

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**NİŞASTA BAZLI POLİMER KULLANILARAK ARITMA  
ÇAMURLARININ ŞARTLANDIRILMASININ  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZEL KILINÇ**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**NİŞASTA BAZLI POLİMER KULLANILARAK ARITMA  
ÇAMURLARININ ŞARTLANDIRILMASININ  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZEL KILINÇ**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019**



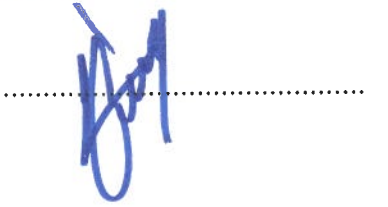
## KABUL VE ONAY SAYFASI

HAZEL KILINÇ tarafından hazırlanan “NİŞASTA BAZLI POLİMER KULLANILARAK ARITMA ÇAMURLARININ ŞARTLANDIRILMASININ ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 08.08.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Doç. Dr. Gülbin ERDEN  
Pamukkale Üniversitesi  
Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Mesut AK  
Pamukkale Üniversitesi  
Üye  
Doç. Dr. Ebru ÇOKAY  
Dokuz Eylül Üniversitesi

  
.....  
  
.....  
  
.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
21/08/2019 tarih ve 33/15..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**HAZEL KILINÇ**



## ÖZET

### NİŞASTA BAZLI POLİMER KULLANILARAK ARITMA ÇAMURLARININ ŞARTLANDIRILMASININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZEL KILINÇ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. GÜLBİN ERDEN)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

Bu tezin amacı Özgül Filtre Direnci (ÖFD) ve Kapiler Emme Süresi parametreleri kullanılarak gizli formül katyonik polimer ile nişasta bazlı polimerin çamur şartlandırma işlemindeki performanslarını karşılıklı olarak değerlendirmektir. Bu amaçla, farklı iki tip (katyonik ve anyonik tip) nişasta bazlı polimer ve bir çeşit gizli formül katyonik polimer kullanılmıştır. Deneysel çalışma Denizli'de bulunan kenstsel nitelikli atıksu arıtma tesisinden alınan aktif çamur ve yoğun çamur örnekleri ile yürütülmüştür. Şartlandırma denemeleri, çamur örnekleri farklı dozlarda kullanılan polimerler ile klasik jar testi metodu ile yürütülmüştür. Sonuçlar, her bir uygulama için yoğun çamur örneklerinin aktif çamur örneklerine kıyasla daha fazla su verme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Anyonik yapılu nişasta bazlı polimer şartlandırma işleminde en yüksek filtrelenebilirlik performansını göstermiştir. Yoğun ham çamurun KES değeri 399,4 s iken 5g/ kg Kuru Madde anyonik yapılu nişasta bazlı polimer uygulamasında KES değeri 11,5 s olarak belirlenmiştir. Ancak benzer sonuçlar ÖFD testi uygulamalarında elde edilememiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Polimer, Şartlandırma, Arıtma çamuru, Atıksu, Nişasta, Susuzlaştırma

## **ABSTRACT**

### **THE INVESTIGATION OF TREATMENT PLANT SLUDGE CONDITIONING WITH STARCH-BASED POLYMER USAGE**

**MSC THESIS**

**HAZEL KILINÇ**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:DOÇ. DR. GÜLBİN ERDEN)**

**DENİZLİ, AUGUST 2019**

The objective of this thesis was to compare sludge conditioning performance of secret formula cationic polymer and starch based polymer as determined by mainly specific resistance to filtration (SRF) and capillary suction time (CST) parameters. For this purpose, two different type of starch based polymers (cationic and anionic type) and secret formula cationic polymer were used. The experimental studies were carried out with waste activated sludge and thickened sludge samples taken from a municipal wastewater treatment plant in Denizli, Turkey. In conditioning experiments, sludge samples were conditioned with different dosages of polymer using classical jar test method. The results showed that, thickened sludge higher dewatering capacity than activated sludge in each polymer application. Anionic type of starch based polymer showed the highest filterability performance on conditioning. While the CST value of raw thickened sludge was 399.4 s, the CST was 11.5 s in 5 g / kg dried solids anionic type of starch based polymer application. But similar results were not obtained in SRF test applications.

