın ilerleyen safhalarında ise şartlandırılan çamur numuneleri, günümüzde giderek kullanımı yaygınlaşan mekanik su alma yöntemlerinden santrifüjleme yöntemi ile susuzlaştırma yoluna gidilmiştir.

Santrifüjleme ile susuzlaştırma işlemi sonucu elde edilen veriler Kapiler Emme Süresi ve Filtrasyon Süresi deneyi verileri ile karşılaştırılarak aralarındaki bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Bunu yapmaktaki amaç, susuzlaştırma ekipmanı olarak santrifüjlerin seçildiği bir ortamda, santrifüjleme için optimum şartlandırma şartlarını belirlemede Kapiler Emme Süresi ve Filtrasyon Süresi deneylerinin kullanılmasının ne kadar sağlıklı olabileceğinin belirlenmesidir.

## BÖLÜM 2

### ÇAMUR ÖZELLİKLERİ

#### 2.1 Giriş

Arıtma tesisleri çamurları genelde oluştukları kaynaklara göre ayrılırlar; örneğin birincil çamur ya da aktif çamur gibi. Bu yaklaşım doğrudur çünkü çoğu aynı orijinli çamur birbirine benzer özellikler gösterir. Bununla beraber aynı orijinli çamurların farklılık gösterebileceği de kabul edilmektedir. Bu yüzden çamurun özelliklerini daha çok nitelik olarak ifade eden parametreler geliştirilmiştir. Aşağıda bunlardan en yaygın olarak kullanılanları fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine göre verilmiştir.

#### 2.2 Fiziksel Özellikler

##### 2.2.1 Konsantrasyon

Çamur ifadesi, katı fazın belli bir oranda sıvı fazla karışımını belirtmektedir. İlk olarak kullanılan çamur özelliklerinden birisi katı ile sıvı arasındaki bu orandır. Çevre mühendisliği uygulamalarında konsantrasyon genellikle şu şekilde ifade edilmektedir;

$$C_1 = \frac{\text{mg kuru madde}}{\text{lt, çamur hacmi}} = \text{mg/lt} \quad (2.1)$$

Katı konsantrasyonunun çok yüksek olduğu durumlarda ise aşağıdaki ifade kullanılmaktadır;

$$C_2 = \frac{\text{gr kuru madde}}{\text{gr çamur}} \quad (2.2)$$

Bu ifadenin 100 ile çarpılmış hali “% konsantrasyon” olarak kullanılmaktadır.

İlk ifade bize kütle / hacim oranını verirken, ikinci ifade kütle / kütle oranını vermektedir. Eğer katıların yoğunluğu suya eşit yani 1,00 olduğu kabul edilirse, yukarıdaki iki ifade şu şekilde yazılabilir;

$$C_1 \text{ (mg/lt)} = 10\,000 * \% \text{ konsantrasyon } (C_2) \quad (2.3)$$

Tablo 2.1’de evsel atıksuların arıtılması sonucu oluşan çeşitli çamurlarının konsantrasyonları verilmiştir.

**Tablo 2.1 : Evsel atıksu çamurlarının tipik konsantrasyonları (Metcalf, Eddy 1991)**

| Çamur Tipi                        | Konsantrasyon, % |
|-----------------------------------|------------------|
| Primer çamur                      |                  |
| • Taze                            | 4-10             |
| • Yoğunlaşmış                     | 5-10             |
| • Çürütülmüş(anaerobik, aerobik)  | 5-10, 2.5-7      |
| Damlatmalı Filtre çamuru          |                  |
| • Taze                            | 1-3              |
| Primer + Damlatmalı Filtre çamuru |                  |
| • Taze                            | 4-10             |
| • Yoğunlaşmış                     | 4-9              |
| • Çürütülmüş (anaerobik)          | 3-8              |
| Aktif çamur                       |                  |
| • Taze (ön çöktürmeli)            | 0.-1.5           |
| • Çürütülmüş (aerobik)            | 0.8-2.5          |
| Primer + Aktif çamur              |                  |
| • Taze                            | 3-8              |
| • Yoğunlaşmış                     | 2-8              |
| • Çürütülmüş (anaerobik)          | 2.5-7            |

### 2.2.2 Partikül Boyutu

Yapılan çalışmalar partikül büyüklüğü çamurun suyunu bırakabilme özelliğini doğrudan etkilediğini göstermiştir. Karr ve arkadaşları (1976) yaptıkları çalışmada 1-100  $\mu\text{m}$  aralığındaki partiküllerin suszlaşabilirlik üzerinde direkt bir olumsuz etkilerinin olduğunu tespit etmişler ve bu aralıktaki partikülleri yoğun olarak ihtiva eden çamurların partikül boyutlarının değiştirilmesi için bir işlemin yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Kavanaugh ve arkadaşları (1980) ise partikül boyutlarının dağılımını bir üstel fonksiyonla ifade etme yoluna gitmişlerdir.

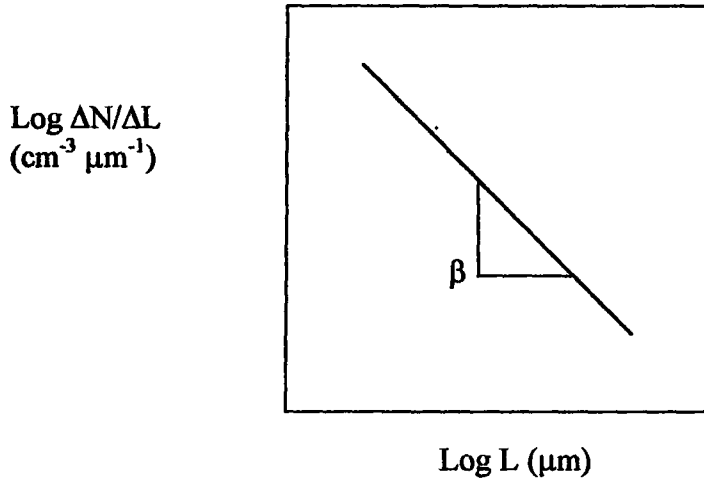
$$dN / dL = AL^{-\beta} \quad (2.4)$$

N = partikül sayısı yoğunluğu

L = partikül boyutu

A ,  $\beta$  = boyut dağılım parametreleri

Bu fonksiyon kullanılarak partikül boyutunun log ifadesine karşılık gelen  $\log \Delta N/\Delta L$  değerleri işaretlenir ve dağılımı en iyi ifade edecek şekilde bir doğru çizilir. (Şekil 2.1) Doğrunun eğimi olarak ifade edebileceğimiz  $\beta$  değeri 1'e eşitse çamurun tek bir dane boyutuna sahip olduğu yani uniform olduğu söylenir.  $\beta$  değeri arttıkça uniformluk bozulur yani birden fazla farklı dane boyutuna sahip bir çamur demektir.



Şekil 2.1 : Partikül Dağılımının ifadesi

### 2.2.3 Çamurlarda Su Dağılımı

Çamur karakterizasyonunda kullanılan bir diğer parametre ise çamur bünyesindeki suyun partiküllere bağlanış biçimidir. Vesilind (1978) yapmış olduğu bir çalışmada çamurun suyunu 4 başlıkta toplamıştır;

- a) Serbest Su : Çamur çöktürüldüğü zaman, katı maddelerden ayrılan, partiküllere bağlı olmayan sudur. Yoğunlaştırıcılar ile çamurdan ayrılabilirler.
- b) Flok Suyu : Flokların içinde tutulmuş olan ve onlarla birlikte hareket eden sudur. Flok yapısı bozulduğunda partiküllerden ayrılırlar. Mekanik susuzlaştırma ile çamurdan ayrılabilirler.
- c) Kapiler Su :Partiküllere kapiler kuvvetlerle bağlanmış sudur. Aşırı basınç uygulanmadıkça mekanik olarak çamurdan ayrılmazlar
- d) Partikül Suyu : Partiküllere kimyasal bağla bağlanmış sudur. Sadece kimyasal veya termal yollarla uzaklaştırılabilirler.

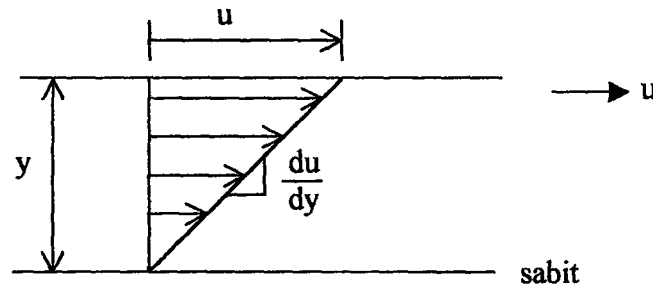
### 2.2.4 Akış Özellikleri

Çamur, akışkanlık özelliklerine göre 4 grupta incelenmektedir;

- a) Sıvı Kendi ağırlığı ile akabilen bir akışkan durumundadır.
- b) Plastik Serbestçe akamayacak kadar konsantredir, fakat yeterli basınç uygulandığında deforme olabilir. Bu tip çamurlar pompalanabilir.
- c) Büzüşebilir Katı Pompalanamayacak kadar konsantredir ve kurudukça hacmi azalır.
- d) Büzüşmez Katı Çamur artık su ile doygun değildir, bünyesinde boşluklar oluşmuştur. Kurur fakat hacmi değişmez.

### 2.2.5 Reolojik Özellikler

Reolojik özelliğin en iyi ölçüsü viskozitedir. Viskozite, çamura (veya sıvıya) verilen kayma gerilmesine karşı gösterdiği deplasman hızı olarak tanımlanır.



Şekildeki hız dağılımı, bir çok sıvı için lineerdir ve  $u$  hızı ile hareket eden bir üst tabaka tarafından akışkan ara yüzeylerine uygulanan  $\tau$  kayma gerilmesinin sonucudur.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.5)$$

$\mu$  = orantı sabiti veya viskozite

Newtonian sıvılarda; yerdeğiştirme kayma gerilmesi, ile doğru orantılıdır. Fakat bazı akışkanlar böyle davranmaz. Plastik akışkanların yerdeğiştirmeye başlamasından önce belirli miktarda bir kayma gerilmesi uygulamak gerekir. Buna “yield stress” (ilk kayma gerilmesi) denir. Bu tip akışkanlara “Bingham Plastik” denir. Dick ve Ewing de yaptıkları çalışmada çamurun bir Newtonian akışkan olmadığını öne sürerek aşağıdaki ifadeyi geliştirmişlerdir.

$$\tau = \tau_0 + \mu \gamma \quad (2.6)$$

$\tau$  : kayma gerilmesi

$\tau_0$  : ilk kayma gerilmesi

$\mu$  : viskozite

$\gamma$  : kayma hızı gradyanı

Daha sonraları, Campbell ve Crescuolo (1967) çamur reolojisini daha gerçekçi ifade edebilen aşağıdaki ifadeyi geliştirmişlerdir;

$$\text{Log } \gamma = a + n \log \mu \quad (2.7)$$

$\gamma$  : kayma hızı gradyanı

$\mu$  : viskozite

a ve n : konsantrasyona ve uçucu katı madde oranına bağlı sabitler

Reolojik özellikler sıcaklık, konsantrasyon gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedirler. Ayrıca, bir çamurun reolojik özellikleri, zamana bağlı olarak ta değişmektedir. Çamur viskozitesini ölçmek bugün bile zordur. Ölçme esnasında çökeltme meydana geldiğinden viskozite hatalı ölçülebilmektedir.

## 2.3 Kimyasal Özellikler

### 2.3.1 Isıl Değer

Tam kuru ve organik çamurun ısı değeri, 22 000 BTU/kg civarındadır. Bu, kömür ile (30 000 BTU/kg) karşılaştırıldığı zaman oldukça iyi bir değerdir. Ancak çamur tam kuru ve organik madde oranı %100 olmaz

Normal halde çamur belli bir su oranına ve inorganik katı maddeye sahip olduğu için, ısı değeri 2000 BTU/kg'a kadar düşer. Çamuru yakmak için genellikle dışarıdan ısı vermek gerekir.

### 2.3.2 Gübre Değeri

Çamur içindeki azot, fosfor ve potasyum oranı, gübre değerini belirler. Gübrelerde genellikle 8-8-8 formülü geçerlidir. N = %8, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = %8, K<sub>2</sub>O = %8. Aktif çamurda bu oranlar sırasıyla (% TS cinsinden) 2.4-5.0; 2.8-11.0; 0.5-0.7'dir.

Çamurun gübre olarak kullanılmasını belirleyen bir diğer husus, içindeki zararlı maddelerin (ağır metal) miktarıdır. Bunların en önemlileri Cd, Cu, Ni, ve Zn'dir.

## 2.4 Biyolojik Özellikler

Atıksu çamurlarında bulunan patojen mikroorganizmalar tesisin işletilmesi, çamurların uzaklaştırılması sırasında ve uzaklaştırıldığı ortamda çevre ve insana bulaşarak hastalık yayabilir. Çamur arıtmanın gayelerinden biri de zaten bu riski azaltmaktır. Anaerobik çürütme bakteri sayısını azaltır fakat tümüyle ortadan kaldırmaz. Kireçle muamele de bakterileri öldürücü rol oynar. Isıyla muamele, yakma ve kurutma suretiyle tamamen ortadan kaldırılabilirler.



## **BÖLÜM 3**

### **ÇAMUR SUYUNU ALMA SİSTEMLERİ**

#### **3.1 Giriş**

Genel olarak suyunu alma, çamur içerisindeki suyun alınarak %15'ten fazla katı konsantrasyonu olan kek oluşturma işlemi olarak tanımlanabilir.

19. yüzyıl sonlarında çamur, alttan drenajlı basit lagünlerde kurutulmaya başlanmış, 1920'lere kadar ön çöktürme ve humusun başarılı olarak kurutulabildiği çamur kurutma yatakları ve filtre presler kullanılmış, ancak 1920'li yıllarda filtrelenebilme karakteristikleri diğer çamur türlerine göre daha kötü olan aktif çamurun ortaya çıkmasıyla birlikte yeni sistemler geliştirme gereksinimi ortaya çıkmıştır. Buna bağlı olarak, 1930 sonlarında vakum filtre kullanılmaya başlanmış ve 30 yıl sonra da, bant filtre presi ile kısıtlı kullanımı olan santrifüj ortaya çıkmıştır.

Çoğunlukla, yüksek hızlı ve uzun havalandırmalı aktif çamur proseslerinden kaynaklanan çamurların işlenmesi, konvansiyonel proses çamuruna nazaran daha güç olmaktadır.

Bugün çamur atılım prosesleri içerisinde önemli yeri olan çamur suyunu alma sistemlerini, Doğal suyunu alma yöntemleri ve Mekanik suyunu alma yöntemleri olarak iki genel başlık altında toplamak olasıdır:

#### **3.2 Doğal Suyunu Alma Yöntemleri**

##### **3.2.1 Çamur Kurutma Yatakları**

Çamur kurutma yatakları, 60 yıldan bu yana en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Uygun tasarlanıp işletildikleri takdirde, giriş çamur katı konsantrasyonundan fazla etkilenmeden, bazı mekanik suyunu alma sistemlerinden

bile fazla kurulukta kek elde etmeye elverişlidirler. Kullanım alanı olarak sıcak iklimi olan yerleşimler ve ufak tesisler öncelikli olarak düşünülse bile, soğuk bölgeler ve büyük tesislerde de başarılı olarak uygulanabilecekleri gösterilmiştir.

Çamur kurutma yataklarının avantajları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir:

**Avantajları:**

- Gerekli arazi bulunduğu en düşük yatırım maliyeti,
- Az miktarda operatör dikkat ve becerisi,
- Düşük enerji tüketimi,
- Değişik çamur türlerinden en az şekilde etkilenim,
- Düşük kimyasal madde gereksinimi,
- Yüksek kek katı madde oranı.

**Dezavantajları:**

- Rasyonel tasarım yaklaşımı eksikliği,
- Geniş arazi ihtiyacı,
- Çamurun stabilize edildikten sonra kurutma yatağına verilmesi gerekliliği,
- İklimsel etkilerin tasarım üzerine tesiri,
- Estetik bozukluklar,
- Kek uzaklaştırımı için işçi ihtiyacı.

### **3.2.2 Çamur Kurutma Lagünleri**

Lagünler, stabilize olmuş, dolayısıyla koku sorunu az olan bir çamurun birkaç yıl bekletme süresi olan doğal bir lagüne pompalandığı ve dipte biriken çamurun zaman zaman uzaklaştırıldığı, dinlenmiş üst tabaka suyunun, ise periyodik olarak arıtma tesislerine gönderildiği bir sistemdir.

Ham çamurların derin lagünlerde suyunun alınması, önemli koku sorunları ortaya çıkarmaktadır. Ancak çürütülmüş çamurların sığ lagünlerde kurutulması, literatürden görüldüğü üzere, önemli koku problemi doğurmamaktadır.

Çamur kurutma lagünlerinin avantajları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir:

#### **Avantajları:**

- Düşük enerji tüketimi,
- Kimyasal tüketim gerektirmemesi,
- Değişik çamur tiplerine karşı üstün tolerans,
- Şok yüklemelere karşı çamur işleme proseslerinde tampon olarak kullanımı,
- Organik maddelerin ikinci bir stabilizasyon kademesine girmesi,
- Düşük ilk yatırım maliyeti,
- Minimum operatör dikkat ve becerisi.

#### **Dezavantajları:**

- Zaman zaman kontrolü zor, periyodik kokuların kaynağı,
- Yeraltı ve komşu yüzey sularının kirlenme riski,
- Sinek ve sivrisinek gibi haşarat sorunu,
- Estetik problemi,
- Geniş arazi gereksinimi,
- Rasyonel tasarımın yapılamayışı.

### **3.3 Mekanik Suyunu Alma Yöntemleri**

#### **3.3.1 Vakum Filtreler**

Vakum filtreler, ilk olarak 1872’de İngiltere’de geliştirilen ve zamanımıza kadar geniş kullanım alanı bulan en eski ve popüler çamur suyunu alma ekipmanlarından biridir. Bir vakum filtresinin genel anlamda bileşenleri, döner silindirik bir tambur, tamburun üstüne kaplanan filtre malzemesi, çamur tankı ve süzüntü ile vakum pompalarıdır.

Vakum filtrasyon sistemlerinin avantajları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir:

#### **Avantajları:**

- Kalifiye eleman gerektirmemesi,
- Devamlı işletme ekipmanları için az bakım ihtiyacı,
- Süzüntüde düşük katı madde konsantrasyonu.

Dezavantajları:

- Yüksek enerji maliyeti,
- Sürekli operatör denetimi,
- Yardımcı ekipman ihtiyacı (vakum, süzüntü pompaları vb.)

### 3.3.2 Filtre Pres

1800'lü yıllardan itibaren İngiltere'de kullanılmaya başlanan ve daha sonra tüm ülkelere dağılarak yaygın kullanım alanı bulan sistemlerdir.

En çok kullanılanları, sabit hacimli plakalı (fixed-volume recessed plate) ve mambran filtre preslerdir.

Genel olarak, filtre preslerin avantajları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir.

Avantajları:

- En kuru kek üretimi,
- Berrak süzüntü.

Dezavantajları:

- Kesikli operasyon,
- Yüksek işçilik ve işletme maliyeti,
- Filtre malzemesi ömrünün azlığı,
- Geniş arazi gereksinimi.

Tüm çamur suyunu alma sistemleri arasında, filtre presler en kuru keki üreten düzeneklerdir. Elde edilen keklerin katı madde oranları % 35-45 arasındadır. Kek kalınlığı, oda genişliklerine bağlı olarak, 25-40 mm arasındadır.

### 3.3.3 Bant Filtre Pres

Bu sistemler, 1960'lı yıllarda A.B.D.'de geliştirilmiştir. Avrupa'da son 10-15 yıl içerisinde kullanılmaya başlanan yeni bir çamur suyunu alma yöntemidir. Filtre preslerde olduğu gibi, basınç altında suyun alınması ilkesine dayalıdır. Filtre preslere göre bir avantajı da sürekli sistemler olmalarıdır.

Bant filtrelerinin avantajları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir:

#### **Avantajları:**

- Kuru katı konsantrasyonu yüksek kek elde edilmesi,
- Düşük enerji gereksinimi.

#### **Dezavantajları:**

- Besleme çamuru karakteristiklerine karşı fazla duyarlılık,
- Yükleme anında hidrolik bakımdan aletin sınırlılığı,
- Diğer sistemlere göre kullanılan filtre malzemesinin daha kısa ömürlü olmasıdır.

Genel olarak bant filtreler, iki sonsuz banttan meydana gelirler: Üst bant ve çamurun taşındığı alt bant. Bu bantlar bir makara sistemi üzerinde sürekli dönerek işlevlerini sürdürürler. Sıyırma bölgesinde ise, bant üzerinde oluşan kek kurulan düzenek ile sistemden alınır. Bant daha sonra basınçlı su ile yıkanarak tekrar çamur uygulama noktasına dönmektedir.

Bant filtre pres işlemine etki eden en önemli faktörler aşağıda verilmiştir:

Besleme çamuru özellikleri, örneğin fazla yağlı bir çamur bantta tıkanmalara yol açabilir.

Besleme çamuru katı konsantrasyonu, çamurun filtreye verilmesi için ön bir yoğunlaştırmadan geçmesi daha uygundur.

Çamur yaşı, daha az bekletilmiş taze çamurun kimyasal şartlandırılması, sonuçta suyunun alınması, beklemiş bir çamura oranla daha kolay olacaktır.

Çamur yükleme hızı, bant genişliği sabit olduğundan hiçbir zaman aşırı bir çamur yükleme yapılamaz, genel olarak bu değer 3-4 l/m.sn arasındadır.

Bant hızının yüksek olması halinde, genellikle daha nemli kek elde edilmesine rağmen, çamur yükleme hızı artmaktadır. Sonuç olarak düşük hızlarda daha kuru kek, düşük yükleme hızlarında elde edilecektir. Çamur üretim miktarı ve çamurun son kullanım amacına uygun olarak, bu hız ayarlanmalıdır.

### **3.3.4 Santrifüjler**

#### **3.3.4.1 Giriş**

Teknolojinin gelişimi ile arıtma çamurlarının susuzlaştırılması işlemlerinde bir çok yenilikler getirilmiştir. Bu yeniliklerin bir tanesi de santrifüjlerdir. Ne var ki santrifüjlerin kullanımlarının başlangıcında avantajlarından çok dezavantajlarından söz edilmekteydi. Bu dezavantajların başında yüksek enerji ihtiyacı ve malzemelerin aşınmaları gelmekteydi. Günümüzde yapılan çalışmalarla yüksek enerji ihtiyacından doğan yüksek maliyetin ilk yatırım maliyetlerinin düşürülmesi ile dengelenebileceği savı ağırlık kazanmıştır (Metcalf and Eddy, 1991). Ayrıca katı maddelerden kaynaklanan aşınma probleminin makina ve metal endüstrisindeki gelişmelerle artık eskisi kadar etkili olmadığı da bilinmektedir.

Santrifüjlerin olumsuz yönleri bir bir ortadan kalkarken, yerlerini olumlu yönleri almaya başlamıştır. Haller (1995) santrifüjlerden elde edilen çamur kekinin diğer yöntemlerle elde edilen keklere nazaran daha kararlı olduğunu ve koku problemi açısından da en az sorunlu olduğunu belirtmiştir. Santrifüjlerin ortaya çıkan avantajlarından bir tanesi de diğer sistemlere nazaran daha az yer kaplamasıdır.