**KEYWORDS:** polymer, conditioning, sewage sludge, wastewater, starch, dewaterig

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vii
SEMBOL LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>10</b>
<b>2. ARITMA ÇAMURUNUN TANIMI .....</b>	<b>11</b>
2.1 Arıtma Çamuru Nedir? .....	11
<b>3. ARITMA ÇAMURU ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>16</b>
3.1 Çamur Kaynakları.....	17
3.2 Çamurun Genel Yapısı.....	18
<b>4. ÇAMUR ARITIMI VE BERTARAFI UYGULAMALARI .....</b>	<b>21</b>
4.1 Arıtma çamurlarına uygulanan başlıca işlemler .....	22
<b>5. ÇAMUR ŞARTLANDIRMA .....</b>	<b>24</b>
5.1 Şartlandırmayı Etkileyen Faktörler .....	25
5.2 Kimyasal Şartlandırma .....	27
5.2.1 Şartlandırıcı Seçimi İçin Testler .....	27
5.2.2 İnorganik Kimyasallarla Şartlandırma: .....	30
5.2.3 Organik (Polimerlerle) Şartlandırma .....	31
5.2.4 Diğer Şartlandırma Yöntemleri .....	33
5.3 Polimer nedir? .....	37
5.3.1 Genel Tanımlamalar .....	37
5.3.2 Polimer Özellikleri .....	38
5.3.3 Doğal polimerler .....	39
5.3.3.1 Nişasta.....	39
5.3.3.2 Nişastanın kullanım alanları.....	40
5.3.3.3 Nişasta Modifikasyon Yöntemleri.....	40
5.3.4 Nişastanın Çevre Mühendisliğinde Kullanımı.....	40
5.3.4.1 Nişasta bazlı polimerler ile adsorpsiyon .....	41
5.3.4.2 Nişasta bazlı polimerler ile flokülasyon.....	43
<b>6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>44</b>
<b>7. YÖNTEM .....</b>	<b>48</b>
7.1 Materyal ve Metot.....	48
7.1.1 Jar Testi.....	49
7.1.2 Kapiler Emme Süresi Tayini.....	49
7.1.3 Buchner Hunisi Testi.....	50
<b>8. BULGULAR.....</b>	<b>52</b>
8.1 Ticari Polimer ile Yürütülen Şartlandırma Çalışmaları .....	52
8.2 Nişasta Bazlı Polimer 1 ile Yürütülen Şartlandırma Çalışmaları .....	58
8.3 Nişasta Bazlı Polimer 2 ile Yürütülen Şartlandırma Çalışmaları .....	64

<b>9. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>71</b>
<b>10. KAYNAKLAR .....</b>	<b>73</b>
<b>11. ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>77</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 5.1 : <i>Buchner</i> süzme testi düzeneği .....	28
Şekil 5. 2: <i>Kapiler emme süresi (KES)</i> düzeneği .....	29
Şekil 5.3 : Tipik polimer çözeltisi hazırlama ve besleme sistemi (WEF, 1998).....	32
Şekil 5.4 : Termal şartlandırma sisteminin şematik gösterimi .....	34
Şekil 7. 5: Jar Testi Düzeneği.....	49
Şekil 7. 6: KES Testi düzeneği.....	50
Şekil 7. 7 : <i>Buchner</i> Hunisi Testi düzeneği.....	50
Şekil 8. 8: Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Ticari Polimer Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri.....	53
Şekil 8. 9 : Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Ticari Polimer Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen KES Değerleri.....	54
Şekil 8. 10: Aktif çamurun ticari polimer ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri .	55
Şekil 8.11 : Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Ticari Polimer Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri.....	56
Şekil 8. 12 : Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Ticari Polimer Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri.....	56
Şekil 8.13 :Yoğun çamurun ticari polimer ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri .....	57
Şekil 8. 14: Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 1 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri.....	59
Şekil 8. 15: Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 1 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen KES Değerleri.....	59
Şekil 8. 16 :Aktif çamurun nişasta bazlı polimer 1 ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri.....	60
Şekil 8. 17: Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 1 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri.....	62
Şekil 8. 18: Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 1 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri.....	62
Şekil 8. 19 : Yoğun çamurun nişasta bazlı polimer 1 ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri.....	63

Şekil 8. 20: Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 2 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri.....	65
Şekil 8. 21 : Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 2 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen KES Değerleri.....	65
Şekil 8. 22 : Aktif çamurun Nişasta Bazlı Polimer 2 ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri.....	66
Şekil 8. 23 : Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 2 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri.....	68
Şekil 8. 24: Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 2 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri.....	68
Şekil 8. 25 : Yoğun çamurun Nişasta Bazlı Polimer 2 ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri.....	69

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 2.1: Arıtma çamurlarının yıllara göre bertaraf yöntemleri .....	12
Tablo 2.2: 1997’de Japonya’da uzaklaştırılan ve kullanılan çamur miktarları (ton) (Spinosa ve Vesilind). .....	13
Tablo 2. 3: 1990’da Avrupa Birliğinde kullanılan ve deşarj edilen çamur miktarları (Spinosa ve Vesilind, 2001) .....	13
Tablo 2.4: Çamur İşleme Seçenekleri .....	14
Tablo 3. 5: Klasik atıksu arıtma sistemi çamur ve katı atık kaynakları (Metcalf&Eddy, 2003) .....	17
Tablo 3. 6: Arıtma sisteminden kaynaklanan çamur ve katı maddelerin fiziksel özellikleri (Metcalf&Eddy, 2003) .....	19
Tablo 4.7 : Mevcut çamur işleme yöntemleri.....	21
Tablo 4. 8: AB’de uygulanan çamur arıtma proseslerine ilişkin tipik örnekler .....	23
Tablo 7. 9: Kullanılan Polimerlerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri .....	48
Tablo 8. 10: Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Ticari Polimer Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD ve KES Değerleri .....	53
Tablo 8.11: Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Ticari Polimer Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD ve KES Değerleri .....	55
Tablo 8.12: Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 1 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD ve KES Değerleri .....	58
Tablo 8. 13 : Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 1 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD ve KES Değerleri .....	61
Tablo 8. 14: Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 2 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD ve KES Değerleri .....	64
Tablo 8.15: Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 2 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD ve KES Değerleri .....	67
Tablo 9. 16: Şartlandırma Uygulamalarında Elde Edilen En Uygun Doz, KES ve ÖFD Değerleri .....	71

## SEMBOL LİSTESİ

<b>CST</b>	:	Capillary Suction Time
<b>KES</b>	:	Kapiler Emme Süresi
<b>SRF</b>	:	specific resistance to filtration
<b>ÖFD</b>	:	Özgül Filtre Direnci
<b>EPA</b>	:	Environmental Protection Agency
<b>AAT</b>	:	Atıksu Arıtma Tesisi
<b>KM</b>	:	Katı Madde
<b>AKM</b>	:	Askıda Katı Madde
<b>AB</b>	:	Avrupa Birliği

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde hazırlanmıştır. Çalışmalarım süresince kıymetli desteğini her zaman sunan hocam Sayın Doç. Dr. Gülbin Erden'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarında yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Pelin Koyuncuoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasında kullandığımız arıtma çamurunun temininde bizlere yardımcı olan Denizli Büyükşehir Belediyesi DESKİ Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi yetkili ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu süreçte ve her zaman yanımda olan, sabır ve anlayışla beni hep destekleyen, eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