#### **3.3.4.2 Santrifüjlerin Tarihsel Gelişimi**

Her yeni icatta olduğu gibi santrifüjler de ilk kullanılmaya başlanıldıklarında bir çok problemi bereaberlerinde getirmişlerdi. Ancak zaman içerisinde bu problemleri gidermek için yapılan çalışmalar sonucu getirilen değişikliklerle santrifüjler günümüzdeki hallerini almışlardır.

İlk santrifüj çalışmaları 1902 yılında Herman Schaefer tarafından Cologne, Batı Almanya'da bir delikli basket tipi (perforated basket type) santrifüjle gerçekleştirilmiştir. Aletten elde edilen verim iyi olmasına rağmen aletin elektrik ihtiyacı sonucu doğan maliyet probleminden ötürü çalışmalar sürdürülememiştir.

Daha sonra 1907'de Schafer ve Gustav Ter Mer bir araya gelmişler ve ilk kullanılan santrifüjü daha da geliştirmişlerdir. Elde edilen bu son geliştirilmiş delikli basket tipi santrifüj (Improved perforated basket unit) bir çok Alman şehrinde ve Moskova'da işleme alınmıştır.

Teknolojideki gelişimin devamı ile santrifüj teknolojisi de kendini yenilemiş ve problemlerini tek tek çözer hale gelmiştir. Bu gelişim 1920'lerde Avrupa ve Amerika'nın dikkatini çeker. 1920 yılında Amerika Milwaukee'de modifiye edilmiş Schafer-Ter Mer deliksiz basket tipi santrifüj (imperforate basket machine) kurulmuştur. Bu santrifüj günümüzde kullanılan basket tipi santrifüjlerin ilk geliştirilen modeli olmakla bereaber o tarihlerdeki ekonomik çalışma şartlarında aktif çamur susuzlaştırması sonucunda temiz bir çıkış suyu kalitesine ulaşmanın imkansız olduğu anlaşılmıştır.

1921 yılında Baltimor, Maryland'te Schafer-Ter Mer tipi santrifüjler bir tesiste kullanılmaya başlanmış ve 1921-1925 yılları arasında bu tesiste çürütülmüş çamurlar ile deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuç çürütülmüş birincil çamurun santrifüjlenmesi sonucu %65 katı tutma verimi ve %29'a varan kek konsantrasyonudur.

1934 yılında ise American Centrifugal Company tarafından Collingswood, New Jersey'de bir basket tipi santrifüj geliştirilmiştir. Çalışma sonuçlarında mükemmele yakın kek fakat zayıf çıkış suyu kalitesi elde edilmiştir.

Santrifüjlerin gelişiminde en önemli adımlar 1930'larda atılmıştır. Bu sürede Amerikan Dorr şirketi 3 farklı şehirde; (Rahway, New Jersey; New Haven, Connecticut ve Cedar Rapids, Iowa); bir solid bowl tipi santrifüjü ham ve çürümüş çamurların susuzlaştırılmasında test etmiştir. Bu tip santrifüj sürekli beslemenin ve devamlı katı çıkışının alındığı ilk santrifüjdür.

1937 yılında DeLaval şirketi bir disk tiri vanalı santrifüjü (disc-type valve centrifuge) çamur yoğunlaştırma amaçlı geliştirdi. %4,8'e varan çamur yoğunluğuna ulaşılmasına rağmen düşük kapasitesi nedeniyle fazla kullanılamadı. Sonraları, 1950'lerde DeLaval daha yüksek kapasiteli bir disk-nozzle santrifüj geliştirdi. Bununla %97 giderme verimine ve %5 kek konsantrasyonuna ulaşılmasına rağmen yüksek işletme ve bakım maliyetinden ötürü fazla kullanılamadı.

Santrifüjlerin gelişimi devam etti ve 1950'li yıllarda Bird Makine şirketi Dale City, Kalifornia'a San Mateo yerleşim bölgesi için bir solid-bowl santrifüjü devreye aldı. Bu bölgede santrifüjlerin seçilmesinin en büyük nedeni tesisin nüfusun yoğun olduğu

bir bölgeye kurulmuş olması ve bu yüzden de genişlemeye müsait olmaması olarak gösterilmiştir.

San Mateo olayının en önemli yanı buradan sonra diğer yerleşim bölgelerinde de solid-bowl santrifüjlerin kullanılmaya başlamasıdır. Yapılan deneysel çalışmalarda San Mateo ve diğer şehirlerde elde edilen verim %50-70 katı tutma verimi ve %20-35 kek konsantrasyonudur.

1964 yılında santrifüj teknolojisinde yeni bir dizayn denendi. Dorr-Oliver tarafından geliştirilen bu yeni santrifüjde silindirik-konik (cylindrical-conical) santrifüj kullanıldı. Farklı olarak alışılmış 1,5-1,8 bowl uzunluğu-çap oranı bu yeni santrifüjde 2,9'a çıkarıldı ve daha sıkı bir bowl açısı kullanıldı. Elde edilen sonuç çok iyi duru faz istenen durumlarda bu yeni tipin daha iyi sonuçlar verdiği.

Günümüzde hala santrifüj teknolojisi kendini yenilemeye devam etmektedir. İlk başlarda 3000-4000 saatlik çalışmadan sonra santrifüjün gözden geçirilmesi normal karşılanırken, günümüzde bu süre 6-7 yıla çıkmıştır (Waltrip,1996). Kısaca santrifüj teknolojisindeki gelişmeler onun daha çok avantajlarını ortaya çıkarmaya devam ettikçe kullanımı da yaygınlaşmaya devam edecektir.

#### **3.3.4.3 Santrifüjlerde Dizayn Yöntemleri**

Laboratuarda yapılan hiç bir çalışma tesisteki şartları sağlamayacaktır. Dolayısıyla tavsiye edilen mümkün olduğu takdirde prototipler kullanarak doğal tesis artamında ölçümler yapılmalıdır. Ancak bu her zaman mümkün olmamaktadır. Genelde karşılaşılan durum daha küçük boyutta, geometrice benzer makinaların test edilip, elde edilen verilerin daha büyük santrifüjlere aktarılması şeklindedir.

Bu konuda ilk adım (birbirine geometrice benzer 2 makina arasında ilişki kurma) Ambler (1952) tarafından atılmıştır. Çalışmaları “Sigma Kavramı” olarak bilinmekte ve 2 benzer makina arasında kurulan ilişkilerde (scale up-down) sıkça kullanılmaktadır.

## Sigma Kavramı

Çökelen bir partikül için Stokes' bağıntısını ele alırsak;

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

Burada;  $\rho_s$  : partikül yoğunluğu

$\rho$  : sıvı yoğunluğu

$d$  : partikül çapı

$\mu$  : viskozite

Santrifüj içindeki bir partikülün a) terminal hıza hemen ulaştığını; b) çökmesinin laminar akış rejimine uyacak kadar yavaş olduğunu kabul edelim. (Bir başka deyişle Stokes' kanununun gerçekleştiğini kabul edelim) Ancak santrifüj ortamında yerçekimi ivmesinin yerini santrifüj ivmesi,  $w^2r$  alacaktır. Burada  $r$  = yarıçap,  $w$  = radyal hız olmak üzere bir santrifüjde hız;

$$v = \frac{w^2r(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu} \quad (3.2)$$

Partikül tarafından  $d\theta$  süresinde alınan radyal mesafe  $dr$ ;

$$dr = vd\theta = \frac{w^2r(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu} d\theta \quad (3.3)$$

olacaktır.  $r_1$ 'den (merkezden havuz yüzeyine mesafe)  $r_2$ 'ye (merkezden tüpe mesafe) integrali alırsak

$$\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{w^2(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu} \int_0^\theta d\theta \quad (3.4)$$

$$(\ln r_2 - \ln r_1) = \frac{w^2(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu} \theta \quad (3.5)$$

$$\theta = \frac{18\mu}{w^2(\rho_s - \rho)d^2} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (3.6)$$

olacaktır. Uzaklaştırılacak partikül için bekleme süresi;

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{\text{hacim}}{\text{debi}} \quad (3.7)$$

$\theta$ 'yı yerine koyarsak;

$$\frac{V}{Q} = \left( \frac{g}{w^2} \ln \frac{r_2}{r_1} \right) \left( \frac{18\mu}{g(\rho_s - \rho)d^2} \right) \quad (3.8)$$

Buaradan debiyi çekersek;

$$Q = \left( \frac{Vw^2}{g \ln \frac{r_2}{r_1}} \right) \left( \frac{g(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu} \right) \quad (3.9)$$

Dikkat edersek yukarıdaki denklemin ilk kısmı makina değişkenlerinden oluşmaktadır, ikinci kısım ise çamur değişkenlerinden. İlk terime  $\Sigma$  dersek;

$$Q = \Sigma V \quad (3.10)$$

Elde ederiz. Aynı çamur için, 2 benzer makina eşit performans gösterirler; eğer

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\Sigma_1}{\Sigma_2} \quad (3.11)$$

Yukarıdaki analiz Ambler'in orjinal ifadelerinden biraz farklıdır fakat sonucu kabul edilebilir oranda aynıdır.

Sigma Kavramının uygulanmasındaki sorun genellikle işe yaramamasıdır. Sonuca ulaşırken bir kaç kabul yapılmıştır ve bu kabullerin analiz sonuçları üzerinde önemli etkileri vardır. Stokes' hızının hakim olduğu kabul edilmiştir. Gerçekte bu doğru değildir. Çamurların sıkışması tamamıyla ihmal edilmiştir. Katılar tarafından makina içinde tutulan alan yok sayılmıştır. Tüm partiküllerin aynı rotasyonel hıza sahip oldukları kabul edilmiştir ancak partiküller devamlı olrak hızlanmaya devam

etmektedirler. Son olarakta türbülansın ihmal edilebilir olduğu kabul edilmiştir ki bu hiç te doğru değildir.

Sigma kavramındaki bir başka büyük hata ise santrifüjde sadece duru fazın elde edilmesi esas proses olarak kabul edilmiştir. Katıların makina içindeki hareketleri hesaplamada dikkate alınmamıştır.

### Beta Kavramı

İki benzer solid-bowl tipi santrifüj dikkate alındığında katı madde girişi ile katıların kapladıkları hacim arasında bir oran ilişkisi olduğunu varsaymak mümkündür.

Konik kısmı saymazsak, havuz hacmini şu şekilde hesaplayabiliriz;

$$V = \pi DLz \quad (3.12)$$

$z$  = havuz derinliği

$D$  = tüpün çapı

$L$  = tüpün (silindirli kısmının) uzunluğu

Katıların kapladığı alan  $V_s$  ise;

$$V_s = \pi DLy \quad (3.13)$$

$y$  = katıların derinliği

Bu durumda havuz hacminin katı hacmine oranı;

$$\frac{V_s}{V} = \frac{\pi DLy}{\pi DLz} = \frac{y}{z} \quad (3.14)$$

Bir partikülün tüpün içinde kaldığı zaman;

$$T = \frac{L}{\Delta\omega SN} \quad (3.15)$$

Burada,  $\Delta\omega$  = tüp ile sıyrıcı hız farkı

$S$  = sıyrıcı aralığı

$N$  = sarma (diş) sayısı

Bir santrifüje giren katı debisini  $Q_s$  (kg TSS/saat) olarak tarif edersek, katıların hacimsel debisini  $Q_s/Y_c$  olarak tanımlayabiliriz. Burada  $Y_c$  tüpün silindirik kısmında sıkışan katıların özgül yoğunluğudur (kg TSS/m<sup>3</sup>).

Dolayısıyla işlem sırasında katıların kaplayacağı hacim,

$$V_s = \frac{Q_s}{Y_c} T = \frac{Q_s}{Y_c} \frac{L}{\Delta\omega SN} \quad (3.16)$$

Tüpün iç alanı  $A = \pi DL$ 'dir. Buradan da  $L = A/\pi D$ 'dir.  $L$ 'yi yerine koyarsak,

$$V_s = \left( \frac{Q_s}{Y_c} \right) \left( \frac{A}{\Delta\omega SN \pi D} \right) \quad (3.17)$$

Buradan oluşan kekin derinliği,  $y$ ;

$$y = \frac{V_s}{A} = \left( \frac{Q_s}{Y_c} \right) \left( \frac{1}{\Delta\omega SN \pi D} \right) \quad (3.18)$$

olarak bulunur.  $y$  değeri denklem 3.14'te yerine konursa

$$\frac{V_s}{V} = \frac{y}{z} = \left[ \frac{(Q_s/Y_c)}{\Delta\omega SN \pi Dz} \right] \quad (3.19)$$

Yukarıdaki ifade de payda makina değişkenlerinden, pay ise işletme değişkenlerinden oluşmaktadır. Bu şekilde ayrılan makina değişkenleri beta ( $\beta$ ) kavramı ile ifade edilirler.  $\beta$  kavramı kullanılarak iki solid-bowl tipi santrifüj arasında bağlantı aşağıdaki gibi kurulur;

$$\frac{(Q_s/Y_c)_1}{\beta_1} = \frac{(Q_s/Y_c)_2}{\beta_2} \quad (3.20)$$

Her iki alette de aynı çamur kullanılıyorsa;

$$\left( \frac{Q_s}{\beta} \right)_1 = \left( \frac{Q_s}{\beta} \right)_2 \quad (3.21)$$

Burada eğer  $Q_s$ 'in birimi kg/saat ise,  $\beta$  da  $m^3$ /saat birimini alır.

#### 3.3.4.4 Santrifüjlerde Verim

Santrifüjlerin verimleri iki parametreyle belirlenir; kek konsantrasyonu ve katı tutma verimi (duru faz çıkış kalitesi). Kek konsantrasyonunu ve katı tutma verimini etkileyen başlıca faktörler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 3.1 : Santrifüjlerde kek konsantrasyonunu ve katı tutma verimini etkileyen faktörler (EPA, 1982)**

|                                     | Besleme oranı | Besleme katı konsantrasyonu | sıcaklık | floklaşma |
|-------------------------------------|---------------|-----------------------------|----------|-----------|
| Katı giderimini arttırmak için      | -             | ±                           | +        | +         |
| Kek konsantrasyonunu arttırmak için | -             | -                           | +        | +         |

Tablodan da görülebileceği gibi santrifüjlerde verimi etkileyen faktörler aslında besleme çamurunun ve kimyasal şartlandırmanın özelliklerinden oluşmaktadır.

**BESLEME ÇAMURU :** Santrifüj edilebilirliği (centrifugability) etkileyen en önemli çamur karakteristikleri çökebilirlik (settleability), sıyrılabilirlik (scrollability) ve flok dayanıklılığıdır (floc strenght). Ne yazık ki tek başına çamurun santrifüj edilebilirliğini belirleyen bir parametre bulunmadığından santrifüjlerin etkinliğini belirlemek oldukça zor olmaktadır. (Mininni, Spinosa ve Santori, )

Vesilind'in (1978) geliştirdiği metodla, bir laboratuvar santrifüjü kullanılarak hem çökebilirlik hem de sıyrılabilirlik özellikleri tahmin edilebilmektedir. Vesilind metodunda çökebilirlik özelliklerini duru fazdaki askıda maddeleri ölçerek, sıyrılabilirlik özelliklerini ise penetrasyon testi ile belirlemektedir.

Flok dayanıklılığı tayini ise standart bir karıştırıcı ve KES aleti kullanarak çamur floklarının makina içerisinde karşılaşmaları muhtemel mekanik streslere karşı gösterdikleri direnci belirler. Bu direncin belirlenmesi bize optimum şartlandırıcının ve dozajının belirlenmesinde yol gösterir.

Bir çok farklı özellikteki çamur santrifüjler ile susuzlaştırılabilir. Katı-sıvı faz ayrımını etkileyen başlıca faktörler partikül çapı, yoğunluk, sıcaklık ve besleme çamurunun yaşıdır.

Normal şartlarda (yerçekimi ile) daha kolay çöken katılar daha kolay santrifüjlenir. Ayrıca birincil çamurlar ikincil çamurlara nazaran daha kolay yoğunlaşır ve susuzlaşır. Genel olarak söyleyebilirizki santrifüj için besleme çamurunun partikül dağılımı 2-5000 µm aralığında olmalıdır. Besleme çamuru katı konsantrasyonu ise %2-10 arasında değişebilir.

Sıcaklığın viskozite ve yoğunluk üstünde doğrudan bir etkisi vardır. Sıcaklık arttıkça hem sıvı viskozitesi hem de yoğunluğu düşer, böylece katılar daha rahat çökelirler. Dolayısıyla sıcaklığın artması hem katı giderimini hem de kek konsantrasyonunu arttıracaktır. Ancak sıcaklık faktörü yüksek maliyeti sebebiyle pek kontrol edilen bir parametre değildir.

Tesisin işletme şartları da santrifülerin verimini etkiler. Örneğin bir aktif çamur sisteminde yüksek çamur yaşı ile çalışılması susuzlaşmayı yavaşlatacaktır. Ayrıca çamurun santrifüje girmeden önce de ne kadar beklediği önemlidir. Taze çamur beklemiş çamura göre daha kolay suyunu verir.

**KİMYASAL ŞARTLANDIRMA :** Bir çok fiziksel metod denenmesine rağmen santrifüjler için en etkili yolun kimyasal şartlandırma olduğu bulunmuştur. Kullanılan kimyasallar inorganik veya organik olabilirler.

Genellikle kullanılan inorganik kimyasallar demir klorür, alüminyum sülfat ve demir sülfat gibi metal tuzlarıdır. Bu tuzlar pH'ya bağımlıdır ve verimlerini maksimuma çıkarmak için pH kontrolü şarttır.

Kullanılan organik kimyasallar suda çözünebilen yüksek molekül ağırlıklı organik polimerlerdir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki hem daha ekonomik olmaları hem de daha iyi işletim ve verim özellikleri ile organik polimerler inorganik kimyasallara göre daha kullanışlıdır. Polimer ilavesi ile moleküller arası kuvvet daha kuvvetli hale geldiğinden kek konsantrasyonunda ve duru faz kalitesinde bir artış gözlenir.

Optimum polimer dozunun belirlenmesi santrifüjlerin susuzlaştırma verimlerini de artırır. İlave edilecek kimyasalın dozajı kadar gerekli olan karışım şiddeti ve süresinin de optimize edilmesi gereklidir. Bu amaçla yapılacak laboratuvar deneyleri ile kimyasalın doğrudan santrifüjün içine mi verileceği yoksa santrifüjden daha önce mi çamurla temas ettirileceği (örneğin besleme borusunda) belirlenmelidir.

### **3.3.4.5 Santrifüj Tipleri**

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler, santrifüjleri arıtma çamurlarının susuzlaştırılmasında en yaygın olarak kullanılan susuzlaştırma ekipmanlarından biri haline getirmiştir. İki tip santrifüj çamur susuzlaştırmada kullanılmaktadır, basket ve solid-bowl tipi santrifüjler. Bunlardan solid-bowl tipi santrifüjler çeşitli avantajlarından dolayı arıtma tesislerinde en çok kullanım gören santrifüj tipidir.

#### **Basket Tipi Santrifüjler**

Bu tip santrifüjler hem evsel hem de endüstriyel çamurların arıtılmasında kullanılmaktadır. İlk olarak 1902 yılında Herman Schaefer tarafından Almanya'da birincil çamurların susuzlaştırılması amacıyla geliştirilmiştir.

Basket tipi santrifüjler özellikle düşük kapasiteli küçük tesislerde ve ön arıtma ve kum tutma işlemi yapmayan tesislerde (havalandırılmalı lagünlerde, uzun havalandırılmalı sistemlerde, ...vs) oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

Basket tipi santrifüjler üst tarafında bir savağın bulunduğu dikine dönen bir kutudan ibarettir. Katılar dış çepere doğru hareket ederken, duru faz üst taraftaki savaktan alınır.

#### **Avantajları;**

- Düşük debilerde çalışabilir
- Hem çamur yoğunlaştırmada hem de susuzlaştırmada kullanılabilir
- Kimyasal şartlandırma gerekmez
- Temiz çalışma şartları, yok denecek kadar az koku problemi, hızlı açma-kapama özelliği
- Kum...vs iri tanelerden etkilenmez
- Susuzlaşması zor çamurlarda iyi sonuçlar verir
- İşletilmesi kolaydır. Sürekli operatör desteği istemez

#### **Dezavantajları;**

- Sürekli çalışan bir proses değildir
- Düşük ve sınırlı kapasite ile çalışır
- Vakum filtreler hariç, en çok güç harcayan prosestir
- Çoğu çamur için düşük kek konsantrasyonu verir

- Kolay susuzlaşabilen çamurlarda, maliyet/kapasite oranı çok yüksektir
- Vibrasyon

Basket tipi santrifüjlerde verim, sisteme giren katı besleme oranından doğrudan etkilendir. Eğer çamurun konsantrasyonu değişkenlik gösteriyorsa, sisteme giren çamur debisi de buna bağlı olarak ayarlanmalıdır. Ayrıca çamur sisteme verilirken flokları parçalayabilecek tüm dış faktörler minimuma indirilmelidir.

Her çamur susuzlaştırma ekipmanında olduğu gibi basket tipi santrifüjlerde de verim kek konsantrasyonuna, duru faza ve kimyasal ihtiyacına bağlı olarak belirlenir. Tablo 3.2’de farklı çamurlar için tipik performans değerleri verilmiştir.

**Tablo 3.2 : Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Gözlenen Basket Tipi Santrifüjlerin Performans Dataları (WPCF, 1983)**

| Çamur Tipi                                          | Besleme Katı Kons (% katı) | Ortalama Kek Katı Kons. (% katı) | Kuru Polimer İhtiyacı (gr/kg katı) | Katı tutma Verimi (%)   |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Birincil                                            | 4-5                        | 25-30                            | 1-1.5                              | 95-97                   |
| Damlatmalı Filt (Taş veya plastik malzeme)          | 2-3                        | 9-10<br>10-12                    | 0<br>0.8-1.5                       | 90-95<br>95-97          |
| Aktif çamur                                         | 0.5-1.5                    | 8-10<br>12-14                    | 0<br>0.5-1.5                       | 85-90<br>90-95          |
| Birincil + Damlatmalı Filt (30:70)                  | 2-3                        | 9-11<br>7-9                      | 0<br>0.8-1.5                       | 95-97<br>94-97          |
| Birincil + Aktif Çam (50:50)                        | 2-2                        | 12-14                            | 0.5-1.5                            | 93-95                   |
| Birincil + Biodisk (60:40)                          | 2-3                        | 20-24<br>17-20                   | 0<br>2-3                           | 85-90<br>98+            |
| Anaerobik çürütülmüş Birincil + Aktif çamur (50:50) | 1-2                        | 12-14<br>10-12<br>8-10           | 0<br>0.8-1.5<br>2-3                | 75-80<br>85-90<br>93-95 |
| Aerobik çürütülmüş                                  | 1-3                        | 8-11<br>12-14                    | 0<br>0.5-1.5                       | 80-95<br>90-95          |

### **Solid-bowl Tipi Santrifüjler**

Bu tip santrifüjler “scroll” veya “decanter” tip diye de adlandırılırlar. Sürekli olarak çalışabilen tip santrifüjlerdir. Katıları taşımak için dış tüpten daha yavaş hareket eden bir vida tipi sıyrıcı kullanılır. Bu vida tipi sıyrıcı ya tüple aynı yönde ya da tüple zıt yönde hareket edebilir. Çamur bir besleme borusu ile verilir ve katılar tüpün duvarlarına doğru hareket eder. Ayrılmış katılar sıyrıcı ile dışarı taşınır.