# 1. GİRİŞ

Arıtma çamuru, atıksu arıtma tesislerinde(AAT), atıksuyun işlenmesi sürecinde veya sonrasında ortaya çıkan bir yan üründür. Genellikle % 95-99,5 oranında su içerir. Arıtılan atıksuyun niteliğine ve uygulanan arıtma işlemlerine bağlı olarak arıtma çamurlarının özellikleri değişmektedir. Genel olarak arıtma çamurları, sıvı yada yarı katı halde ve fark edilir koku yayan maddelerdir. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamur, stabilizasyon işlemlerinden önce %50-70 C, % 6.5-7.3 H, %21-24 O, %15-18 N, %1-1.5 P ve %0-2.4 S içermektedir (www.lenntech.com). Arıtma çamuru büyük oranda su ihtiva ettiği için ortamdaki hacimleri oldukça fazladır. Özellikle biyolojik arıtma işleminden oluşan arıtma çamurlarının organik madde içeriği çok yüksek olduğu için bu tip çamurlar bozunma ve kokuşma eğilimindedir. Günümüzde çamur ve biyokatılar ayrı olarak ele alınmaktadır. Atıksu arıtma çamuru bilindiği gibi arıtma tesisinden uzaklaştırılması gereken katılardır. Atıksu arıtımı sonrası ayrıca arıtılan veya ilave işlemler uygulanan katılar ise biyokatı olarak adlandırılmaktadır. Biyokatılar, biyolojik ve kimyasal çamur stabilizasyonu sonrası geride kalan; ağırlıklı olarak organik, yarı katı ürünler olup çeşitli faydalı kullanımlar için uygun özelliklere sahiptirler. Dünya genelinde arıtma çamuru üretiminin tarihsel gelişimi aşağıda özetlenmiştir. ABD’de üretilen çamur miktarı 1972’den beri artmakta olup, 1997 yılına göre bu değer 6,23 milyon ton/yıl’dır. Yıllara göre çamurun uzaklaştırma yöntemi de farklılıklar göstermektedir. Örneğin 1972’de, toplam çamurun %20’si araziye uygulama ile %25’i de yakma yöntemi ile uzaklaştırılmaktaydı. Ancak 1997’de üretilen toplam çamurun %55’i araziye uygulama, %17’si de yakma yöntemi ile uzaklaştırılmaktadır. Çamurun denize deşarjına ise Aralık 1991’de son verilmiştir.

Arıtma çamurları fiziksel yapılarına göre, mikrobiyolojik karakteri, besin maddesi (nutrient), su verme özelliği ve metal içeriğine göre değerlendirilmelidir. Evsel nitelikli atıksuların arıtıldığı arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının özellikleri birbirine benzemekle beraber, endüstriyel kaynaklı arıtma çamurlarının özellikleri endüstriyel sektör ve alt sektörler bazında büyük farklılıklar göstermektedir. Her endüstri için oluşacak çamurun özellikleri ayrı ayrı belirlenmelidir. (Spinosa ve Vesilind, 2001)

## 2. ARITMA ÇAMURUNUN TANIMI

### 2.1 Arıtma Çamuru Nedir?

Arıtma çamuru, atıksu arıtma tesislerinde (AAT), atıksuyun işlenmesi sürecinde veya sonrasında ortaya çıkan bir yan üründür. Genellikle % 95-99,5 oranında su içerir. Arıtılan atıksuyun niteliğine ve uygulanan arıtma işlemlerine bağlı olarak arıtma çamurlarının özellikleri değişmektedir. Genel olarak arıtma çamurları, sıvı yada yarı katı halde ve fark edilir koku yayan maddelerdir. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamur, stabilizasyon işlemlerinden önce %50-70 C, % 6.5-7.3 H, %21-24 O, %15-18 N, %1-1.5 P ve %0-2.4 S içermektedir (www.lenntech.com). Arıtma çamuru büyük oranda su ihtiva ettiği için ortamdaki hacimleri oldukça fazladır. Özellikle biyolojik arıtma işleminden oluşan arıtma çamurlarının organik madde içeriği çok yüksek olduğu için bu tip çamurlar bozunma ve kokuşma eğilimindedir. Günümüzde çamur ve biyokatılar ayrı olarak ele alınmaktadır. Atıksu arıtma çamuru bilindiği gibi arıtma tesisinden uzaklaştırılması gereken katılardır (Filibeli A. 1998). Atıksu arıtımı sonrası ayrıca arıtılan veya ilave işlemler uygulanan katılar ise biyokatı olarak adlandırılmaktadır. Biyokatılar, biyolojik ve kimyasal çamur stabilizasyonu sonrası geride kalan; ağırlıklı olarak organik, yarı katı ürünler olup çeşitli faydalı kullanımlar için uygun özelliklere sahiptirler. Dünya genelinde arıtma çamuru üretiminin tarihsel gelişimi aşağıda özetlenmiştir. ABD’de üretilen çamur miktarı 1972’den beri artmakta olup, 1997 yılına göre bu değer 6,23 milyon ton/yıl’dır. Yıllara göre çamurun uzaklaştırma yöntemi de farklılıklar göstermektedir. Örneğin 1972’de, toplam çamurun %20’si araziye uygulama ile %25’i de yakma yöntemi ile uzaklaştırılmaktaydı. Ancak 1997’de üretilen toplam çamurun %55’i araziye uygulama, %17’si de yakma yöntemi ile uzaklaştırılmaktadır (Tablo 2.1). Çamurun denize deşarjına ise Aralık 1991’de son verilmiştir. (Spinosa ve Vesilind, 2001)