Bu tip santrifüjler hem düşük hem de yüksek hızlarda çalışabilirler. Yüksek hızlarda daha büyük bir santrifüj kuvveti oluşur. Bu da düşük çaplı tüp kullanılmasını sağlar ve katı ayrımını arttırarak daha kuru kek elde edilmesini sağlar. Ancak yüksek hızlı makinalar hem çok enerji harcarlar hem de çok gürültü çıkarırlar. Ayrıca yüksek hızlardaki aşınma işletme ve bakım maliyetini de arttırır.

Düşük hızlarda daha az enerji harcanır ve gürültü az olur. Ancak katı ayrımını daha az olacağından elde edilen kek daha sulu olur. Bu noktada iki tip yaklaşım vardır. Birincisi besleme noktası ile keki alma noktasının arasını mümkün olduğunca çok tutmaya dayanır. Böylece katıların santrifüjde kalma süreleri artacak ve düşük hızlarda bile yüksek kek konsantrasyonu elde edilebilecektir. İkinci yaklaşım ise polimer kullanımını göz önüne alarak yeni bir dizayn geliştirmeyi ve santrifüjü daha uygun hızlarda çalışmasını öngörmektedir.

Solid-bowl tipi santrifüjlerin avantajları ve dezavantajları şöyledir.

Avantajları;

- Farklı çamur tiplerinde çalışabilir
- Basket santrifüje oranla daha yüksek debide çalışır
- Düşük polimer ihtiyacı
- Kolay açma-kapama
- İnce partikülleri ayırabilir

Dezavantajları;

- Çok gürültü çıkarırlar
- Düşük duru faz kalitesi
- Yüksek işletim maliyeti

Solid-bowl tipi santrifüjlerde başarılı bir çamur susuzlaştırma elde etmek birbirinden farklı 2 prosesin başarıyla gerçekleştirilmesine bağlıdır.

Bunlardan ilki santrifüj içinde katı ve sıvı partiküllerin tabakalaşmasıdır. Buna çökelme prosesi denir. Katı partiküller bir kere ayrıldıktan sonra sıra onları bir sıyırıcı ile uzaklaştırmaya gelmiştir. Bu noktada çamurun başarılı bir şekilde uzaklaştırılabilmesi, çamurun koyuluğunun sıyırıcının onu çamur alma noktasına kadar itmesine imkan vermesine bağlıdır. Bu da santrifüj içinde gerçekleşen ikinci

prosestir ve sıyırma adını alır. Yani bir çamurun solid-bowl tipi santrifüjle uzaklaştırılabilmesi için uygun çökelme ve sıyırma özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Tablo 3.3'te Solid-bowl santrifüjlerin farklı tip çamurlarda çalışma şartları verilmiştir.

**Tablo 3.3 : Solid-bowl Tipi Santrifüjlerde Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurları Performansı (WPCF, 1983)**

| Çamur Tipi                                              | Besleme Katı Kons (% katı) | Ortalama Kek Katı Kons. (% katı) | Kuru Polimer İhtiyacı (gr/kg katı) | Katı tutma Verimi (%) |
|---------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| Birincil                                                | 5-8<br>28-36               | 25-36<br>0                       | 0.5-2.5<br>35-45                   | 95-97                 |
| Anaerobik Çürütülmüş Birincil                           | 2-5<br>9-12                | 28-35<br>30-35<br>25-30          | 3-5<br>0<br>0.5-1.5                | 98+<br>65-80<br>82-92 |
| Aktif Çamur                                             | 0.5-3.0                    | 8-12                             | 5-8                                | 85-90                 |
| Aerobik Çürütülmüş Aktif Çamur                          | 1-3                        | 8-10                             | 1.5-3                              | 90-95                 |
| Aşırı Kireç                                             | 10-12                      | 30-50                            | 0                                  | 90-95                 |
| Birincil + Aktif Çamur                                  | 4-5                        | 18-25                            | 1.5-3.5                            | 90-95                 |
| Anaerobik Çürütülmüş (birincil+aktif)                   | 2-4<br>4-7                 | 15-18<br>17-21                   | 3.5-5<br>2-4                       | 90-95<br>90-95        |
| Anaerobik Çürütülmüş (birincil+aktif+damlatmalı filtre) | 1.5-2.5                    | 18-23<br>14-16                   | 1-2.5<br>6-8                       | 85-90<br>85-90        |

2 tip solid-bowl santrifüj atıksu arıtma tesislerinde kullanılmaktadır; ters akımlı ve düz akımlı makinalar.

Ters akımlı santrifüjlerde katı çıkışı ve beslemesi aletin aynı ucu tarafından gerçekleştirilir. Duru su makinanın eksenini boyunca akar ve santrat çıkışından alınır.

Düz akımlı santrifüjlerde ise çamur beslemesi ile çıkışı aletin ayrı köşelerinde yer alır. Genelde düz akımlı santrifüjler tercih edilmektedir. Bunun nedeni düz akımlı santrifüjlerde türbülansın az olmasıdır (katı ve sıvı faz tüp içinde birbirine paralel durgun bir şekilde geçerler). Ayrıca düşük yoğunluklu katılarda düz akımlı santrifüjler daha iyi verim verirler. Türbülansın düşük olmasının yanında, katıların tüm tüp boyunca taşınıyor olması sebebiyle de düz akışlı santrifüjler daha kuru kek sağlarlar.

### 3.3.4.6 Verimi etkileyen değişkenler

Santrifüjlerin performanslarını etkileyen parametreleri 2 ana başlıkta toplayabiliriz;  
Makina değişkenleri ve İşletim değişkenleri

#### Makina Değişkenleri

**A) Tüp Çapı :** Tüp çapının artırılması makina içindeki bekleme süresini arttıracaktır. Bu da yüksek katı tutma verimi anlamına gelmektedir. Ancak katı tutma verimi arttıkça küçük partiküller de kek içinde yer alacağından, kekin su muhtevası artacak ve düşük kek katı konsantrasyonu elde edilecektir.

**B) Tüp Uzunluğu :** Tüp uzunluğunun artırılması da bekleme süresini arttıracak ve yüksek katı tutma verimi sağlanacaktır. Ancak bu durumda kek konsantrasyonundaki muhtemel değişiklikler her zaman doğru tahmin edilemez. Tüp uzunluğunu arttırarak kek katı konsantrasyonunun artırıldığı durumlar da olasıdır.

**C) Tüp Hızı :** Tüp hızının artırılması santrifüj kuvvetinin artırılması demektir ki bunun sonucunda katı tutma verimi de artar. Ayrıca katı tutma veriminin %100'e yakın olduğu hallerde, yani tüm katıların kek alma ucundan uzaklaştırıldığı durumlarda, tüp hızının artırılması kek katı konsantrasyonunu da arttıracaktır. Ancak bu durum çok özel çamurlar için geçerli uç bir durumdur. Zaten imalatçılar yüksek hızların nadiren gerekli olduğunu saptadıklarından düşük hızları tavsiye etmektedirler. Düşük hızda çalışma şartları aynı zamanda makinanın ömrünü uzatmakta ve işletme maliyetlerini düşürmektedir.

**D) Hazne Derinliği :** Hazne derinliğinin artırılması bekleme süresini arttıracaktır. Dolayısıyla daha iyi katı tutma verimi ve daha düşük kek katı konsantrasyonu (daha sulu kek) elde edilecektir.

**E) Sıyırıcı Hızı :** Sıyırıcı hızının artırılmasıyla katılar santrifüjden çok daha çabuk çıkarılacaklardır. Dolayısıyla (bekleme süresinin azalmasıyla) katı tutma verimi düşer. Ancak küçük partiküller tutulamayacağından kek daha kuru olacaktır yani kek katı konsantrasyonu artacaktır.

**F) Sıyırıcı Aralığı :** Sıyırıcı aralığının arttırılmasıyla katılar daha çabuk atılacaktır. Dolayısıyla sadece büyük ve ağır katılar uzaklaştırılırken daha küçük katılar duru fazda kalacaktır. Ayrıca sıyırıcı palet sayısının arttırılması kek konsantrasyonunu arttırırken, katı tutma verimini düşürecektir.

**G) Çamur Besleme Noktası :** Çamur besleme noktası çamur çıkış noktasına yakınlaştırılırsa bekleme süresi artacaktır. Bu da yüksek katı tutma verimi ancak düşük kek katı konsantrasyonu anlamına gelmektedir.

**H) Şarlandırıcı Besleme Noktası :** Şarlandırıcılar çamurla santrifüje girmeden önce karıştırıldıkları gibi direkte olarak santrifüje de verilebilirler. Genellikle tercih edilen yol şartlandırıcı ile çamurun besleme borusunda karışmasının sağlanması ve böylece performansın arttırılmasıdır.

**İ) Sıyırıcı Bıçaklarının Durumu :** Özellikle çamur kum ve benzeri iri tanecikleri ihtiva ediyorsa, bir süre sonra sıyırıcıda aşınma ve yırtılmalar başlayacaktır. Aşınmış bir sıyırıcı sadece iri taneleri sürükleyebileceğinden yüksek kek katı konsantrasyonu ancak düşük katı tutma verimi elde edilir.

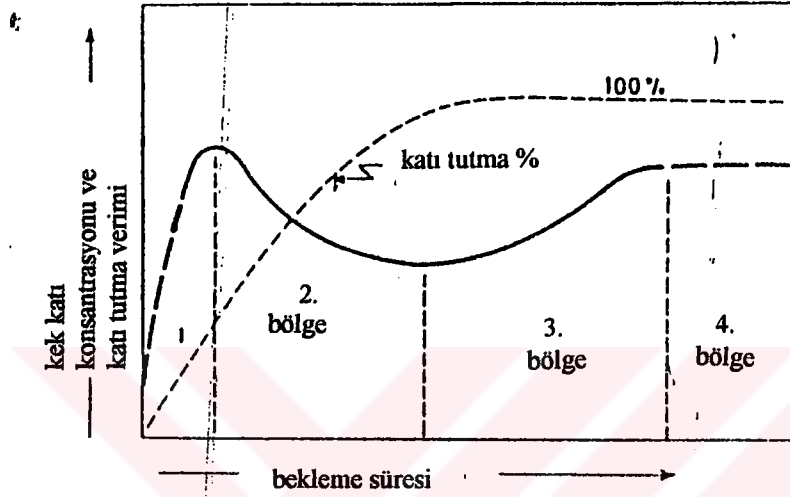
**J) Tüp Açısı :** (konik kısmın silindire dönüştüğü noktadaki açı) Eğer çamur yumuşak ve kabarmaya müsait partiküller içeriyorsa tüp açısının katı tutma verimi ve kek katı konsantrasyonu üzerinde etkisi vardır. Açıdaki artış yumuşak partiküllerin konik kısmın sonuna doğru hareketlerinin devamını önleyecek, bu partiküller aşağı kısımda kalarak bir süre sonra santrata karışacaklardır. Bu da düşük katı tutma verimi ve yüksek kek katı konsantrasyonu demektir.

### **İşletim Değişkenleri**

**A) Bekleme Süresi .** Operatöre bırakılan en önemli işletim değişkeni santrifüje giren çamur debisine bağlı olarak bekleme süresidir. Bekleme süresinin arttırılmasıyla (ya da debinin düşürülmesiyle) katı tutma verimini arttırmak mümkündür.

**B) Kimyasalların Eklenmesi :** Bir diğer işletim değişkeni kimyasalların eklenmesidir. Hem kimyasalın çeşidi hem de ekleme yöntemi performansı etkiler.

Kek katı konsantrasyonu ile katı tutma verimi arasındaki ilişki hakkında farklı görüşler vardır. Bazı yayınlanmış çalışmalarda katı tutma veriminin artmasıyla kek konsantrasyonunda hem bir artma hem de bir azalma olduğu görülmüştür. Bu durum Şekil 3.1’de görülmektedir. Şekil 3.1’de kek katı konsantrasyonu ile katı tutma verimi arasındaki ilişki bekleme zamanına bağlı olarak verilmiştir.



**Şekil 3.1 : Santrifüjlerde Kek Tutma Verimi  
ile Katı Madde Konsantrasyonu (Vesilind, 1978)**

Çok düşük bekleme sürelerinde (yüksek çamur debisinde) sadece ağır ve kolay susuzlaşabilen katılar kek olarak uzaklaştırılır (Bölge 1), kuru kek ve düşük katı tutma verimi ile. Bekleme süresi arttıkça (daha düşük debilerde) kek katı konsantrasyonu düşerken katı tutma verimi artar (Bölge 2). %100 katı tutma verimine ulaşıldığında debide bir düşüş olursa (yani bekleme süresi arttırılırsa) oluşan kek düşük türbülansa bağlı olarak daha kuru olacaktır (Bölge 3). Bu noktadan sonra bekleme süresinin arttırılması herhangi bir iyileşme getirmeyecektir (Bölge 4). Böylece hem sulu hem de kuru kek katı tutma verimine bağlı olarak arttırılan bekleme süresi ile elde edilebilir. Yalnız şuda belirtilmelidir ki, çoğu santrifüj %100’ün altında katı tutma verimlerinde çalışırlar (Bölge 2). Dolayısıyla genellikle katı tutma veriminin arttırılması daha düşük kek katı konsantrasyonunu beraberinde getirmektedir.

## **BÖLÜM 4**

### **ŞARTLANDIRMA**

#### **4.1 Giriş**

Susuzlaştırma amaçlı şartlandırma hem su giderimini hem de katı muhtevasını arttırmak amacı ile çamurun kimyasal ve/veya fiziksel işlem görmesini ifade etmektedir. Şartlandırma işlemi kimyasal veya fiziksel olarak gerçekleştirilebilir. Kimyasal şartlandırmada inorganik kimyasallar veya organik polimerler kullanılır. Fiziksel şartlandırma ise çamurun ısıtılması veya dondurulup-çözünmesi ile gerçekleştirilir.

Şartlandırma 2 kademeli bir işlemdir : Pıhtılaştırma ve Yumaklaştırma. Pıhtılaştırmada en etkili mekanizma, partiküller arasındaki elektrostatik itme kuvvetinin kırılarak çamur partiküllerinin kararlılığının bozulmasıdır. Bu işlem partikülü çevreleyen çift tabakanın sıkıştırılması ile olur. Pıhtılaştırmayı takip eden yumaklaştırmada ise yavaş karıştırma ile kolloidlerin ve askıda maddelerin kümeleşmesi sağlanır.

Şartlandırma kendisini izleyen susuzlaştırma verimi üzerinde doğrudan etkilidir. Dolayısıyla şartlandırma prosesinde gerçekleştirilecek herhangi bir değişiklikte bunun tüm sistem üstüne getireceği gerek mali gerekse işletim zorlukları da dikkate alınmalıdır.

#### **4.2 Şartlandırmayı Etkileyen Faktörler**

Çamurun şartlandırılması esnasında bir çok faktör proses etki etmektedir. Bu faktörleri genel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak 3 grupta toplayabiliriz. Karr ve Keinath(1978), yaptıkları çalışmada bu faktörleri aşağıdaki gibi belirtmişlerdir;

- Selüloz içeriği
- pH ve partikül yükü
- Organik madde içeriği
- Bağlı su miktarı
- Süzüntü viskozitesi
- Alkalinite
- Katı madde konsantrasyonu
- Çamur tipi
- Sıkışabilirlik katsayısı
- Partiküllerin dayanıklılığı
- Karıştırma şiddeti
- Partikül boyut dağılımı
- Biyolojik bozunma hızı
- Azot, fosfor ve yağ içeriği

Bu faktörlerden bazıları aşağıda incelenmiştir.

#### 4.2.1 Partikül Boyutu ve Dağılımı

Partikül boyutu çamur susuzlaştırmaya etki eden en önemli faktör olarak kabul edilmektedir. Ortalama partikül boyutu düştükçe partiküllerin yüzey alanı artar. Yüzey alanının artması daha büyük bir hidrasyon, daha çok kimyasal ihtiyacı ve susuzlaşmaya karşı daha çok direnç anlamına gelmektedir.

Ham evsel atıksular 1-10µm boyutlarında önemli miktarda kolloidal madde içermektedir. Ve bunların hemen hemen hepsi kimyasal koagülasyon uygulanmadığında ön arıtmadan kaçmaktadır. Biyolojik arıtma kademesinde de bu kolloidlerin sadece bir kısmı giderilebilmektedir. Sonuç olarak biyolojik çamurlar, özellikle de aktif çamurlar zor susuzlaşırlar ve yüksek oranda kimyasala ihtiyaç duyarlar.

Karr ve Keinath (1978) yaptıkları çalışmada 1-100 µm aralığındaki partiküllerin susuzlaşabilirlik üzerinde direkt bir olumsuz etkilerinin olduğunu tespit etmişler ve bu aralıktaki partikülleri yoğun olarak ihtiva eden çamurların partikül boyutlarının değiştirilmesi için bir işlemin yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Suprakolloidal grup olarak ifade edilen bu aralıktaki partikül miktarı arttıkça susuzlaştırma zorlaşmaktadır.

Lawler (1986) ise yaptığı çalışmada anaerobik çürütme işleminin partikül dağılımını değiştirdiğini bulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, çürütme işlemi iyi gerçekleştirildiğinde her boyuttaki partikülün bozunmaya uğradığı, sonuç olarak susuzlaşma ve yoğunlaşma özelliklerinin iyileştiği ve bunlara paralel olarak duru

suyun berrak bir hal aldığı gözlenmiştir. Diğer taraftan, çürütme iyi gerçekleşmediği durumlarda, sadece büyük partiküllerin bozunmaya uğradığı, küçüklerde fazla bir değişimin olmadığı, dolayısıyla yüzey alanının arttığı ve susuzlaşmanın zorlaştığı tespit edilmiştir.

#### **4.2.2 Çamur Kaynağı**

Çamurun kaynağının da şartlandırma üstünde etkisi büyüktür. Ne var ki, sadece çamurun kaynağını bilmek bize yalnız gerekli olan şartlandırıcı aralığını verecektir.

Kimyasal şartlandırıcı kullanımları üstüne yapılan çalışmalar göstermektedir ki primer çamurlar ikincil çamurlara nazaran daha düşük dozlar istemektedirler. Aynı şekilde damlatmalı filtre çamurları aktif çamura göre daha düşük dozlar istemektedir. Aerobik ve anaerobik çürütülmüş çamurlar ikincil çamurlarla karşılaştırılacak dozlarda şartlandırıcı isterler.

Kimyasal çamurlar veya kimyasal+biyolojik karışım çamurları ise kendi aralarında çok fazla farklılık göstermektedirler. Dolayısıyla bir genelleme yaparak biyolojik ikincil çamurlarla veya herhangi kaynaklı çamurla kıyaslama yapmak mümkün değildir. Ancak kimyasal çamurlar birincil ve ikincil çamurlara göre daha farklı kimyasal türüne ihtiyaç duydukları söylenebilir. Şöyle ki; birincil ve ikincil çamurlarda genelde katyonik polielektrotlar kullanılırken, kimyasal çamurlarda genellikle anyonik polielektrotlar tercih edilir.

Fakat tüm bunlar bir takım çalışmaların sonucunda kabul edilmiş olan genellemelerdir. Her zaman için farklı tesislerden gelen aynı kaynaklı çamurların farklı dozlarda şartlandırıcı isteyebilecekleri unutulmamalıdır.

#### **4.2.3 Katı Madde Miktarı**

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

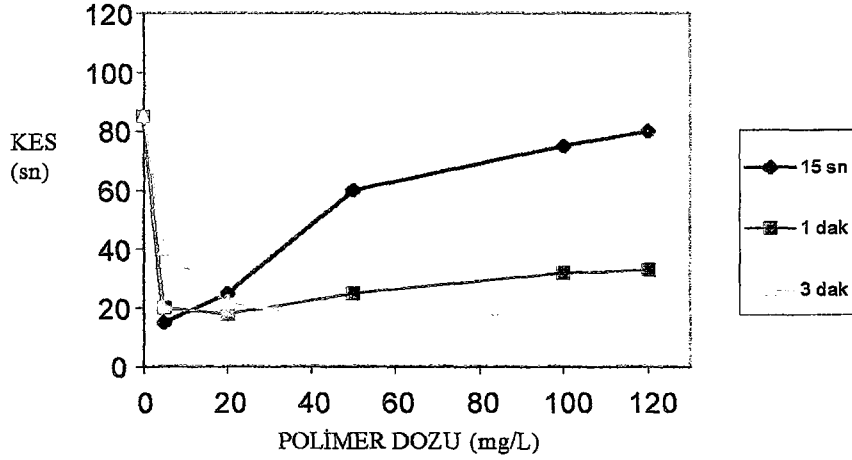
Katı madde konsantrasyonunun polielektrolit şartlandırması üzerine iki etkisi daha vardır. Yüksek katı madde konsantrasyonları geniş bir dozlama aralığında iyi verim verir. Bu da yüksek konsantrasyonlarda çalışırken aşırı dozlama ile karşılaşma ihtimalinin daha düşük olduğu anlamına gelmektedir. Öte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

#### **4.2.4 Karıştırma Şiddeti ve Süresi**

Karıştırma şiddeti, kimyasal madde uygulamalarında şartlandırmanın etkili bir şekilde yapılmasını sağlayan en önemli faktörlerdendir. Werle (1984) yaptıkları çalışmada polimerlerle şartlandırmada, şartlandırma verimini etkileyen parametrelerin; polimer dozu, karıştırma şiddeti (G) ve karıştırma süresi (t) olduğunu göstermişlerdir.

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

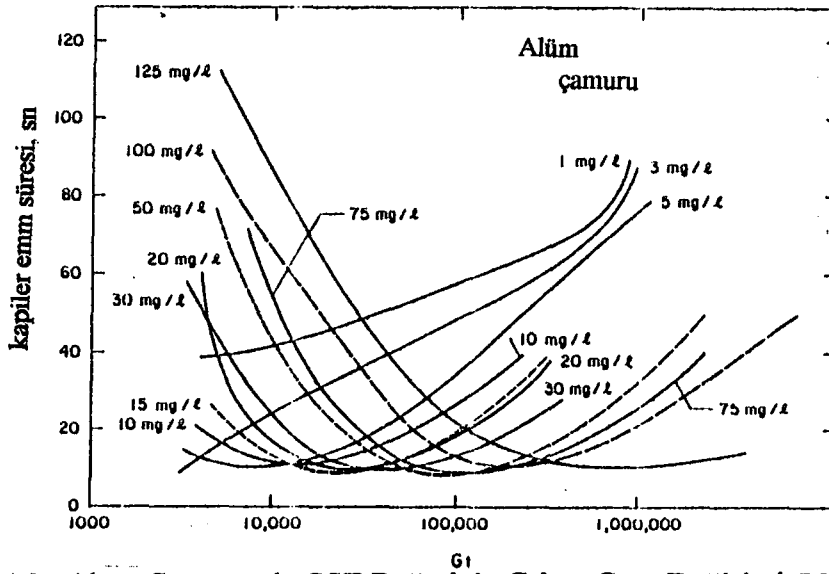
Werle ve arkadaşları alüm çamuru ile yaptıkları çalışmada, istenilen bir verimi elde etmek için; (Gt) değerinin artmasının optimum polimer dozunu arttırdığını göstermişlerdir. Alüm çamurlarının polimerlerle şartlandırılması, Novak ve O'Brien tarafından belirtilen partiküller arası bağlanma modeline uymaktadır.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



Şekil 4.1 : Alüm Çamurlarında Karıştırma Süresinin Etkisi ( Novak, 1985)

Alüm çamurlarına çok küçük polimer ilaveleri bile çamurun suyunu verme özelliğini arttırabilmektedir. Düşük polimer dozlarında, karıştırma süresi arttıkça çamurun susuzlaşma özellikleri bozulmaktadır. Karıştırma süresinin uzaması partiküllerin dağılmasına ve restabilizasyonuna neden olmaktadır. Polimer dozunun artması çamurun verimli şekilde şartlandırılması için gerekli olan süreyi uzatmaktadır.

Alüm çamurlarının susuzlaştırılmasında susuzlaştırma yönteminin seçilmesi karıştırma şiddetine (Gt) ve polimer dozuna göre seçilebilir. Şekil 4.2’de alüm çamurları için kapiler emme süresinin polimer dozuna ve Gt değerine göre değişimi verilmiştir. ( Werle ve dğr, 1984). 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. Vakum fltrasyonu gibi orta şiddetli gerilimli sistemler için uygun şartlandırmada, optimum doz orta Gt değerlerinde ve orta polimer dozlarında seçilmelidir. Santrifüjler gibi yüksek gerilimli susuzlaştırma sistemler ise güçlü floklar gerektirdiğinden yüksek Gt değerleri ve yüksek dozlarda elde edilen optimum polimer dozları en yüksek verimi vermektedir.



Şekil 4.2 : Alüm Çamurunda CST Değerinin Gt' ye Göre Değişimi (Novak,1985)

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. (1995) göstermişlerdir. Polimerlele çamur şartlandırmada oluşan aşamalar; yüksek türbülansla polimerin çamur içinde dispersiyonu ve laminar şartlar altında gerçekleşen flokülasyondur. Sabit karıştırma süresinde, bütün karıştırıcı çeşitlerinde polimerin dispersiyonu için yeterli türbülanslı karışımın sağlandığı ve şartlandırma verimini belirleyen etkenin laminar şartların sağlanması olduğunu göstermişlerdir. Buna göre; karıştırma işleminde uygulanan kuvveti laminar akıma dönüştüren karıştırıcılar, türbülanslı şartlar oluşturan karıştırıcılara daha iyi bir performansa sahiptir. Pervaneli pedallar türbün tipi pedallara göre daha stabil akım şartları sağlamaktadır.

#### 4.3 İnorganik Kimyasal Şartlandırma

Inorganik kimyasallar uzun senelerden beri çamur şartlandırmada kullanılmaktadır. Fransızların 1740'larda, İngilizlerin ise 1844'lerde inorganik kimyasalları kullandıklarına dair kayıtlar vardır. Amerikada ilk olarak bir arıtma tesisinde inorganik kimyasal kullanımına 1920'lerde başlanmış ve günümüze kadar uzanmıştır. Günümüzde hala, özellikle vakum filtrasyonunda, inorganik kimyasallar, demir klorür ve kireç, yaygın olarak kullanılırlar da bant filtre ve santrifüj uygulamalarında saklanmadaki kolaylıkları ve daha verimli olmaları ile organik şartlandırıcılar inorganik kimyasalların yerini almaya başlamışlardır.

#### 4.3.1 İnorganik Kimyasal Şartlandırıcıların Özellikleri

En yaygın olarak kullanılan kimyasal şartlandırıcıların başında demir klorür ve kireç gelmektedir. Hazır olarak elde edilebilmeleri ve çok farklı çamur tipi üzerinde başarı ile uygulanabilmeleri onları öne çıkarmaktadır. Bunların yanında alüminyum sülfat, alüminyum klorür, sıvı demir sülfat ve anhidre demir klorür de kimyasal şartlandırıcı olarak kullanılmaktadırlar.

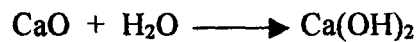
#### 4.3.2 Kireç

Kireç, atıksu arıtma tesislerinde pH kontrolünde kullanılmaktadır. Piyasada iki halde bulunurlar; sönmemiş kireç, CaO ve sönmüş kireç, Ca(OH)<sub>2</sub>.

Çamur şartlandırıcı olarak kireç, demir klorür ilavesi ile düşen pH'yı arttırmada kullanılır. Ayrıca kireçle pH değerleri artırılarak, çözelti içinde hidrojen sülfür şeklinde bulunan sülfür, uçucu olmayan sülfid ve bisülfid iyonuna dönüştürülerek koku probleminin giderilmesinde de önemli bir adım atılmış olur. Yüksek dozlarda kireç çamur stabilizasyonunda da etkili olur, örneğin pH>12 değerlerinde stabilizasyon gerçekleşebilir.

CaO, pH ayarlamasında ve kontrolünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kireçtaşının (kalsiyum karbonat, CaCO<sub>3</sub>) yüksek sıcaklıklarda fırnlarda yakılmasıyla elde edilir. Yakma esnasında CO<sub>2</sub> ortamdan uzaklaşır ve CaO kalır.

CaO nadir olarak kuru formda kullanılır. Onun yerine suya çözünerek daha reaktif Ca(OH)<sub>2</sub> haline dönüştürülür.



Bu işleme kirecin söndürülmesi denir ve reaksiyonun bir sonucu olarak ısı açığa çıkar.

Sönmemiş kireç, ihtiva ettiği CaO miktarına göre 3'e ayrılır. İyi derece 88-96% CaO; orta derece 75-88% CaO ve düşük derece 50-75% CaO. Bu dereceler kirecin yakılma hızına da bağlı olarak suda çözünme sonrası oluşan Ca(OH)<sub>2</sub>'in reaktivlik derecesini etkilerler. Örneğin iyi derece ve yavaş yakılmış bir kireç çok hızlı sönecek ve

oldukça reaktif bir  $\text{Ca(OH)}_2$  çözeltisi oluşturacaktır.  $\text{Ca(OH)}_2$ 'in reaktifliği düşük derece ve çok hızlı yakılmış kirece doğru azalır.

Kullanımda  $\text{CaO}$  veya  $\text{Ca(OH)}_2$ 'den birinin tercih edilmesi ihtiyaç duyulan miktara, bu miktarın maliyetine bu miktarın depolama ihtiyaçları gibi faktörlere bağlıdır.  $\text{Ca(OH)}_2$ 'nin maliyeti genelde  $\text{CaO}$ 'ya göre 30% fazladır.[2] Söndürülmeye ihtiyaç duymaması, kullanılmasının daha kolay olması ve özel saklama şartları istememesi  $\text{Ca(OH)}_2$ 'nin avantajları arasındadır.

#### 4.3.3 Demir Klorür

Demir klorür ( $\text{FeCl}_3$ ) atıksulardaki katıların flokulasyonunda yaygın olarak kullanılır. Genelde %30-35  $\text{FeCl}_3$  çözeltisi halinde sıvı olarak kullanılır. Suda çözünerek pozitif yüklü demir iyonları oluşturur. Bu iyonlar negatif yüklü çamur partiküllerini nötralize ederler ve partiküllerin yaklaşması sağlanır. Demir klorür ayrıca çamurdaki bikarbonat alkalinitesi ile de reaksiyona girer ve yumaklaştırıcı gibi hareket eden hidroksitleri oluşturur. Aşağıda demir klorür ile bikarbonat alkalinitesi arasındaki reaksiyon verilmiştir:



Demir klorürün en önemli özelliklerinden birisi oldukça koroziv olmasıdır. Bu sebeple saklanması özel maddelerin kullanılması tavsiye edilmektedir. Bunların başında epoksi, seramik, PVC ve vinil gelmektedir.

Demir klorür uzun süreler bozunmadan saklanabilir. Yalnız düşük sıcaklıklarda demir klorür kristalleşebildiğinden kapalı yerlerde depolanması ya da ısıtılması gerekmektedir.

#### 4.4 Organik Polimerler

Geçtiğimiz yüzyılda organik polielektrotların ya da polimerlerin bir çok avantajları fark edilmiş ve özellikle 1960'larda başlayan atıksu arıtma tesislerinde kullanımları günümüze kadar artarak gelmiştir. Polimerlerin başlıca tercih nedenleri olarak şunlar söylenebilir;

- İlave çamur oluşumuna çok az neden olurlar. İnorganik şartlandırıcılar, çamurda ağırlıkça %15-30 artışa neden olmaktadır
- Oluşan çamurun yakıt değerinde çok az azalmaya neden olurlar
- İşletim ve bakım masraflarını düşürürler.

#### 4.4.1 Polimer Kimyası

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

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

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

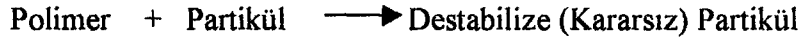
Anyonik polimerlerin kullanılması çoğu çamur partikülünün de negatif yüklü olmasından dolayı yaygın değildir. Anyonik polimerler ya çok miktarda demir veya kireç ihtiva eden çamurların şartlandırılmasında ya da katyonik polimerlerle 2-polimerli sistemlerde kullanılmaktadırlar.

Non-iyonik polimerler nötr ya da sıfır yüke sahiptirler. Sıfır yüke sahip bir polimerin elde edilmesi oldukça zordur, bu yüzden bir çok non-iyonik polimer çok az da olsa anyonik yük taşırlar. Non-iyonik polimerler endüstriyel atıklarda ve ham su dezenfeksiyonunda kullanılmakla beraber atıksu çamurlarının şartlandırılmasında kullanılabilirlikleri çok düşüktür.

#### 4.4.2 Polimer Reaksiyonları

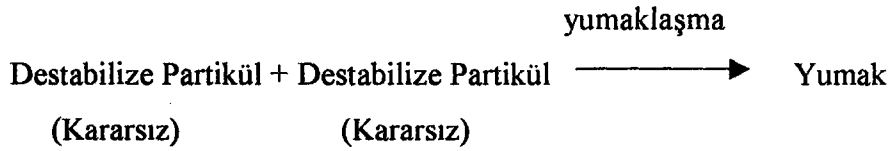
Çamur şartlandırma işlemi esnasında çamur partikülü ile polimer arasında gerçekleşen reaksiyonlar 6 adımda genelleştirilmiştir.

### Reaksiyon 1 : İlk Polimer Adsorpsiyonu



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

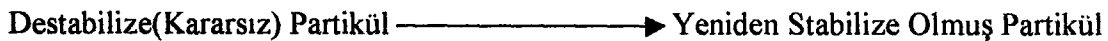
### Reaksiyon 2 : Yumak Oluşumu



Birbirinden dağınık halde bulunan destabilize olmuş partiküllerin, bir miktar daha karıştırma devam ettirilerek, birbirleriyle temas ederek yumak oluşturmaları sağlanır. Elektrostatik yükler nötralize edildiğinden partiküllerin yükleri oldukça zayıftır. Dolayısıyla bu aşamada yumakları tutan kuvvetler de oldukça zayıftır. (Reaksiyon 5 ve 6)

Eğer bir çamur prosesinde iyi bir şartlandırma gerçekleşiyorsa bu kademedен sonra yumak oluşumunu tamamlamak için daha fazla polimere ihtiyaç duyulmaması gerekir.

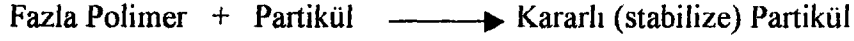
### Reaksiyon 3 : İkinci Polimer Adsorpsiyonu



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

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

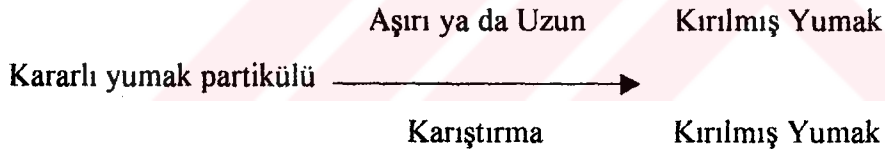
#### Reaksiyon 4 : Fazla Polimerin İlk Adsorpsiyonu (Aşırı şartlandırma)



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

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

#### Reaksiyon 5 : Yumak Kırılması



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

#### Reaksiyon 6 : İkinci Polimerin Yeniden Adsorpsiyonu



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

#### 4.5 Şartlandırmanın Etkinliğinin Belirlenmesi

Bir atıksu arıtma tesisinde oluşan çamurun susuzlaştırılması için çeşitli ekipmanlar geliştirilmiştir; filtre pres, belt-filtre pres, santrifüjler, vakum filtreler vs. Bu ekipmanların seçiminde en önemli etkiyi maliyet yapmaktadır. Genel hatları ile çamur susuzlaştırma prosesini düşünürsek maliyete etkiyen en önemli faktörlerin başında çamurun şartlandırılmasında kullanılan kimyasallar gelmektedir.

Bu şartlar altında en uygun kimyasal dozunun belirlenmesi bir kat daha öne çıkmaktadır. Bu yüzden arıtma teknolojisinin tarihi boyunca çamurun suyunu en iyi verdiği şartları belirlemek amacıyla bir çok yöntem geliştirilmiştir.

Geliştirilen bu yöntemlerden, çeşitli nedenlerden dolayı, sadece bir kaç yaygın olarak kullanılmaya devam edilmektedir. Bunların başında Kapiler Emme Süresi (KES) deneyi ve Özgül Direnç (SRF-Specific Resistance to Filtration) gelmektedir. Ayrıca Filtre Süresi deneyinin de kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu deneyler aşağıda kısaca anlatılmıştır.

##### 4.5.1 Kapiler Emme Süresi Deneyi (KES)

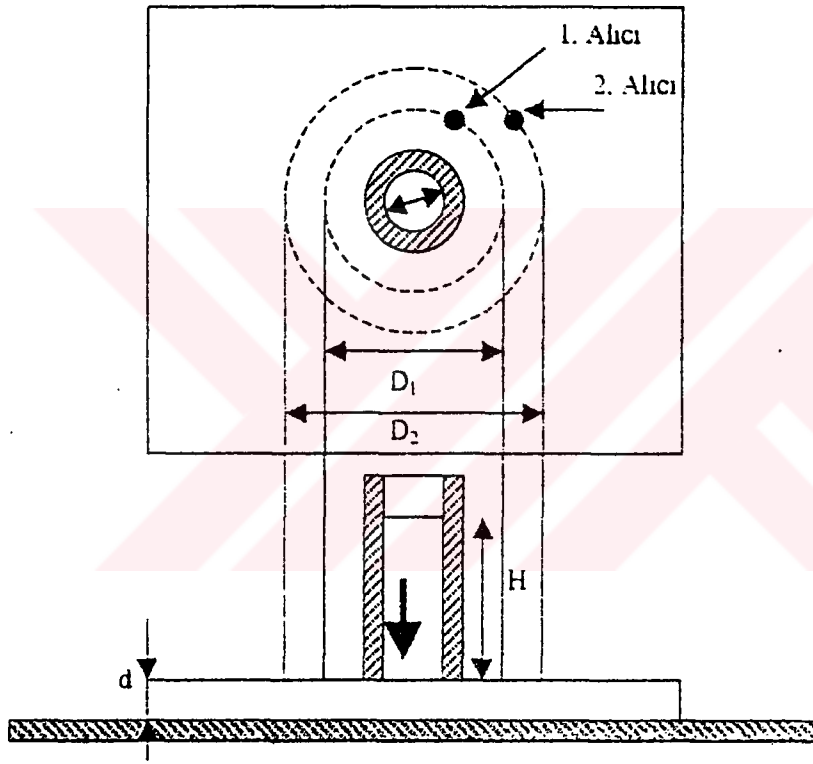
Kapiler Emme Süresi (KES) deneyi çamur şartlandırma prosesinde kullanılan en hızlı ve kolay test yöntemlerinden birisidir. Bir miktar şartlandırılmış çamurun filtre kağıdı üzerinde yerçekimi etkisi ile yayılması esasına dayanır.

Kapiler Emme Süresi deney düzeneği Şekil 4.3’de görülmektedir. Deney düzeneği bir silindirik numune haznesi, 9 cm x 7 cm boyutlarında filtre kağıdı, iki parça plastik blok, bunlardan birinin üstünde 3 adet elektriksel elektrot bulunmaktadır, ve bu elektrotlara bağlı bir zamanlayıcıdan ibarettir.

Numune silindirik hazneye yerleştirilmesiyle deneye başlanılır. Çamurdaki su filtre kağıdı üzerinde dairesel bir hareketle yayılmaya başlar. Su hareketi ilk elektrotla ulaştığında zamanlayıcı çalışmaya başlar. Zamanlayıcı su hareketi ikinci elektrotla ulaşıncaya kadar devam eder. Bu işlem gerçekleşince zamanlayıcının göstermiş olduğu değer bize Kapiler Emme Süresi’ni vermektedir.

Suyunu yavaş veren çamurlar yüksek KES değerlerine, hızlı veren çamurlar ise düşük KES değerlerine sahiptirler. KES deneylerinde amaç en düşük KES

değerlerine veren çalışma şartlarının bulunmasıdır. Örneğin çamura farklı dozlarda polimer ilavesi halinde yapılan KES deneylerinin sonuçları incelendiğinde, KES değerlerinin belli bir dozaja kadar hızla düştüğü, fakat dozaj belli bir değeri aştıktan sonra KES değerlerinin arttığı gözlenecektir. İşte KES değerlerinin en düşük olduğu polimer dozu o çamur için en uygun çalışma şartlarını vermektedir.



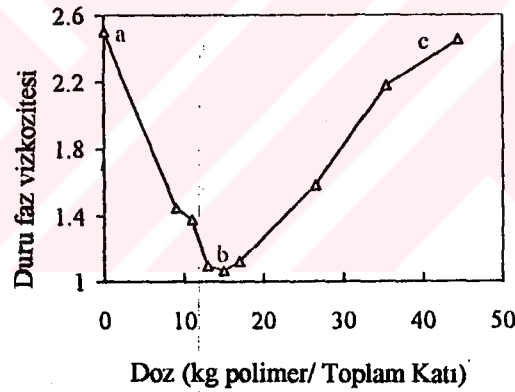
**Şekil 4.3** Kapiler Emme Süresi Deney Düzenekinin Genel Yapısı (Sel, 1999)

Standart Metotlarda (APHA, AWWA 1998) KES, çamur numunesinden belirli bir miktar su hacminin drene olabilmesi için gereken süre olarak tarif edilmiştir.

Vesilind (1988) KES'i, yapımı kolay, kalifiye eleman istemeyen ve kimyasal şartlandırıcıların çamur susuzlaştırmadaki etkileri hakkında bol veri sağlayan bir ölçüm metodu olarak tarif etmiş ve yaptığı çalışmada viskozite ile KES arasında lineer bir ilişki olduğunu tespit etmiştir.

Christensen ve arkadaşları (1993) Özgöl Direnç ve KES'i, filtrasyona olan direnci belirleyen yöntemler olarak tarif etmişlerdir. Her 2 metotta da etkili olan dirençleri "Çamur Direnci" ve "Alet Direnci" olmak üzere 2 ana başlıkta toplamışlar ve alet direncinin Özgöl Direnç için ihmal edilebilir olduğunu belirtirken, KES ölçümlerinde sıvı faz viskozitesi ve katı konsantrasyonu kadar alet direncinin de önemli olduğu ve dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Yaptıkları çalışmada, yüksek polimer dozlarında hem KES hem de Özgöl Dirençteki artışı filtrat viskozitesindeki artışa bağlamışlardır.

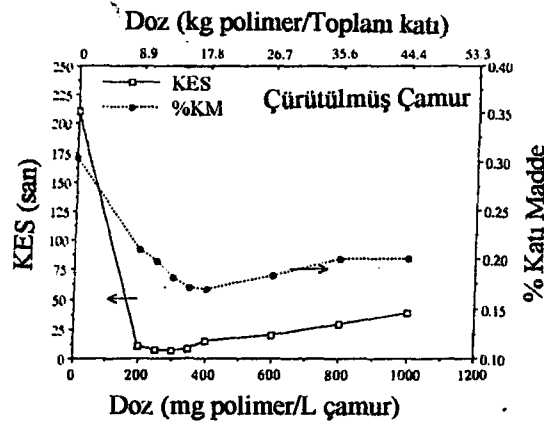
Dentel ve Abu-Orf'un(1995) çalışmasında çürütülmüş çamurun santrifüjlenmesinden sonra elde edilen duru faz viskozitesinin bir noktaya kadar azaldığını daha sonra da arttığını (Şekil 4.4) belirlemiş ve bu davranışın polimer dozlarına karşılık elde edilen KES eğrisinin (Şekil 4.5) göstermiş olduğu davranışa paralellik arz ettiğini vurgulamışlardır.



**Şekil 4.4 :** Polimer Dozuna Bağlı Olarak Viskozite Değişimi (Dentel, 1995)

Polimer ilavesi ile viskozitede görülen azalma Dentel ve arkadaşları tarafından(1995)küçük çamur partiküllerinin yumaklaşmasına, böylece de sularını vermesine bağlanmıştır, yani daha sulu ve temiz duru faz ve daha düşük viskozite. Papavasiliopoulos (1997) ise viskozitedeki düşüş ile bulanıklıktaki değişimler arasında kuvvetli bir korelasyon olduğunu tespit etmiştir.

Viskozitede gözlenen artış trendi içinse ortak bir görüş (Christensen ve ark., 1993; Dentel ve Abu-Orf, 1995; Papavasiliopoulos, 1997) hakimdir ve viskozite artışının sıvı fazdaki fazla polimer artışına bağlı olduğuna inanılmaktadır.



**Şekil 4.5 :** polimer Dozuna Bağlı Olarak KES Değişimi (Dentel, 1995)

Dentel ve arkadaşlarının(1995) yapmış oldukları çalışmada polimer ilavesinden sonra KES'te gözlenen düşüş 2 nedene bağlanmıştır; duru faz katı madde konsantrasyonundaki ani düşüş ve duru faz viskozitesindeki düşüş. Optimum doz aralığından sonra KES'te gözlenen artış ise duru faz viskozitesinin artışına bağlanmıştır.

Aynı çalışmada bu davranış, Darcy Kanununun duru fazın filtre kağıdındaki hareketine uygulanmasıyla açıklanmıştır.

$$v = \frac{\Delta p.k}{\mu.L}$$

Filtre permeabilite değeri  $k$ , ve basınç farkı  $\Delta p$  sabit kabul edilirse duru fazın filtre kağıdındaki süzülme hızının viskozite ile ters orantılı olduğu vurgulanmış ve viskozitedeki artışın hızı düşüreceği ve daha yüksek KES değerlerinin elde edileceği belirtilmiştir.