Tablo 2.1: Arıtma çamurlarının yıllara göre bertaraf yöntemleri

Uygulama	1972	1989 <sup>1</sup>	1997 <sup>1</sup>
Arazide uygulama	20	33,3	54,8
Yüzey uzaklaştırma	Veri yok	10,3	19,2 <sup>2</sup>
Arazide depolama	40	33,9	Veri yok
Yakma	25	16,1	17,3
Deniz deşarjı	15	6,3	0
Diğer	Veri yok	Veri yok	8,7 <sup>3</sup>
<sup>1</sup> U.S.EPA (1993)			
<sup>2</sup> Katı atık ile depolama ve tekdüze (monolitik) depolamayı içermektedir.			
<sup>3</sup> Bazı maddelerin diğer alanlarda depolama ve uzun süreli saklamalarını içerir.			

Asya ülkeleri arasında Japonya'da çamur uzaklaştırma uygulamaları Tablo 2.2'de verilmektedir.

Ancak Japonya'da arazide depolama ve arazi ıslahı olanakları oldukça kısıtlıdır.



Tablo 2.2: 1997’de Japonya’da uzaklaştırılan ve kullanılan çamur miktarları (ton) (Spinosa ve Vesilind).

	<b>Düzenli depolama</b>	<b>Körfezde Arazi ıslahı</b>	<b>Faydalı kullanım</b>	<b>Diğer</b>	<b>Toplam (%)</b>
Susuzlaştırılmış kek	766	247	527	60	1600 (68)
Yakmadan çıkan kil <sup>1</sup>	102	146	101	12	361(15)
Kurutulmuş çamur <sup>2</sup>	14	0	165	10	189 (8)
Çürtülmüş çamur	0	0	0	214	214 (9)
<sup>1</sup> cüruf içerir, <sup>2</sup> kompost içerir.					

Avrupa Birliği ülkelerinde 1990’de katı madde (KM) 7 milyon ton kuru çamur üretilmiştir. Tablo 2.3’te görüldüğü gibi çamurun tarımda kullanımını %10 - %80 arasında değişmesine rağmen, yakma işlemi sadece birkaç ülkede kullanılmaktadır. Denize deşarj ise 1998’in sonlarına kadar devam etmiştir. (Spinosa ve Vesilind, 2001)

Tablo 2. 3: 1990’da Avrupa Birliğinde kullanılan ve deşarj edilen çamur miktarları (Spinosa ve Vesilind, 2001)

<b>Ülke</b>	<b>Toplam(10<sup>3</sup> kuru t/yıl)</b>	<b>Tarım (%)</b>	<b>Arazi depolama (%)</b>	<b>Yakma (%)</b>	<b>Deniz (%)</b>
Belçika	35	57	43	0	0
Danimarka	150	43	29	28	0
Fransa	900	27	53	20	0
Almanya	2750	25	65	10	0
Yunanistan	200	10	90	0	0

Tablo 2. 3. (devamı) :1990'da Avrupa Birliğinde kullanılan ve deşarj edilen çamur miktarları (Spinosa ve Vesilind, 2001).