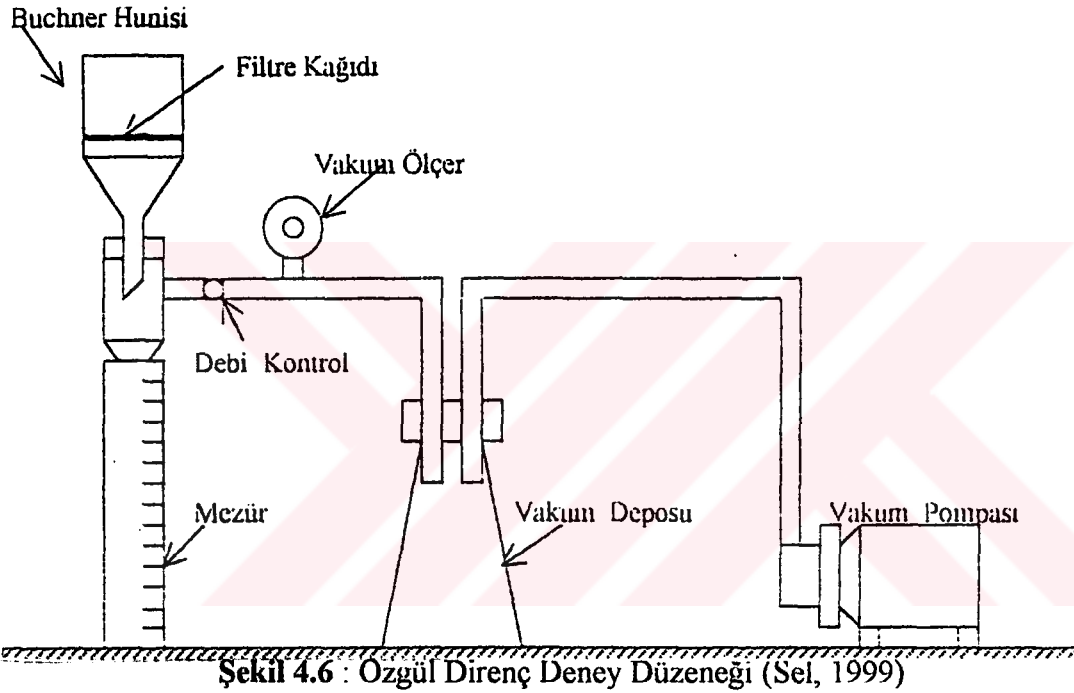
Langer ve Klute(1993) ise yapmış oldukları çalışmada polimer ilavesinden sonra oluşan flokların hacimce büyük olmaları durumunda, homojen numune almadaki zorluklardan dolayı KES değerlerinde salınımlar gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

KES deneyi tamamen ampirik bir yöntem olup, henüz teorik analizlerle sağlam bir yapıya kavuşturulmamıştır. Bir çok araştırmacı KES'in pratik avantajlarının bulunduğunu fakat temel bir alt yapısı bulunmadığından tek başına bir araştırma

yöntemi olarak kullanılamayacağını ifade etmektedirler. Tavsiye edilen laboratuvar şartlarında KES deneyinin yanı sıra ikinci bir test metodunun da kullanılarak sonuçların daha sağlıklı yorumlanmasıdır.

#### 4.5.2 Özgül Direnç Deneyi

Çamurun susuzlaştırılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan en güvenilir yöntemlerden birisidir. Bu deneyle, şartlandırılmış çamurun bünyesindeki sıvının salınmasına karşı gösterdiği direnç belirlenmeye çalışılır. Özgül Direnç deneylerinde Şekil 4.4’de gösterilen Buchner hunisi deney düzeneği kullanılır.



Şekil 4.6 : Özgül Direnç Deney Düzeneği (Sel, 1999)

Çamurun özgül direnç değeri aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır;

$$R = \frac{2 b A^2 P}{\mu c} \quad (4.1)$$

Burada ;

R = Özgül Direnç (m/kg)

b = t/V'ye karşılık V eğrisinin eğimi (sn/m<sup>6</sup>)

A = filtre alanı (m<sup>2</sup>)

P = basınç (N/m<sup>2</sup>)

μ = dinamik viskozite (N·sn/m<sup>2</sup>)

V = süzüntü hacmi (m<sup>3</sup>)

t = süre (sn)

c=kek ağırlığı/süzüntü hacmi (kg/m<sup>3</sup>)

Yapılan deneysel çalışma sonucunda en düşük özgül direnç değerini veren çalışma ortamı çamurun en iyi susuzlaştığı ortamı vermektedir.

Formülden de anlaşılabileceği gibi özgül direnç deneyi uygulanan vakumun şiddetine, süzülme alanına, katı madde konsantrasyonuna ve sıvının viskozitesine bağlı bir parametredir. Dolayısıyla bu parametrelerin belirlenmesinde yapılacak en ufak bir yanlışlık farklı özgül direnç değerlerinin hesaplanmasına yol açacaktır. Örneğin filtre alanının hesaplanmasında yapılacak en ufak bir sapma, alanın karesi formülde kullanıldığından özgül direnç değerinde daha büyük bir sapmaya neden olacaktır.

#### 4.5.3 Filtre Süresi

Filtre Süresi deneyinin düzeneği de Özgül Direnç deneyi ile aynıdır. Aslında Filtre Süresi Deneyi Özgül Direnç deneyine bir alternatif olarak geliştirilmiş ve son bir kaç basımında Standart Metodlar'da (18.Basım, 1992) özgül direncin yerini almıştır. Özgül Direnç deneyinin çok hassas çalışma şartları istemesi ve deneyin uzun süre alması nedeniyle böyle bir yenilik getirilmiştir. Ölçülen numuneler arasında viskozite farkı olmadığı durumlarda KES ile aralarında bağıntı bulunduğu ve Özgül Direnç ile benzerlik gösterdiği vurgulanmıştır(Standart Methods, 20<sup>th</sup> Edition, 1998).

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

Dentel ve arkadaşları (1988) yapmış oldukları çalışmada Filtre süresi yöntemini kullanarak Edgewood, Md.'de bulunan bir arıtma tesisinde farklı polimer dozlarında deneyler yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları aynı polimer dozlarında alüm çamurunun santrifüjlenmesiyle elde edilen susuzlaştırma performansı değerleri ile karşılaştırmışlar ve iyi bir korelasyon sağlamışlardır.

Dentel, ayrıca çalışmasında, KES ile filtre süresi deneyleri arasında da iyi bir korelasyon olduğunu vurgulamış ancak KES deneyinin gerekli ölçüm süresi, sonuçların çeşitliliği ve yaygın kullanımı ile daha öne çıktığını belirtmiş ve eğer bir şartlandırıcının çamurun susuzlaşabilirliği üstüne etkisi ölçülüyorsa her iki metodun da kullanılabileceğini vurgulamıştır.

Yukarıda sayılan tayin yöntemlerine ek olarak bazı susuzlaştırma prosesleri için özel olarak geliştirilmiş tayin metodları da vardır. Aşağıda bu tip tayin metodlarından santrifüjler için geliştirilmiş olan bazı tayin metodları verilmiştir.

#### **4.5.4 Laboratuvar Ölçekli Santrifüj Testi**

Bu test laboratuvar ortamında santrifüj hızının, bekleme süresinin, kimyasalların ve dozajlarının kek konsantrasyonu üstündeki etkisini belirleme de kullanılmaktadır.

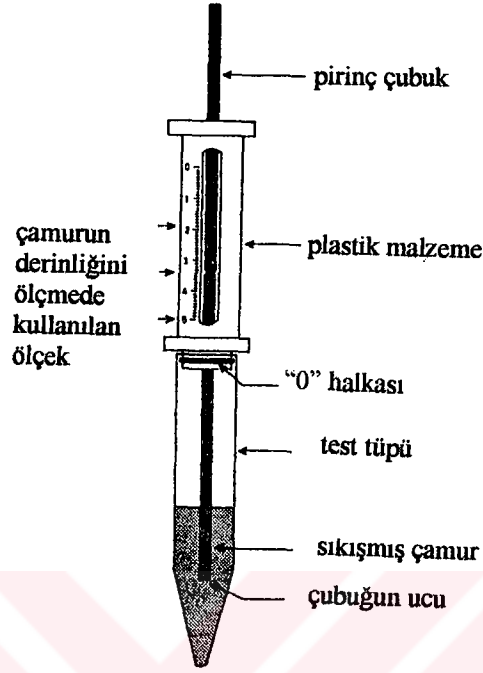
Test farklı dozlarda şartlandırılmış çamurların farklı G kuvvetlerinde döndürülmesi ile gerçekleştirilmektedir. Dönme işleminden sonra, duru faz alınır ve hem duru fazdaki hem de kekteki katı konsantrasyonu belirlenir. Santrifüjün etkinliği katı iyileşme yüzdesi olarak ifade edilir ve  $[(C_o - C_c)/C_o] \times 100$  formülü ile hesaplanır. Burada;  $C_o$  besleme katı konsantrasyonunu,  $C_c$  ise duru faz katı konsantrasyonunu ifade etmektedir. (Bu hesaplama yönteminde kimyasal şartlandırıcıdan kaynaklanan ağırlık ve hacim ihmal edilmektedir.)

#### **4.5.5 Penetrometre Testi**

Her ne kadar Bench-scale test metodu katı madde gideriminde şartlandırıcıların etkinliğini gözlemlemede etkili bir yol olsa da, bu metodla oluşan çamur kekinin yoğunluğu ve sıklığı hakkında bir fikir elde edilemez. Bu parametreler çamurun sıyrılmasında ve santrifüjden etkin bir şekilde dışarı alınmasında önemlidirler.

Çamurun bir santrifüj ekipmanında başarılı bir şekilde susuzlaşabilmesi onun sıyrılabilme karakteristiğine bağlıdır. Çünkü çamurun koyuluğu, ne kadar direnci olduğu, dayanıklılığı önemli özelliklerdir. Düşük koyulukta hafif ve yumuşak bir çamur sıyrılamaz ve dolayısıyla duru faza karışır. Bu yüzden toplanan çamurun konsantrasyonunun yanında koyuluğununda belirlenmesi çok önemlidir. (Vesilind 1970)

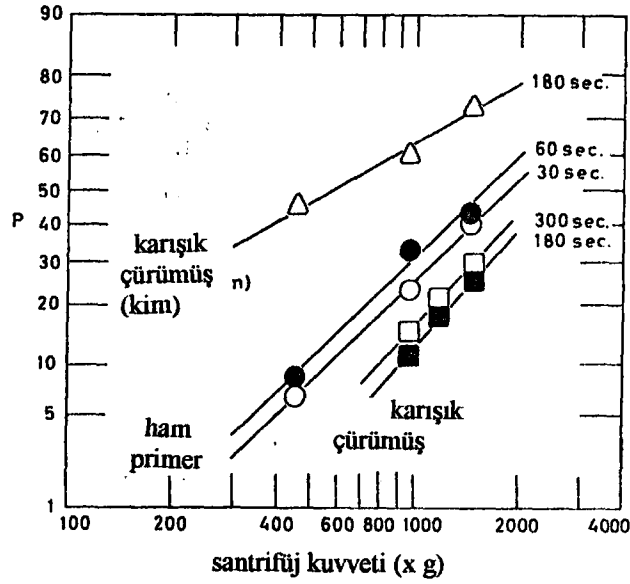
Çamurun koyuluğu Şekil 4.5'te gösterilen penetrometre aleti kullanılarak ölçülebilir. Alette 3,0mm çapında, 13,4 gr ağırlığında cilalı pirinçten yapılmış bir çubuk bulunmaktadır. Pirinç çubuğun ucu kare şeklindedir. Hem çubuğu dik tutmak hem de penetrasyon derinliğini ölçmek için kullanılan ölçek bir plastik destek sayesinde sağlanmaktadır.



Şekil 4.7 : Penetrometre Aleti (Vesilind, 1978)

Çamur numunesi santrifüjlendikten sonra duru faz alınır. Plastik destek santrifüj tüpünün ağzına yerleştirilir ve pirinç çubuk santrifüj tüpündeki çamurun yüzeyine kadar indirilir ve bu noktadaki yükseklik ölçülür. Daha sonra çubuk çamur içine o noktadan bırakılır ve son yükseklik ölçülür. Penetrasyon değeri penetre olmayan çamurun yüzdesi olarak hesaplanır ve P ile ifade edilir.

Örneğin aktif çamurun sıyrılması hafif ve yumuşak karakteri yüzünden oldukça güçtür. Buna bağlı olarak penetrasyona hiç direnç göstermez ve P değeri neredeyse sıfırdır. (çubuğun hemen hemen tamamı çamura batır) Ancak ham çamur çok kolay sıyrılır, penetrasyona direnç gösterir ve yüksek P değerlerine sahiptir. (Şekil 4.6)

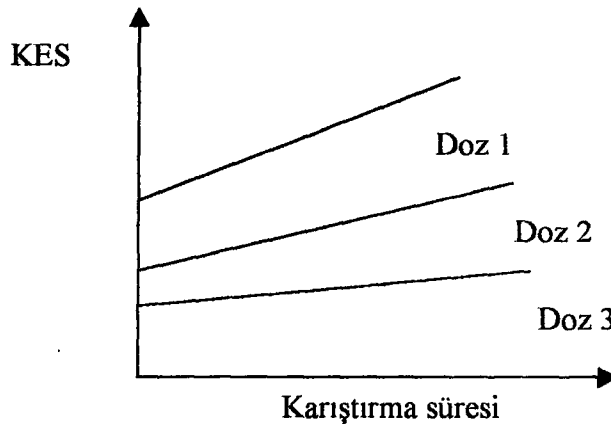


Şekil 4.8 : Farklı Çamurlar İçin Penetrasyon Değerleri (Vesilind, 1978)

#### 4.5.6 Flok Dayanıklılığı Testi

Flok dayanıklılığı tayini için günümüzde tüm Avrupa su kirliliği kontrolü merkezlerince ve laboratuvarlarınca kabul edilen standart tayin metodunu İngiltere Su Araştırmaları Merkezi geliştirmiştir. (Vesilind, 1974)

Deney sırasında 250 ml'lik behere 100 ml çamur ve 20 ml polimer konmakta ve karışım 10 saniye standart karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra KES aletinde ölçüm yapılmaktadır. Daha sonra karışım daha uzun zaman aralıklarıyla karıştırılmaya ve bu aralıklara tekabül eden KES değerleri ölçülmeye devam edilmektedir. Deney sonunda elde edilen KES değerleri toplam karıştırma süresine karşı işaretlenir.



Karıştırma ile KES değerlerinde bariz bir artış gözlenen çamurlar muhtemelen santrifüjde sorun çıkaracaklardır çünkü floklar santrifüjleme esnasında parçalanacaklardır.

#### **4.5.7 Strobe Test Metodu**

Çamur floklarının çökme hızları, çamurun çökelme ve susuzlaşma kabiliyetinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Bu test metodunda bir Bench-scale deney düzeneği, test tüpünü yatay tutmaya yarayan transparan bir tutucu ve bir strobe ışık düzeneği kullanılarak flokların çökme hızı tespit edilmektedir.

Deney esnasında çamur üstü dereceli ve düz tabanlı santrifüj tüplerine konur ve santrifüjlenir. Santrifüjleme esnasında, dönme hızına paralel olarak strobe ışık düzeneği de ayarlanır ve ışığın flaş gibi ard arda çakmasıyla sanki tüpün sabitmiş gibi gözüktüğü bir sanal ortam yaratılarak katıların hareketi gözlenmeye çalışılır.

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 5.1 Deney Malzemeleri

Bu çalışmada Ataköy Atıksu Arıtma Tesisi anaerobik çamur çürütücüsünden alınan çürümüş çamur numuneleri kullanılmıştır. Tesis yüksek hızlı damlatmalı filtre sistemi olarak işletilen bir tesistir. Tesisin kapasitesi yaklaşık 45,000 eşdeğer nüfusa göre tasarlanmıştır. Tesise ait tasarım debileri Tablo 5.1’de, tesise ait boyutlandırma kriterleri Tablo 5.2’de, tesiste bulunan çürütme tankının tasarım parametreleri Tablo 5.3’te verilmiştir. (YPM, 1996; Sel, 1999)

**Tablo 5.1 Ataköy Arıtma Tesisi tasarım debileri**

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| Proje debisi (m <sup>3</sup> /saat)  | 550 |
| Maksimum debi (m <sup>3</sup> /saat) | 638 |
| Minimum debi (m <sup>3</sup> /saat)  | 207 |
| Ortalama debi (m <sup>3</sup> /saat) | 318 |

**Tablo 5.2 Ataköy Arıtma Tesisi Boyutlandırma Kriterleri**

| Parametre                                             | Ön Çöktürme Havuzu | Damlatmalı filtre | Son çöktürme havuzu |
|-------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| Bekletme süresi, saat                                 | 3                  | -                 | 3                   |
| Havuz Hacmi, m <sup>3</sup>                           | 969                | -                 | 969                 |
| Havuz Derinliği, m                                    | 2.65               | -                 | 2.65                |
| Yüzeysel yük, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /saat    | 0.9                | 1.01              | 0.9                 |
| Organik yük, kg BOİ <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> /gün | -                  | 1.75              | -                   |
| Hacimsel yük, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /saat    | 1.03               | 1.03              | -                   |

**Tablo 5.3 Ataköy Arıtma Tesisi Çürütme Tankı Tasarım Parametreleri**

| <b>Parametre</b>        | <b>Değer</b>                                  |
|-------------------------|-----------------------------------------------|
| Reaktör Hacmi           | 1786 m <sup>3</sup>                           |
| Çamur debisi            | 125 m <sup>3</sup> /gün                       |
| Hidrolik Bekleme Süresi | 14.3 gün                                      |
| Sıcaklık                | 20 °C                                         |
| pH                      | 6.65-7.05 (Ort 6.89)                          |
| Uçucu Katı Madde Yüğü   | 2.06 kg UKM/m <sup>3</sup> /gün               |
| BOİ <sub>5</sub> Yüğü   | 2.87 kg BOİ <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> /gün |

Ataköy arıtma tesisinde çürütme tankına alınan çamur, alt kısmının TKM konsantrasyonu yaklaşık 30 000 mg/l't'i geçtiği tespit edilince çürütme prosesinin yeterince ilerlediği kabul edilerek çürütme sonrası kademeye geçilmektedir. Bu kademede çürütme tankı mekanik karıştırıcılarla yaklaşık 4 saat boyunca karıştırılarak, uniform bir yapıya kavuşması sağlanır. Bu süre sonunda karıştırma işlemi durdurulur ve çamurun 3 saat boyunca yerçekimi etkisiyle çökerek yoğunlaşması sağlanır. Bu şekilde alt kısımda yoğun çamur fazı, üst kısımda da nispeten duru olan su fazı oluşur. Yoğunlaşmış çamur pompa vasıtasıyla susuzlaştırma ünitesine (belt filtre prese) verilir.

## **5.2 Deney Yöntemleri**

Yapılan deneysel çalışma süresi boyunca bir kaç kez, farklı zamanlarda, Ataköy Arıtma Tesisine gidilerek çamur numunesi getirilmiştir. Getirilen çamurların birbirine yakın hatta aynı özellikleri taşıması yapılan çalışmanın sağlıklılığı açısından önemlidir.

Farklı zamanlarda getirilmiş ham (şartlandırılmamış) çürütücü çıkışı çamur numuneleri üzerinde yapılan deneylerde elde edilen çamur özellikleri Tablo 5.4'te verilmiştir.

**Tablo 5.4 Ham Çürümüş Çamur Özellikleri**

| Parametre               | Değer         |
|-------------------------|---------------|
| Toplam Katı Madde, mg/L | 40.000        |
| Uçucu Katı madde, mg/L  | 28.000-32.500 |
| Kapiler Emme Süresi, sn | 475-535       |
| Filtre Süresi, sn       | 3300-3617     |
| pH                      | 7.3-7.8       |

Çalışmalar esnasında uzun süre bekletilecek ham çamurlara %0.1 formaldehit ilave edilmiş ve 4°C sıcaklıkta muhafaza edilmişlerdir. Deneysel çalışmalar esnasında sıcaklık farkından ortaya çıkabilecek farklılıkları gidermek için tüm çalışmalar çamur oda sıcaklığına (yaklaşık 20 °C) getirildikten sonra gerçekleştirilmiştir. Ataköy Arıtma Tesisinden numuneler farklı zamanlarda alındığından aynı konsantrasyonda çamur elde etmek çok zor olmuştur. Bu sebeple mümkün olduğunca aynı özelliklerdeki çamurlarla çalışmak amacıyla arıtma tesisinden alınan çamur örnekleri laboratuvar şartlarında çöktürülerek katı madde konsantrasyonları sabit bir değere getirilerek (%4) çalışmalar yürütülmüştür.

Sel (1999), Ataköy Arıtma Tesisinden alınmış çürümüş çamurlarla yaptığı çalışmada birden fazla polielektroliti test etmiş ve şartlandırma işlemlerinde kullanılabilecek en iyi polielektrolitler olarak Praestol 630 BC ve Cytec C-250 markalı orta kuvvetli katyonik polielektrolitleri tespit etmiştir. Buradan hareketle çamurun şartlandırılması için Cytec C-250 marka orta kuvvetli katyonik polimer kullanılmıştır.

Polimer dozları olarak 1,3,5,7 mg PE/gr katı madde seçilmiş ve %0,1'lik polimer çözeltisi günlük hazırlanarak uygulanmıştır. Şartlandırma işlemi 50, 75, 100, 150, 250, 500, 1000 rpm'de 500 ml çamur numunelerinin karıştırıcı yardımı ile sırasıyla 30 san, 1 dak, 3 dak, 5 dak ve 7 dak karıştırılması suretiyle gerçekleştirilmiştir.

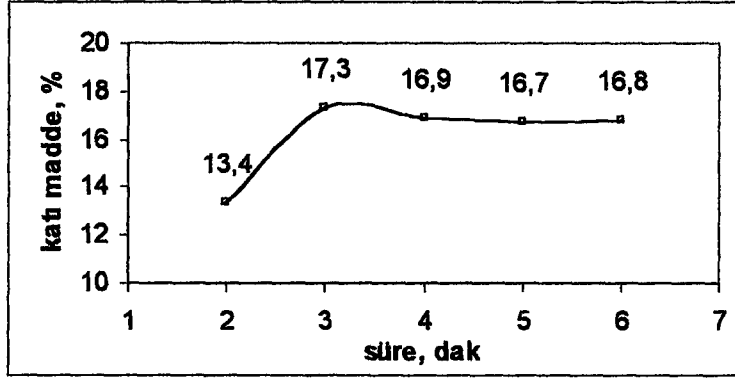
Karıştırma işlemi için Janke-Kunkel firmasının Rm 460 tipi karıştırıcısı

Şartlandırma işleminden sonra şartlanmış çamurun bir kısmı, ucu kırık pipetler yardımı ile küçük tüplere alınarak KES deneyine geçilmiştir. KES deneyleri Triton Elektronik şirketinin geliştirdiği KES aleti kullanılmıştır. Deneyler Whatman No:17 filtre kağıdı ile gerçekleştirilmiştir.(Standard Methods, 1992) Her bir doz için KES tayini en az 3 kez tekrarlanmış ve ortalama değeri değerlendirmeye alınmıştır.

KES deneyi gerçekleştirilirken bekleme süresinin artmasından doğabilecek farklılıkları en aza indirmek için aynı anda FS deneyi de yapılmıştır. FS deneyi, şartlandırılmış çamurdan 200 ml alınarak Buchner Hunisi deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında Whatman No:2 filtre kağıdı(Standard Methods, 1992) kullanılmış ve deneyler sırasında karşılaşılan vakum sonucu filtre kağıdının yırtılması probleminin ortadan kaldırılması için porselen malzeme ile filtre kağıdı arasına deney sonuçlarına bir etkisi bulunmayan geçirgen plastik bir malzeme konulmuştur. (Dentel ve arkadaşları, 1988) Her bir doz için filtre süresi deneyi 2 kez tekrarlanmış ve elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır.

Daha sonra KES ve FS ölçülmüş çamurlardan santrifüj tüplerine örnekler alınarak SED firmasının SED 20R tipi santrifüjünde işleme tabi tutulmuşlardır. Santrifüjün hızı, tesis çalışma şartlarına uygun olması amacıyla 3000 rpm olarak seçilmiştir.(Dewatering Biosolids) Sonuçları Şekil 5.1’de görülen bir ön çalışmayla da en uygun santrifüjleme süresi 3 dakika olarak belirlenmiştir. Ön çalışma sırasında çamur örnekleri aynı polimer dozuyla şartlandırılmış, fakat farklı sürelerde santrifüjlenerek en yüksek katı madde yüzdesi elde edilen santrifüjleme süresi en uygun süre olarak seçilmiştir. Santrifüj sonrası oluşan duru faz santrifüj tüpleri 45°’lik açı ile tutularak alınmış ve bulanıklığı HACH 2100A model türbidimetre ile ölçülmüştür. Katı faz ise etüvde 105 °C’de kurutularak katı konsantrasyonu tespit edilmiştir.

Deneysel çalışma sonucu 4 farklı değere ulaşılmıştır. Bunlar şartlandırılmış çamur KES değerleri, şartlandırılmış çamur FS değerleri, santrifüjlenmiş çamur duru faz bulanıklık değerleri ve santrifüjlenmiş çamur keki katı madde oranı değerleridir.



**Şekil 5.1** Uygun santrifüj süresini belirleme için yapılan ön çalışma sonuçları

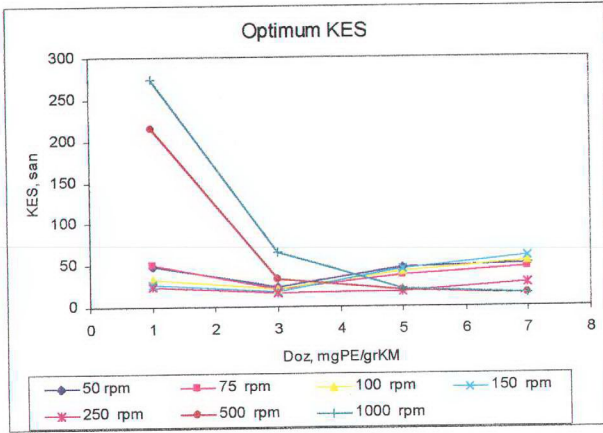
Çalışma kapsamında öncelikle bu değerlerden KES ve FS değerleri birbirleriyle karşılaştırılarak aralarında bir korelasyon olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

İkinci adımda, bu tayin yöntemlerinin değerleri santrifüjleme sonucu elde edilen değerlerle karşılaştırılarak, onların santrifüjleme sistemleri için optimum şartları belirlemede sağlıklı olarak kullanılıp kullanılamayacaklarını belirlemeye çalışılmıştır.

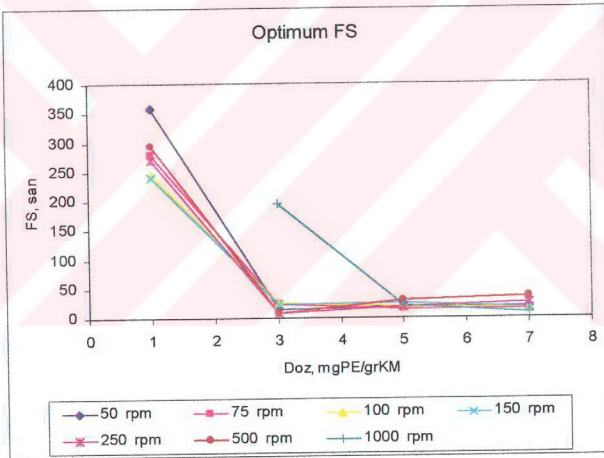
### 5.3 Deneysel Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmalar sonrasında 7 farklı karıştırma hızı, 4 farklı polielektrolit dozu ve 5 farklı karıştırma süresi kullanılarak 140 farklı sonuç elde edilmiştir. Tüm bu sonuçları aynı grafik üzerinde görmek oldukça zordur. Bu nedenle KES ve FS deneyleri için optimum çalışma şartlarının görülebilmesi açısından her bir hızda elde edilen minimum KES değerleri Şekil 5.2’de, minimum FS değerleri ise Şekil 5.3’te verilmiştir.

Şekil 5.2 incelendiğinde 500 ve 1000 rpm hariç diğer tüm hızlar için optimum dozun 3mgPE/grkatı madde olduğu görülmektedir. Artan karıştırma şiddetiyle gerekli olan polimer ihtiyacının arttığını ve yüksek hızlarda optimum dozun arttığını ve 7 mgPE/gr katı maddeye çıktığını görmekteyiz.



Şekil 5.2 : KES-polimer doz Grafiği

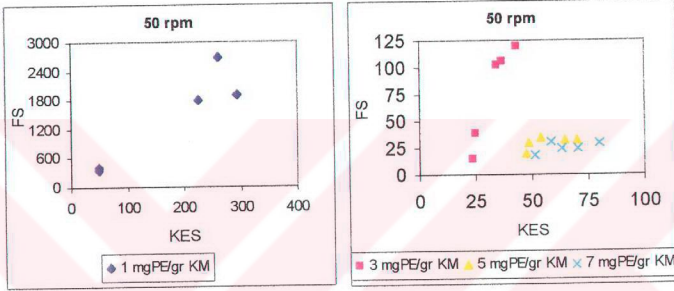


Şekil 5.3 : FS-polimer doz Grafiği

Şekil 5.3'te de optimum doz olarak 3 mgPE/gr katı madde görülmektedir. Yalnız 1000 rpm için optimum doz 7 mgPE/gr katı madde olarak tespit edilmiştir. Her iki grafik incelendiğinde KES değerlerinin azalma trendi gösterdiği aralıkta FS değerlerinin de azaldığı, KES'in arttığı hallerde FS'nin de arttığı görülebilmektedir. Ancak sadece bu iki grafiğe dayanılarak bu iki parametre arasındaki ilişkinin belirlenmesi yetersiz ve sağlıklı olacaktır.

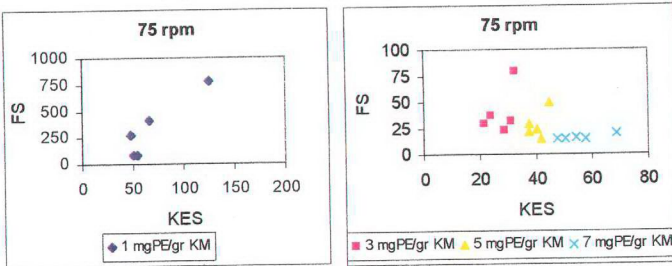
### 5.3.1 KES ve Filtre Süresi Arasındaki İlişki

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ilk olarak KES ile FS arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu amaçla elde edilen KES değerlerine karşılık elde edilen FS değerlerinin işlendiği grafikler aşağıda verilmiştir. Aynı karışıma şartlarında fakat farklı kimyasal dozlarında elde edilen sonuçların bazı durumlarda birbirinden çok farklılık göstermesi bu sonuçların hepsinin aynı grafik üstünde gösterilmesini zorlaştırmıştır. Bu sebeple, her çalışma şartında elde edilen değişimin açık bir şekilde görülebilmesi için birbirinden çok farklı değerler ayrı grafiklerde verilmiştir.



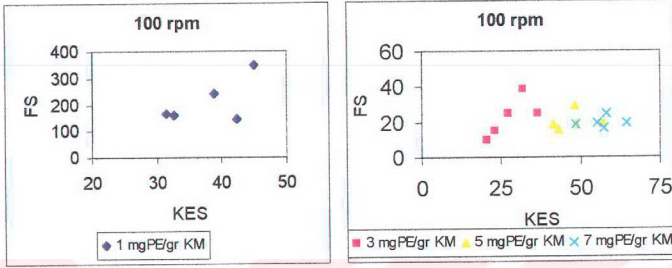
Şekil 5.4 : 50 rpm'de KES ile FS ilişkisi

50 rpm'de (Şekil 5.4) elde edilen sonuçlar susuzlaşabilirlik açısından zayıf sonuçlardır ancak genel hatlarıyla bakıldığında KES ile FS arasındaki değişimin birbirine yakın özellikler gösterdiği, KES arttıkça FS'inde arttığı söylenebilir. Özellikle düşük dozlarda bu ilişki daha net gözlenmekte, yüksek dozlara gelindikçe bu özellik biraz zayıflamaktadır.



Şekil 5.5 : 75 rpm'de KES ile FS ilişkisi

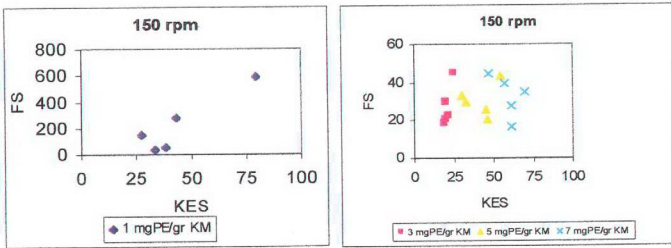
75 rpm'de (Şekil 5.5) karışım şartlarının daha iyileşmesiyle susuzlaşma özelliklerinde de bir iyileşme gözlenmeye başlanmıştır. Bu iyileşmeyle birlikte 50 rpm'de yalnızca 1 ve 3 mgPE/gr katı madde polielektrolit dozlarında görülen KES ile FS ilişkisi 75 rpm'de 5 mgPE/gr katı madde dozajı içinde rahatlıkla görülebilmektedir.



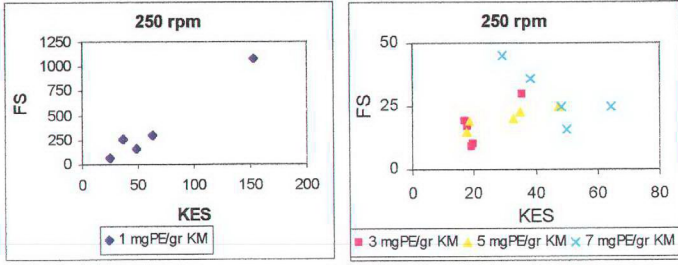
Şekil 5.6 : 100 rpm'de KES ile FS ilişkisi

100 rpm'de (Şekil 5.6) elde edilen deneysel sonuçlara bakılarak tüm dozlarda, ama derecesi farklı olmakla beraber, KES değerinin arttıkça FS değerinin de arttığı söylenebilir. Karışım hızı arttıkça gözlenen bu iyileşme karışım şartlarının iyileşmesine bağlanabilir. Karışım şartları iyileştikçe oluşan yumaklar daha iri ve kuvvetli olmakta ve dirençleri artmaktadır.

150 ve 250 rpm (Şekil 5.7 ve 5.8) değerlerine bakıldığında özellikle 7 mgPE/grKM ve zaman zaman diğer dozlardan elde edilen sonuçlarda bir dağınıklık gözlenmektedir ki bu da iki parametre arasındaki ilişkinin görülmesini zorlaştıran bir durumdur.

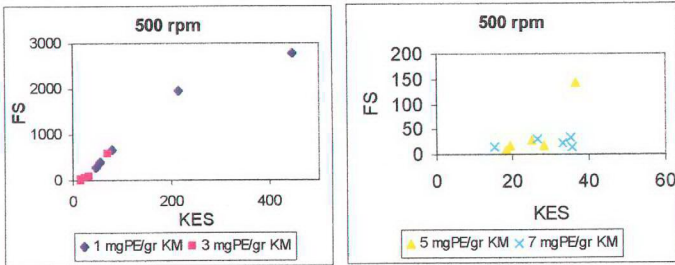


Şekil 5.7 : 150 rpm'de KES ile FS ilişkisi

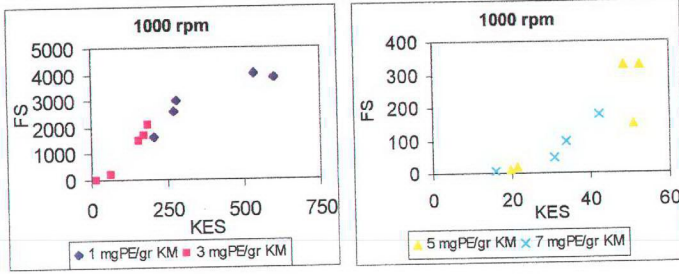


**Şekil 5.8 : 250 rpm'de KES ile FS ilişkisi**

Her iki hızda da karşılaşılan bu durum KES ölçümlerinde karşılaşılan zorluklara dayandırılabilir. Şöyle ki, bu hızlarda meydana gelen yumakların çok iri olması, onların homojen bir biçimde 7 ml'lik KES aletinin haznesine alınmasını zorlaştırmaktadır. Bu durumda alınabilen küçük yumaklar tam olarak ortamın özelliklerini yansıtmamaktadır. Öbür taraftan, FS deneyi için alınan 200 ml numunede böyle bir sorunla karşılaşılması zordur. 500 rpm'de (Şekil 5.9) elde edilen sonuçlara bakıldığında daha önce elde edilen sonuçların aksine susuzlaştırma prosesi için en uygun polimer dozunun 3 mgPE/gr katı madde'den 5 mgPE/gr katı madde'ye çıktığı görülmektedir. Bunun sebebi olarak yüksek hızda parçalanarak katıların ortamda fazla olarak bulunan polimerlerle tekrar reaksiyona girmesi gösterilebilir. Bu gelişim sonucu boyutça küçülen yumakların daha rahat alınabilmesi daha sağlıklı KES ölçümlerinin yapılmasını sağlamıştır. Deney sonuçlarına da bakıldığında KES ile FS arasındaki ilişkinin bu hızda yavaş yavaş tekrar gözlenebilmektedir.

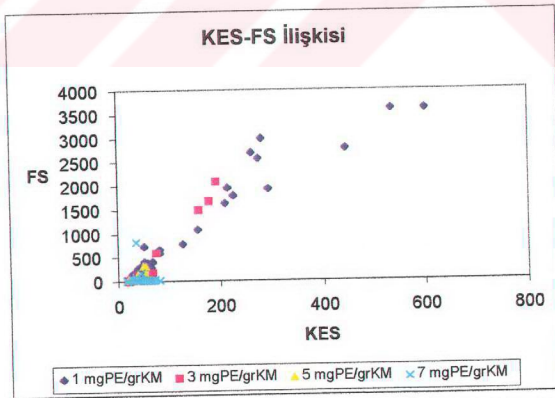


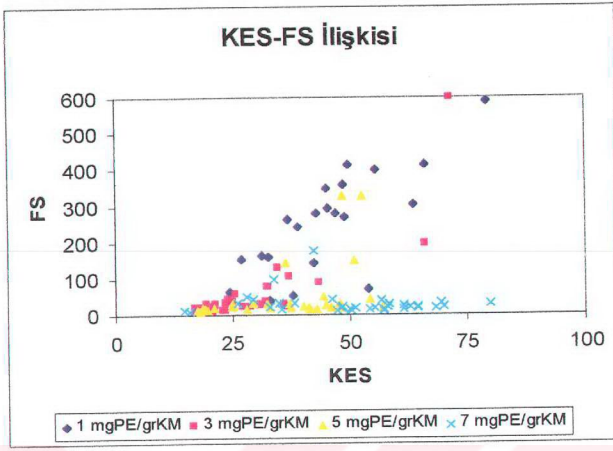
**Şekil 5.9 : 500 rpm'de KES ile FS ilişkisi**



1000 rpm'de (Şekil 5.10) elde edilen sonuçlarda susuzlaşma özelliğinin oldukça kötüleştiği görülmektedir. Bununla beraber KES ile FS arasındaki ilişki tüm polimer dozlarında daha belirgin bir biçimde görülmektedir.

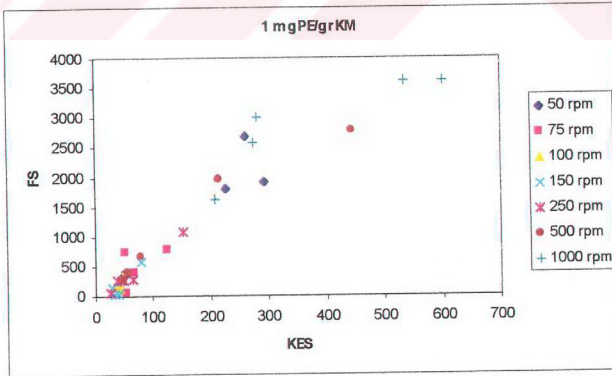
Tüm şekiller bir bütün olarak değerlendirildiğinde düşük dozlarda (1 ve 3 mgPE/gr katı madde) KES ile FS arasında belirgin bir korelasyon olduğu ancak bu korelasyonun doz arttıkça zayıfladığı söylemek mümkündür. Yüksek ve düşük dozlar arasındaki bu fark, elde edilen tüm deney sonuçlarının gösterdiği Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de görülebilmektedir. Burada Şekil 5.12'nin Şekil 5.10'un yığılma olan kısmının açık gösterimi olduğuna dikkat edilmelidir. Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'nin incelenmesinde deney sonuçlarının iki değişik dağılım gösterdiği görülmektedir.



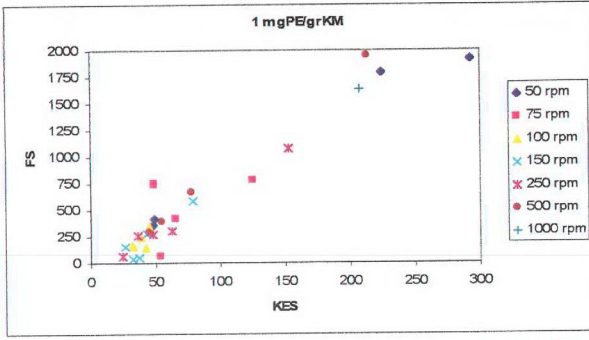


Şekil 5.12 : “KES <100 - FS<600” Aralığındaki Deney Sonuçları

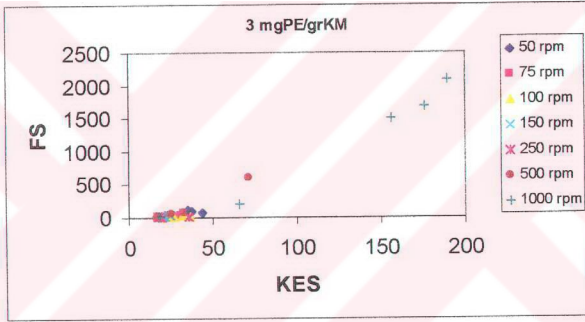
Bu iki dağılım, özellikle düşük dozlarda görülen ve KES ile FS arasında lineere yakın bir ilişki ortaya koyan dağılım ve yüksek dozlarda görülen, KES değerlerinin arttığı fakat buna karşılık FS değerlerinin sabite yakın kaldığı ikinci dağılım olarak tarif edilebilir. Dozlara bağlı olarak KES ile FS arasındaki ilişkinin değişimi aşağıda verilen şekillerde görebilmektedir. Burada bazı deney sonuçlarının daha rahat görülebilmesi açısından iç içe olan değerler ayrı bir şekilde gösterilmişlerdir.



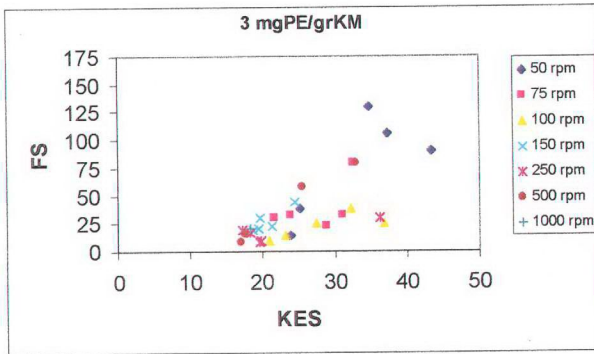
Şekil 5.13 : 1 mgPE/gr katı madde dozajında Genel KES-FS ilişkisi



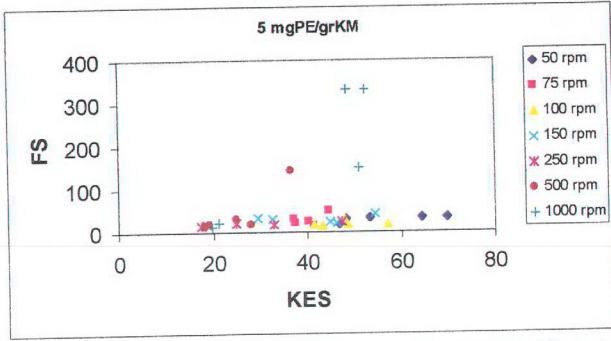
Şekil 5.14 : 1 mgPE/gr katı madde dozajında “KES<300-FS<2000” Aralığındaki Deney Sonuçları



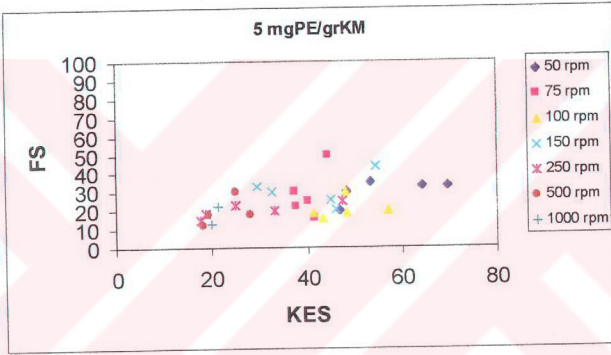
Şekil 5.15 : 3 mgPE/gr katı madde dozajında Genel KES-FS İlişkisi



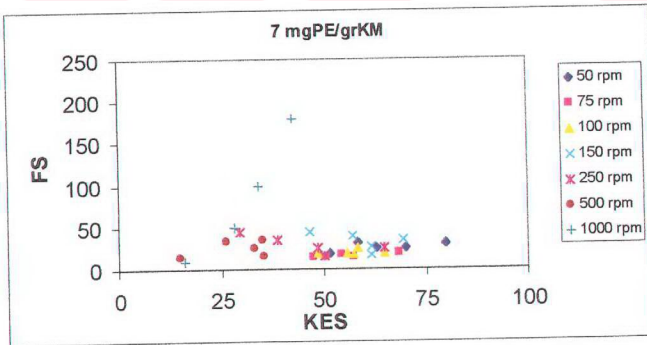
Şekil 5.16 : 3 mgPE/gr katı madde dozajında “KES<50-FS<175” Aralığındaki Deney Sonuçları



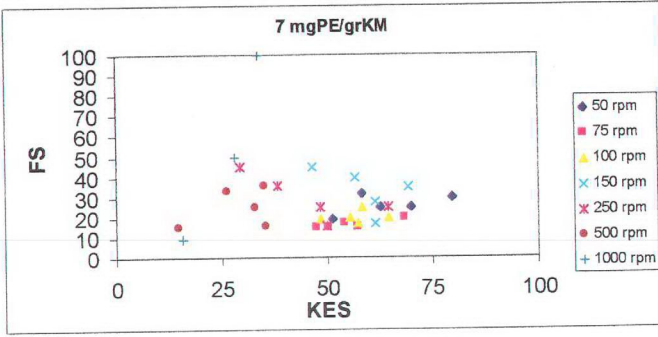
Şekil 5.17 : 5 mgPE/gr katı madde dozajında Genel KES-FS İlişkisi



Şekil 5.18 : 5 mgPE/gr katı madde dozajında “KES<80-FS<100” Aralığındaki Deney Sonuçları



Şekil 5.19 : 7 mgPE/gr katı madde dozajında Genel KES-FS İlişkisi



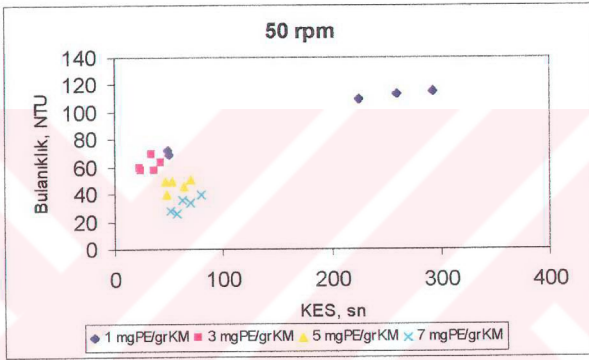
**Şekil 5.20** : 7 mgPE/gr katı madde dozajında “KES<100-FS<100” Aralığındaki Deney Sonuçları

Yukarıda verilen şekiller incelendiğinde 1 mgPE/gr katı madde dozajında KES’in arttıkça FS değerinin de arttığı, hatta aralarında lineere yakın bir ilişki olduğu söylenebilir. Fakat dozaj arttıkça bu ilişki kötüleşmekte, hatta 7 mgPE/gr katı madde dozunda negatif bir ilişkiye geçmekte, yani KES arttıkça FS değerinin düştüğü bir durum karşımıza çıkmaktadır.

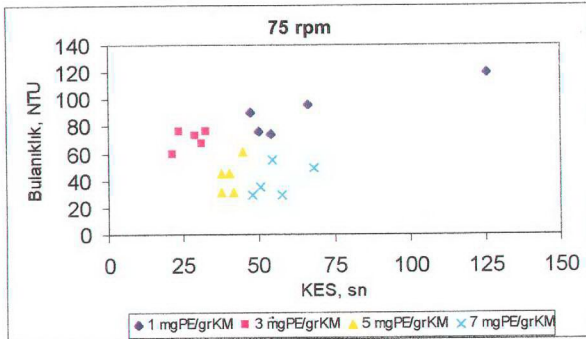
Bu noktada KES değerinin artma sebebini aşırı dozlama sonucu artan viskozite ile açıklanabilir. Ancak viskozitenin artmasına karşılık FS değerlerinin artmamasının sebebi iki şekilde açıklanabilir. Bunlardan birincisi viskozite artışının hem FS hem de KES deneyinde filtrat süzülme hızını azalttığı, ancak FS deneyini sadece sıvı faz viskozitesindeki artışın etkilediği, buna karşılık KES’te bunun yanı sıra katı madde konsantrasyonu ve aletin kendisinde (filtre kağıdında) oluşan direncinde etkili olduğudur. (J.R.Christensen ve arkadaşları1995) Sıvı faz viskozitesinin arttığı yüksek dozlarda, süzülme hızının alet direnci tarafından kontrol edildiği ve KES alet direncinin viskozite artışına karşı daha hassas olması nedeniyle yüksek dozlarda KES’in FS’ye oranla daha yüksek olmasına yol açtığı düşünülmektedir. İkinci neden ise FS deneyinde etkili olan vakum kuvvetinin aşırı dozlama sonucu oluşan viskoziteden kaynaklanan direnci, KES deneyinde etkili olan gravite ve kapiler emme kuvvetlerine nazaran daha kolay yenebilmesidir. Ayrıca yüksek polimer dozlarında şartlandırılan çamurlarda iri yumakların oluşması, KES deneyi için alınan örneklerin homojen olmasını zorlaştırmakta, bu da deneysel hatalara yol açmaktadır.

### 5.3.2 KES ile Santrifüj Duru Fazı Bulanıklığı Arasındaki İlişki

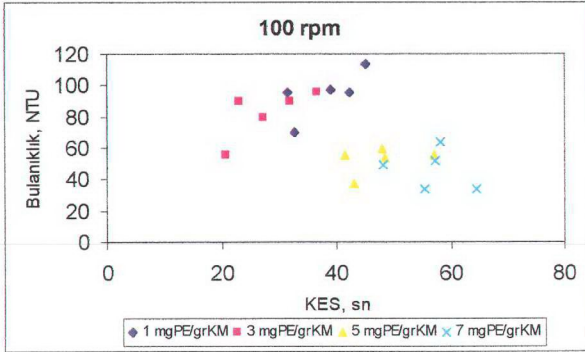
Yapılan deneysel çalışma sırasında KES değerleri ölçülen çamurlardan alınan numuneler santrifüjlenerek elde edilen duru fazın bulanıklığı ölçülmüş ve KES deney sonuçları ile bulanıklık değerleri karşılaştırılarak KES tayin yönteminin santrifüjlerin dur faz verimlerini tahmin etmede etkili bir test metodu olup olmadığı araştırılmaya çalışılmıştır. Her bir karıştırma hızı için elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



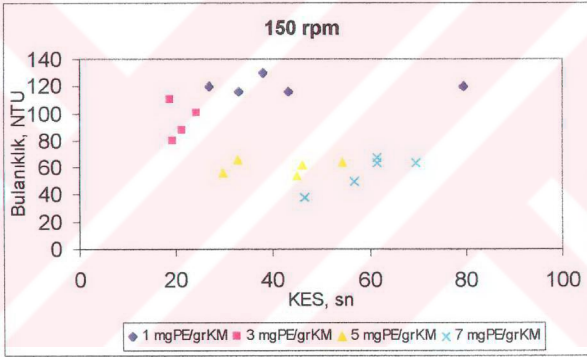
Şekil 5.21 : 50 rpm’de KES ile Bulanıklık Arasındaki İlişki



Şekil 5.22 : 75 rpm’de KES ile Bulanıklık Arasındaki İlişki

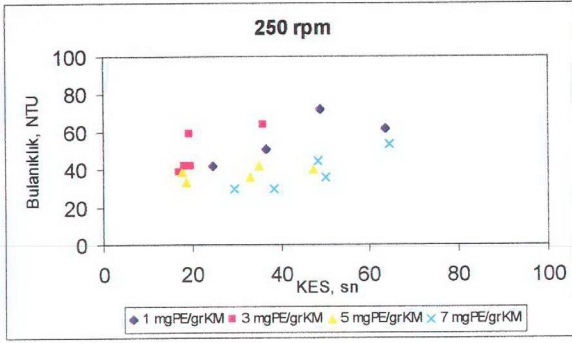


Şekil 5.23 : 100 rpm’de KES ile Bulanıklık Arasındaki İlişki

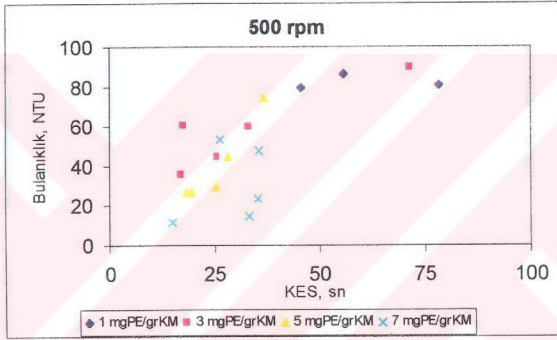


Şekil 5.24 : 150 rpm’de KES ile Bulanıklık Arasındaki İlişki

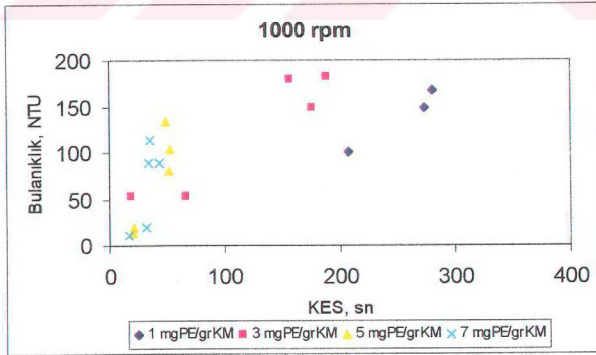
Yukarıdaki grafikler incelendiğinde görülmektedir ki minimum KES değerini veren dozlar ile minimum bulanıklık değerlerini veren dozlar birbirinden farklıdır. En iyi KES değerini 3 mgPE/gr katı madde dozajı verirken, başka bir değişle KES’e göre optimum çalışma şartı 3 mgPE/gr katı madde ilavesi iken, en iyi bulanıklık değerlerini 5 ve 7 mgPE/gr katı madde dozlar vermektedir. Bu durumu, düşük dozlarda oluşan yumakların santrifüj ortamında parçalanması sonucu bulanıklığın artması olarak açıklayabiliriz. Kırılan yumakların ortamda bulunan fazla polimerlerle tekrar ama daha sağlam bir yapı oluşturması da yüksek dozlarda bulanıklığın düşük çıkmasının nedeni olarak söylenebilir.



Şekil 5.25 : 250 rpm’de KES ile Bulanıklık Arasındaki İlişki

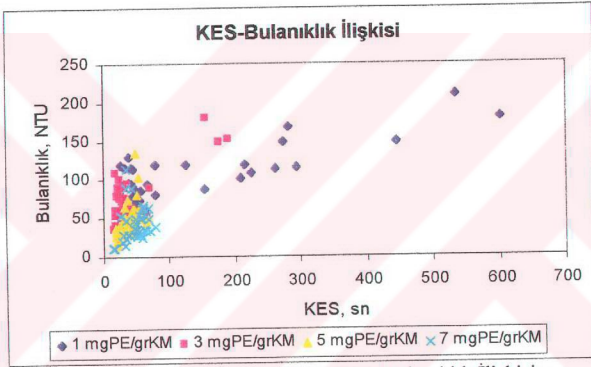


Şekil 5.26 : 500 rpm’de KES ile Bulanıklık Arasındaki İlişki

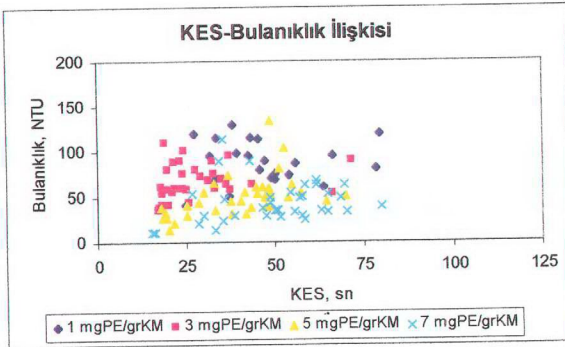


Şekil 5.27 : 1000 rpm’de KES ile Bulanıklık Arasındaki İlişki

Şartlandırmada karışım hızının artırılmasıyla, KES ile santrifüjlemeden elde edilen duru fazın bulanıklığı arasındaki ilişkide düşük hızlara göre bir değişiklik gözlenmektedir. Bu değişiklik artan karışım hızıyla birlikte en düşük bulanıklık değerini veren dozların aynı zamanda en düşük KES değerlerini de vermeye başlamasıdır. Bunun sebebi ise yüksek karışım şartlarında bir yumağın santrifüj içinde karşılaşması muhtemel kuvvetlerle şartlandırma esnasında karşılaşmasıdır. Böylece düşük hızlarda santrifüj içinde gerçekleşen parçalanmış yumakların tekrar stabilize olma prosesi şartlandırma esnasında gerçekleşmekte, böylece hem düşük KES değerleri hem de düşük bulanıklık değerleri yüksek dozlarda elde edilmektedir. Elde edilen deneysel sonuçlar bir bütün olarak Şekil 5.28’de verilmiştir. Şekil 5.29 Şekil 5.28’de görülen sıkışık bölgenin açıklımıdır.



Şekil 5.28 : Tüm sonuçlarla KES-Bulanıklık ilişkisi

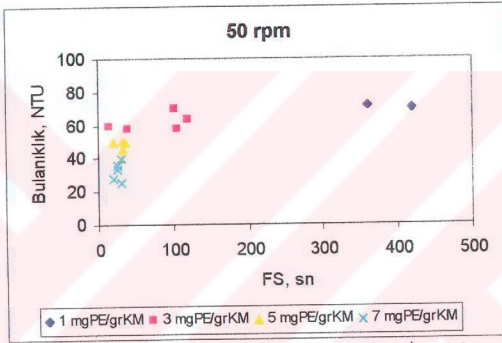


Şekil 5.29 : “KES<125-Bulanıklık<200” Değer Aralığında KES ile Bulanıklık ilişkisi

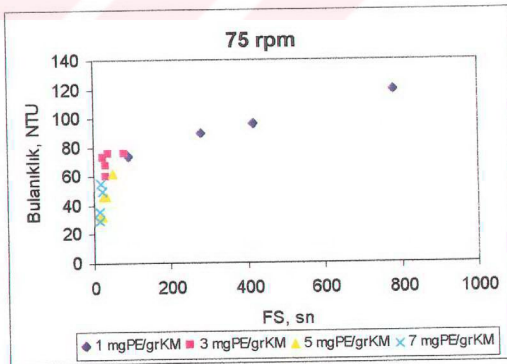
Şekil 5.28 ve Şekil 5.29 incelendiğinde KES değerinin artmasıyla bulanıklık değerlerinin de bir artış trendi izlediği söylenebilir. Özellikle düşük dozlarda ve yüksek karışım hızlarında (Şekil 5.25 – Şekil 5.27) bu trend lineere yakın bir yol izlemektedir. Diğer bir değişle viskozitenin KES üzerinde etkili olmadığı durumlarda KES ile bulanıklık arasında yakın bir ilişki olduğu söylenebilir.

### 5.3.3 Filtre Süresi ile Santrifüj Duru Fazı Bulanıklığı Arasındaki İlişki

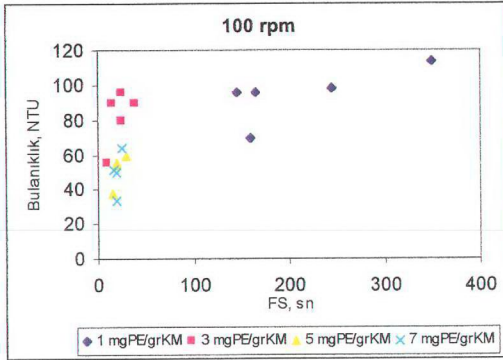
Yapılan çalışma esnasında KES'in yanı sıra FS deneyinin de santrifüjleme sonrası elde edilen duru fazın bulanıklığı ile olan ilişkisi incelenmiştir. Her bir karıştırma hızı için elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 5.30 : 50 rpm'de FS ile Bulanıklık İlişkisi

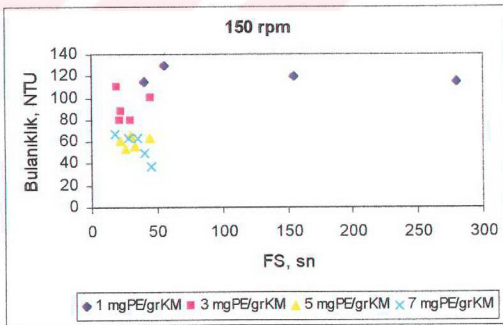


Şekil 5.31 : 75 rpm'de FS ile Bulanıklık İlişkisi

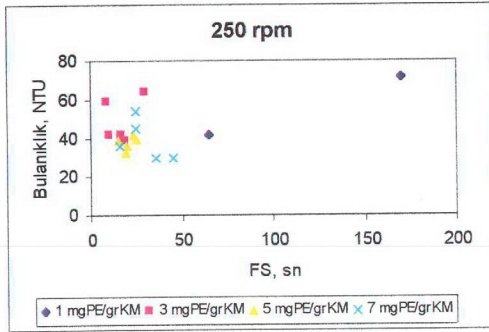


**Şekil 5.32** : 100 rpm’de FS ile Bulanıklık İlişkisi

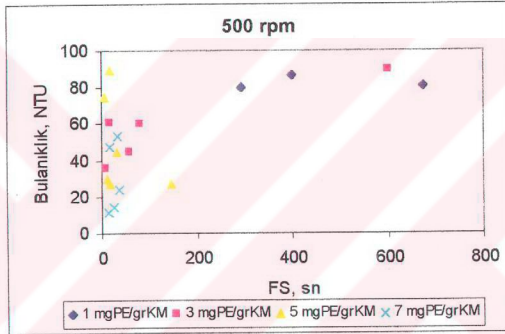
Yavaş karıştırma hızlarında elde edilen sonuçlar KES deneyinde elde edilen sonuçlara oldukça yakın görülmektedir. Burada da, yani FS deneyi ile elde edilen sonuçlarda da, en iyi bulanıklık değerlerini yüksek dozla çalışılan çalışma şartları vermektedir. Yalnız burada FS sonuçlarının KES sonuçlarından farklı yani, yüksek dozdaki FS değerlerinin düşük karışım şartlarında bile düşük dozlara yakın değerler vermesidir. Bunu sebebi olarak yüksek dozdan ötürü duru fazda meydana gelen viskozite artışına FS deneyinin KES deneyi kadar duyarlı olması gösterilebilir.



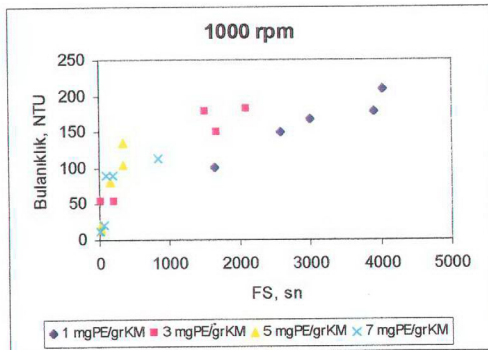
**Şekil 5.33** : 150 rpm’de FS ile Bulanıklık İlişkisi



Şekil 5.34 : 250 rpm’de FS ile Bulanıklık İlişkisi



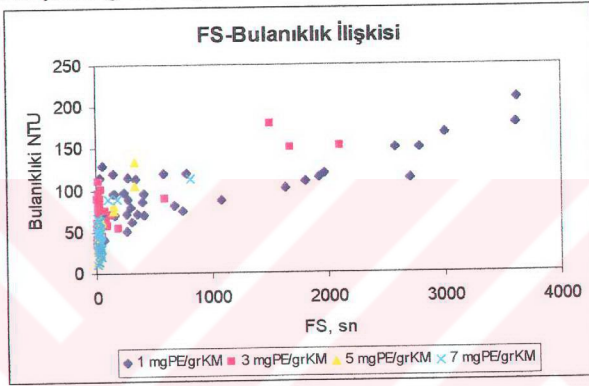
Şekil 5.35 : 500 rpm’de FS ile Bulanıklık İlişkisi



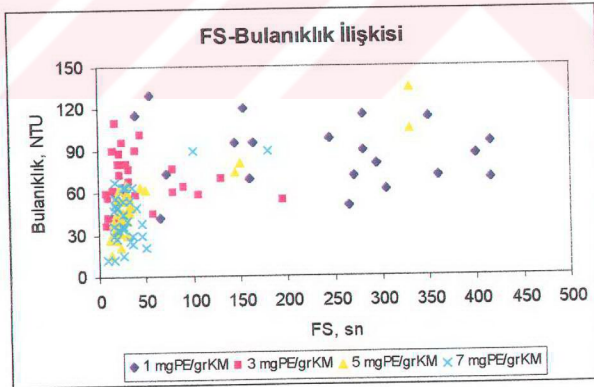
Şekil 5.36 : 1000 rpm’de FS ile Bulanıklık İlişkisi

Karışım hızının artırılmasına devam edildikçe görülmektedir ki yüksek dozlardaki bulanıklık ve FS değerleri düşmeye devam ederken, düşük dozlar bulanıklık değerleri açısından büyük sapmalar göstermektedirler. Bunun sebebi düşük polimer dozlarında oluşan yumakları yüksek karışım şartlarında parçalanması ve bir daha bir araya gelememesi olarak söylenebilir.

Elde edilen tüm deneysel sonuçlar kimyasal dozlara göre Şekil 5.37’de verilmiştir. Şekil 5.38’de ise Şekil 5.37’de seçilmesi güç olan, çok fazla datanın kümелendiği alan açık bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.37 : Filtre Süresi-Bulanıklık ilişkisi

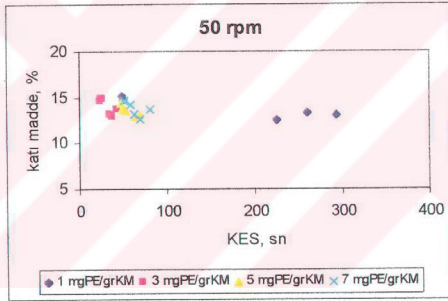


Şekil 5.38 : “FS<500-Bulanıklık<150” Aralığında FS-Bulanıklık ilişkisi

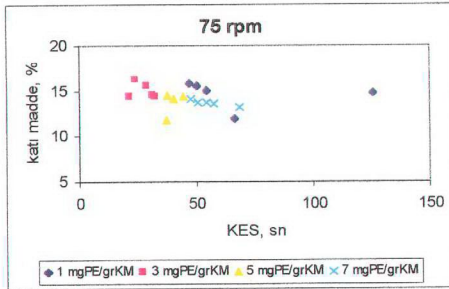
Şekil 5.37 incelendiğinde FS değerleri arttıkça bulanıklık değerlerinin de arttığı gözlenmektedir. Ancak bu trendi sağlayan değerlerin çoğu 1 mgPE/grKM dozuna ait. O doza ait değerler dikkate alınmazsa, geriye kalan dozların kendi başlarına bir kümeleşme oluşturdıkları görülmektedir. Her ne kadar bu kümeleşme içinden bir artış trendi yakalanabilse de bulanıklığın FS'den daha hızlı arttığı gözlenmektedir. Aynı FS değerlerinde, yüksek polimer dozlarında şartlandırılmış çamurun santrifüj duru fazı bulanıklığının daha düşük olması bu çamurların yumak dayanıklılıklarının santrifüj kuvvetleri ile parçalanamayacak derecede olmasına bağlanabilir.

#### 5.3.4 KES ile Santrifüjleme Sonrası Katı Madde Oranı Arasındaki İlişki

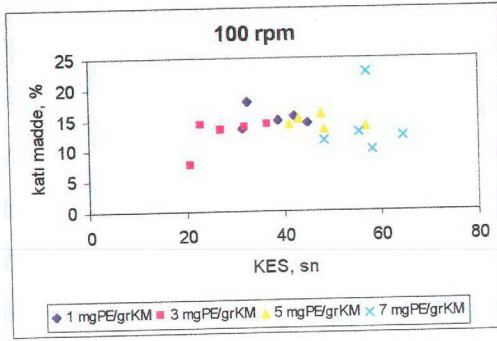
Santrifüjledikten sonra duru fazı alınan örneklerin katı fazları da kurutularak katı madde oranları tespit edilmiş ve KES değerleri ile karşılaştırılarak, aralarında bir ilişki olup olmadığına bakılmıştır. Elde edilen katı madde oranları ve KES değerleri her bir karıştırma hızı için aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



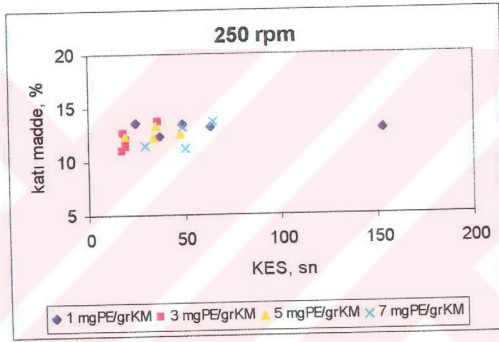
Şekil 5.39 : 50 rpm'de KES ile Katı Madde İlişkisi



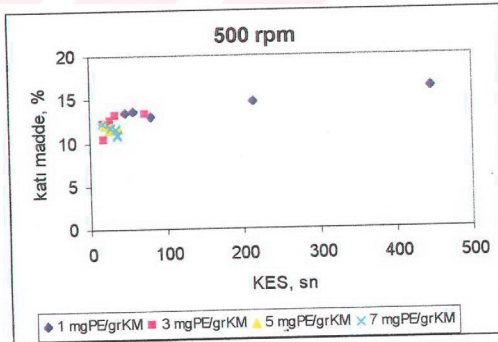
Şekil 5.40 : 75 rpm'de KES ile Katı Madde İlişkisi



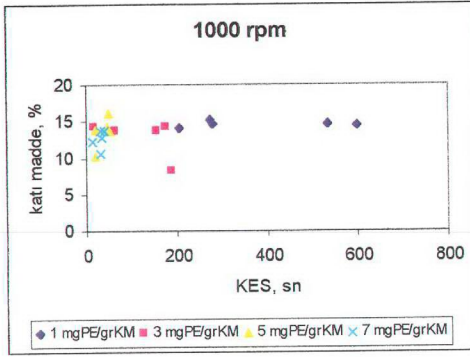
Şekil 5.41 : 100 rpm’de KES ile Katı Madde İlişkisi



Şekil 5.42 : 250 rpm’de KES ile Katı Madde İlişkisi



Şekil 5.43 : 500 rpm’de KES ile Katı Madde İlişkisi

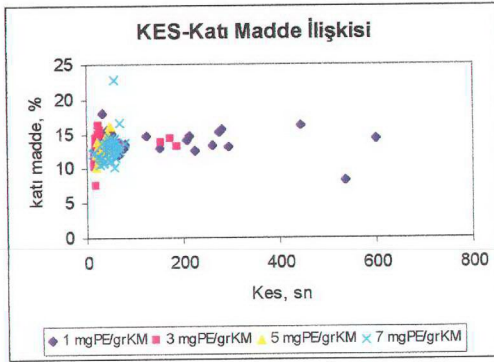


Şekil 5.44 : 1000 rpm’de KES ile Katı Madde İlişkisi

Yukarıda verilen KES ile katı madde arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerden elde edilen ilk izlenim katı madde oranının KES değerinden bağımsız olduğu yönündedir. Çünkü elde edilen sonuçlara baktığımızda karıştırma hızının değiştirilmesi veya her bir hızdaki farklı dozlardan elde edilen katı madde oranları pek değişmemekte, bir kaç istisna hariç genelde %13-14 aralığında çıkmaktadır.

Bu durumda deneylerin yapılması esnasında bir hata oluştuğunu söylemek mümkündür. Olabilecek hataların başında santrifüjlemeden sonra santrifüj tüpünün dibinde oluşan çamurun kurutma yapılacak malzemeye alınışında bir standart sağlanmasının mümkün olmamasını gösterebiliriz. Ayrıca santrifüjleme ile duru fazın alınmasına kadar geçen sürede çamur keki duru fazla temas halinde bulunmaktadır. Bu sürenin tüm santrifüj tüpleri için aynı tutulamaması katı madde oranında meydana gelen salınımların bir başka nedeni olarak gösterilebilir. Ayrıca kullanılan laboratuvar santrifüjü, santrifüj tüplerini sadece 45°’lik bir açı ile döndürmektedir. Bir santrifüj içerisine giren bir çamur partikülünün yaklaşık 90°’lik bir santrifüj kuvvetiyle dış çephere doğru hareketlendiği düşünülürse katı madde oranlarında gözlenen salınımların bir nedeni olarak da kullanılan laboratuvar santrifüjü gösterilebilir.

Deneyler sonucunda elde edilen tüm sonuçlar Şekil 5.45’te verilmiştir.

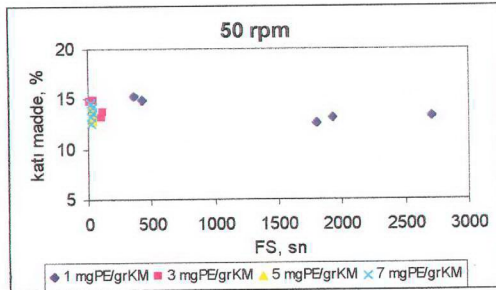


**Şekil 5.45 : KES ile Katı Madde İlişkisi**

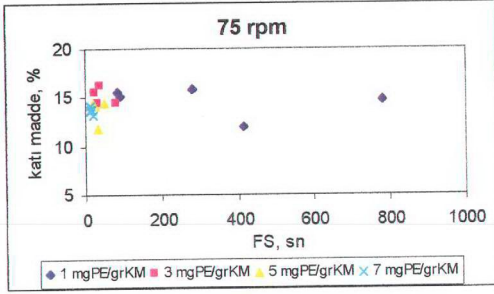
Şekil 5.43'ten görülebileceği gibi KES değeri ve kimyasal dozajı ne olursa olsun katı madde oranı sabit bir aralıkta kalmaktadır. Bu durumda santrifüjleme esnasında çamur kekinin oluşmasında etkili kuvvetlerin tespit edilmesi, ve bu kuvvetlerinin ne kadarının KES deneyinde karşılığı olduğu ve bu kuvvetlerdeki değişimin kek oluşumunu ve KES değerlerini nasıl etkilediği araştırılmalıdır.

### 5.3.5 FS ile Santrifüjleme Sonrası Katı Madde Oranı Arasındaki İlişki

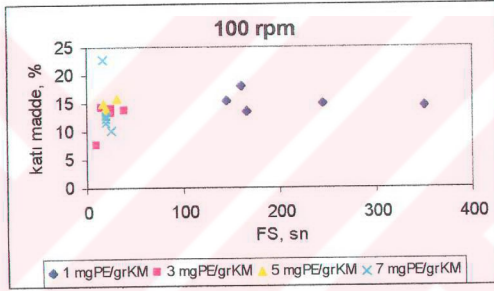
Santrifüjlenen şartlandırılmış çamurların duru fazları alındıktan sonra elde edilen kekin katı madde oranları ile filtre süresi sonuçları da, aralarında olması muhtemel bir ilişkinin görülmesi açısından incelenmiştir. Her bir karıştırma hızı için elde edilen değerler aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



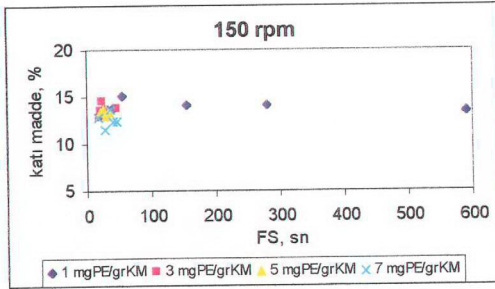
**Şekil 5.46 : 50 rpm'de FS ile Katı Madde İlişkisi**



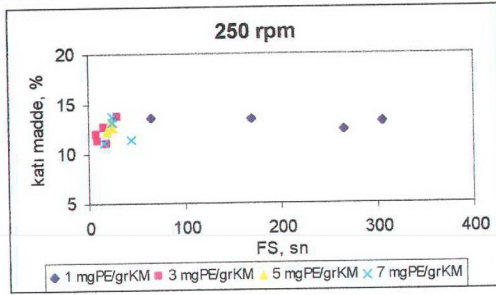
Şekil 5.47 : 75 rpm’de FS ile Katı Madde İlişkisi



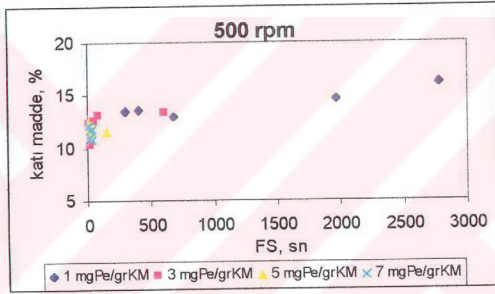
Şekil 5.48 : 100 rpm’de FS ile Katı Madde İlişkisi



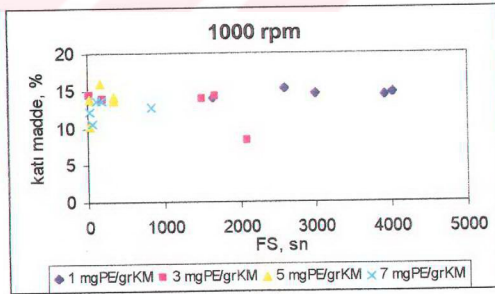
Şekil 5.49 : 150 rpm’de FS ile Katı Madde İlişkisi



Şekil 5.50 : 250 rpm'de FS ile Katı Madde İlişkisi



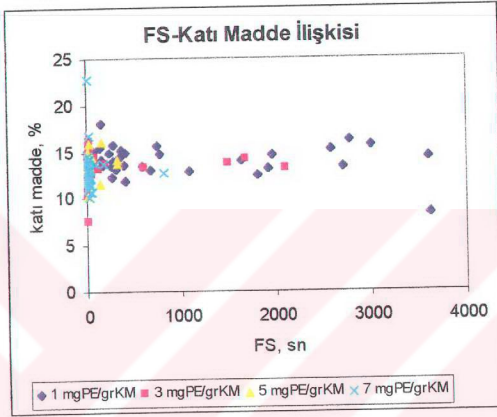
Şekil 5.51 : 500 rpm'de FS ile Katı Madde İlişkisi



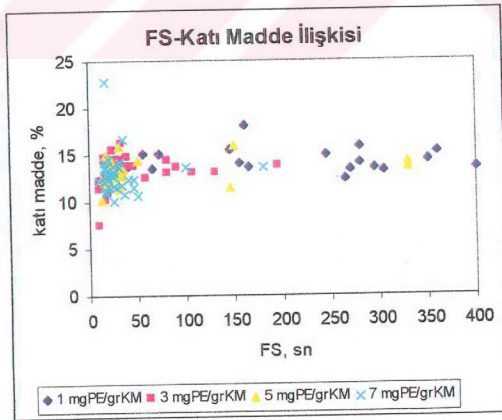
Şekil 5.52 : 1000 rpm'de FS ile Katı Madde İlişkisi

Yukarıda verilen grafikler incelendiğinde katı madde oranının FS deneyi sonuçlarından bağımsız olduğunu görmekteyiz. Aynı karıştırma şartlarında FS

değerinin 2000 sn'nin üstüne çıktığı durumlarla 30 sn'nin altına düştüğü durumlarda elde edilen katı madde oranları arasında bariz bir fark yoktur. Bu durum aynı kimyasal dozunda elde edilen sonuçlarda da aynıdır. Dozlara göre elde edilen tüm sonuçlar Şekil 5.53'te verilmiştir. Şekilde de görülen sıkışık bölgenin açılımı ise Şekil 5.54'te verilmiştir.



Şekil 5.53 : FS ile Katı Madde Arasındaki İlişki



Şekil 5.54 : "Fs<400-Katı Madde %<25" Aralığında FS-Katı Madde İlişkisi

Dozların hareketi incelendiğinde de aynı sonuçlar çıkmaktadır. Yani aynı dozda meydana gelen FS değerlerindeki değişiklik katı madde değerlerine yansımamaktadır. Tabi genellemeyi ancak yapılan katı madde tayinlerinin doğruluğu kabul edilerek gerçekleştirilebilir. Ancak öncelikli olarak Bölüm 5.3.4'te bahsedilen katı madde ölçümlerindeki muhtemel hatalar gözden geçirilmeli, daha sonra ise FS deneyinde hakim olan kuvvetlerin santrifüj ortamında kek oluşumu üstündeki etkilerinin tespit edilmelidir. Ancak bunlar tam olarak gerçekleştikten sonra iki parametrenin göstermiş oldukları davranış biçimleri sağlıklı bir biçimde yorumlanabilir.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çamur susuzlaştırma performansının tahmini için geliştirilmiş bir çok test metodu vardır. Bunlardan en çok kullanılan iki tanesi Kapiler Emme Süresi (KES) ve Filtre Süresi (FS) testleridir. KES, araştırmacılar ve mühendisler tarafından geniş kabul görmüş, uzun süredir kullanılan bir yöntemdir. FS ise Özgül Direnç test metoduna alternatif olarak son yıllarda kullanılmaya başlanan bir test metodudur

Bu çalışmada KES ve FS test metodları arasındaki ilişki aranmıştır. Bu amaçla gerçekleştirilen deneyler için çamur örnekleri Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisi Anaerobik çamur çürütücü çıkışından alınmıştır.

KES ile FS arasındaki ilişkiyi görebilmek amacıyla yapılan deneyler sonucunda bu iki parametre arasında iki farklı durum tespit edilmiştir. Bunlardan ilki karışım şartlarının yetersiz olduğu durumlarda, aşırı dozlarda elde edilen FS değerlerinin değişimi KES değerlerinin değişimine nazaran daha yavaş olmaktadır. İkinci durum ise, düşük doz ve düşük karıştırma hızı ile yüksek doz ve yüksek karıştırma hızlarında karşılaşılan ve FS değerlerindeki artışın KES değerlerindeki artışla doğrusallık gösterdiği durumdur. Bu çalışmada filtrat viskozitesi ölçülmemekle birlikte, bu iki farklı durum, literatürde verilen bulgular da değerlendirilerek filtrattaki viskoziteye bağlanmıştır. Yüksek doz fakat yetersiz karışım şartlarında artan viskozitenin etkisiyle KES değerleri de artmaktadır. Ancak, FS değerleri deneyde uygulanan vakum basıncı sayesinde viskozite etkisinden KES kadar etkilanmemektedir. Yapılacak deneysel çalışmalarda süzüntü viskozitesinin de ölçülüp, iki parametre arasındaki ilişkinin viskozitedeki değişiklik de dikkate alınarak incelenmesi daha sağlıklı sonuçlar verebilir.

İkinci olarak, santrifüjleme sonrası elde edilen duru fazın bulanıklık değerleri ile KES değerleri arasında bir ilişki aranmıştır. Elde edilen sonuçlara incelendiğinde iki

farklı durum karşımıza çıkmaktadır. Bunlarda ilki optimum bulanıklık değerlerini veren kimyasal madde dozlarının, optimum KES değerlerini veren dozlardan yüksek çıktığı, düşük karışım şartlarının hakim olduğu çalışma şartlarıdır. Bunun sebebi olarak düşük karışım hızlarında oluşan nispeten zayıf flokların santrifüj ortamındaki kuvvetlerce parçalanması gösterilebilir.

Yüksek karışım şartlarında optimum bulanıklık değerlerini veren dozların aynı zamanda optimum KES değerlerini de verdikleri tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak aşırı hızlı karışım şartlarında bir floğa santrifüj içinde karşılaşması muhtemel güçlerin uygulanması gösterilebilir. Böylece yumak santrifüje girdikten sonra bir parçalanma gerçekleşmemektedir.

Daha sonra FS değerleri ile santrifüj sonrası elde edilen duru faz bulanıklık değerleri arasındaki ilişki tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlardan 1 mgPE/grKM dozu hariç iki parametre arasında bariz bir ilişkiye rastlanamamıştır. Birbirine çok yakın FS değerlerinin çok farklı bulanıklık değerleri verdiği tespit edilmiştir. Bunun sebebi FS deneyinde süzülme prosesi, santrifüj prosesinde ise bir çökeltme prosesinin gerçekleşiyor olmasına bağlanmıştır. Her iki proseste de etkili olan kuvvetlerin tespit edilip, bu kuvvetlerin bu proseslerdeki etkilerinin de incelendiği bir çalışma daha sağlıklı sonuçlar verebilir.

Çalışmanın ilerleyen safhasında ise santrifüjlendikten sonra duru fazı alınan çamur keki kurutularak katı madde oranı tespit edilmiş ve bu oran ile KES ve FS değerleri arasındaki ilişkiler incelenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar çerçevesinde katı madde oranının hem KES hem de FS bağımlılığının zayıf olduğu tespit edilmiştir. Ancak elde edilen katı madde oranı değerlerinin bir düzen içinde hareket etmemesi, birbirine yakın çalışma şartlarında bile tutarsız sonuçlar vermesi, katı madde oranı tayininde deneysel yanlışlar yapılmış olabileceği ihtimalini düşündürmektedir.

Çalışmalarda kullanılan laboratuvar santrifüjünde çamur numunelerini 45°'lik bir açı ile santrifüjlenebilmektedir. Bu da çamur partikülleri üzerine tesis şartlarında kullanılan bir santrifüjde etkiyen kuvvetlerden farklı kuvvetlerin etkimesi anlamına gelmektedir. Dolayısıyla kullanılan laboratuvar santrifüjünden kaynaklanabilecek etkilerin de katı madde oranı değerlerinde gözlenen tutarsız sonuçların bir nedeni olarak dikkate alınması gerekliliğine inanılmaktadır.

Bu deneysel çalışmanın şartları çerçevesinde, özellikle çamurun yüksek seviyede kesme kuvvetlerine maruz kaldığı, bu nedenle de daha yüksek dozda polimerle şartlandırılmasının gerektiği santrifüj ve benzeri sistemlerde susuzlaştırılacak çamurların susuzlaşabilirliğinin ölçülmesinde FS testinin, KES testine göre daha doğru sonuçlar verdiği, böyle durumlarda KES testinin ihtiyatlı kullanılmasının gerektiği sonucuna varılmıştır.

Yapılacak çalışmalarda santrifüjde oluşan çamur kekinin özellikleri aynı zamanda santrifüj sistemlerinde oluşan kek konsantrasyonunu ölçmek için geliştirilen penetrometre ve benzeri tayin yöntemlerinden biriyle de llerek elde edilen sonuçlar daha iyi yorumlanabilir.

## KAYNAKLAR

**Ambler C.M., 1952** "The Evaluation of Centrifuge Performance", *Chemical Engineering Progress* 48(3)

**Bache D.H., Papavasiliopoulos E.N., 2000** Viscous Behavior of Sludge Centrate in Response To Polymer Conditioning, *Wat.Res.* vol 34 No 1

**Christensen J.R., Sorensen P.B., Christensen G.L., 1993** Mechanisms for Overdosing in Sludge Conditioning, *ASCE* vol 119, No 1

**Christensen,J.R., Hansen,J.A., Christensen,G.L., 1995** Improved Characterization of mixing for Sludge Conditioning, *ASCE*, vol121, no3

**Dentel S.K.,Resta J.J.,1988** Selecting Coagulant, Filtration and Sludge Conditioning Aids, *Journal AWWA*, January 1988

**Dentel S.K., Abu-Orf M.M., 1995** Laboratory and Full Scale Studies of Liquid Stream Viscosity and Streaming Current for Characterization and Monitoring of Dewaterability, *Wat. Res.* Vol 29 No 12

**EPA 1982**, Dewatering of Municipale Wastewater Sludges, Center of Environmental Protection Agency, Ohio,

**Karr, P., 1976** "Factors Influencing the Dewatering Characteristics of Sludge", PhD Dissertation, Clemson University

**Karr,P.R., Kemath, T.M., 1978** "Limitations of the Spesific Resistance and CST Tests for Sludge Dewaterability" *JWPCF*, Vol 79, 388-398

**Kavanaugh M.C., Tate C.H., 1980** "Use of Particle Size Distribution Measurements for Selection and Control of Solid/Liquid Seperation Processes" *Particulates in Water*,

**Langer S.J., Klute R., 1993** Rapid Mixing in Sludge Conditioning with Polymers, *Wat. Sci. Tech.* Vol 28 no 1

**Lawler D.F., Chung Y.J., Hwang S., Hull B.A., 1986** "Anaerobic Digestion: Effects on Particle Size and Dewaterability", *JWPCF*, Vol 58, 1107

**Metcalf and Eddy Inc. 1991**, Wastewter Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, 4<sup>th</sup> Edition, *McGraw Hill Co.*,

**Mininni G., Spinosa L., Santori M.,** Centrifugation : Influence of Operating Variables on Cake Concentration

**Novak J.T., Prendeville J.F.(1988)** Mixing Intensity and Polymer Performance in Sludge Dewatering, *ASCE*, vol 114 no 1

**Novak J.T., Bandak N., 1989** Chemical conditioning and the resistance of Sludges to Shear, *JWPCF*, 61, 327

**Onay T.T., Gönenç İ.E., 1989** "sludge Dewatering Techniques, Wastewater Treatment and Disposal Studies" *NATO-TU Waters*, Final Report

**Sel İ., 1999** "Anaerobik Çürütülmüş Çamurların Farklı Kimyasal Maddelerle Şartlandırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Kütüphanesi,

**Standart Methods, 1998** *APHA, AWWA* Yayını, 20. Baskı,

**van der Roest H.F., Salome A.A., Koorneef E.,1993** New Generation Beltpresses and Decanters for Sludge Dewatering, *Wat. Sci.Tech.* vol28, no 1

**Vesilind P.A.,1988** Capillary Suction Time as a Fundamental Measure of Sludge Dewaterability, *JWPCF*, 60,215

**Vesilind P.A., Hartman G.C.1991** Sludge Management and Disposal, *Lewis Publishers Inc.*

**Vesilind P.A., Zhang G., 1984** Technique for Estimating Sludge Compactability in Centrifugal Dewatering, *JWPCF*, vol 56, No 12

**Vesilind P.A.,1988** Movement of Sludge Through Conveyor Centrifuge, *ASCE*, vol 114, no 4

**Vesilind P.A.,1970** Estimation of Sludge Centrifuge Performance, *Journal of the Sanitary Engineering Division*, vol 96 No SA3

**Vesilind P.A. 1978**, Treatment and Disposal of Wastewater Sludges, *Ann Arbor Science Pub. Inc.*

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

**Werle, P.C., Novak J.T. 1984** Mixing Intensity and polymer Sludge Conditioning, *ASCE*, vol 110 No 5

**WPCF 1980**, Sludge Thickening, Manual of Practice No.FD-1

**WPCF 1983**, Sludge Dewatering, Manual of Practice No.FD-20

**WPCF 1988**, Sludge Conditioning; Manual of Practice No FD-14,

## ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında İstanbul'da doğdu. İlk öğrenimini Kazım Özalp İlkokulunda, orta ve lise eğitimini ise Üsküdar Fazilet Erkek Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1992 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde okumaya hak kazandı. Bu bölümden 1997 yılında mezun oldu ve aynı sene İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği programında yüksek lisans çalışmalarına başladı.

---