İrlanda	23	23	34	43	0
İtalya	800	34	55	11	0
Lüksemburg	15	80	20	0	0
Hollanda	280	53	29	10	8
Portekiz	200	80	12	0	8
İspanya	300	61	10	0	29
İngiltere	1500	51	16	5	28

Arıtma çamurları fiziksel yapılarına göre, mikrobiyolojik karakteri, besin maddesi (nutrient), su verme özelliği ve metal içeriğine göre değerlendirilmelidir. Evsel nitelikli atıksuların arıtıldığı arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının özellikleri birbirine benzemekle beraber, endüstriyel kaynaklı arıtma çamurlarının özellikleri endüstriyel sektör ve alt sektörler bazında büyük farklılıklar göstermektedir. Her endüstri için oluşacak çamurun özellikleri ayrı ayrı belirlenmelidir. Mevcut çamur işleme seçenekleri Tablo 2.4'te verilmiştir (Water Science and Technology, 1992).

Tablo 2.4: Çamur İşleme Seçenekleri

Seçenekler	Amaç	Uygulama
Kullanmama	Çevreye zararlı ve geri döndürülemez etkisi olan maddelerin kullanımının durdurulması	Endüstriyel deşarjlarda etkili kaynağında control yöntemleri ile çevre dostu üretim girdileri tercih edilerek, çamurun tarım alanlarında ve diğer değerlendirme seçeneklerinde kullanımını kolaylaştırmak
Yeniden kullanma	Çevreye salınan malzeme miktarını azaltarak, doğal kaynak kullanımının sınırlandırılması	Dahili yeniden kullanım (örn.çökeltim kimyasallarının yeniden kullanımı) ile harici yeniden kullanım (örn.fosforun gübre olarak yeniden kullanımı) seçenekleri

Tablo 2. 4 (devamı): Çamur İşleme Seçenekleri

Geri kazanım	Çevreye doğrudan bırakılması uygun olmayan maddelerin uygun forma dönüştürülmesi	Organik maddelerin metan gazına dönüştürülmesi, çamurun çözünürleştirilerek geri kazanımı ve çamurdan compost eldesi
İçeride (bünrede) hapsedme	Çevreye sızma ve taşınma potansiyeli olan atık unsurlarının geçişinin mümkün olduğunca azaltılması	Çamurun bünyesindeki zehirli maddelerin uygun stabilizasyon ve katılaştırma yöntemleri ile bünye içine hapsedilmesi ve önlenmesi
Çevreye (araziye ve yanma ürünlerine) atmosfere verme	Olumsuz etki oluşturmadan araziye vermek veya uygulamak	Çamurun araziye serilerek çamurda kullanımı, çamurda yakma sonucu oluşan arıtılmamış baca gazlarının, bacalarda yeterince seyreltilerek atmosfere verilmesi

### 3. ARITMA ÇAMURU ÖZELLİKLERİ

Çamur işleme, arıtma ve bertaraf sistemlerini oluşturabilmek için arıtma sisteminde oluşan çamurun kaynak, özellik ve miktarının bilinmesi gerekmektedir. Atıksu arıtma tesisleri çamur, kum ve köpük tutma kısımlarını da kapsamaktadır. Atıksu arıtma tesisi sonunda çıkan çamur genellikle sıvı veya yarı katı formdadır ve kullanılan prosese ve uygulanan işletme yöntemine bağlı olarak %0,25-12 oranında katı (katı madde, KM) içermektedir. Çıkan çamur miktarı fazla olup, yönetimi bertarafı büyük sorun teşkil etmektedir. (TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2002). Bu sürecin sıkıntılı olmasının başlıca sebepleri,

- Arıtma tesisi girişindeki ham atıksu içinde yer alan azımsanmayacak ölçüdeki koku veren maddeler,
- Biyolojik arıtma içerisindeki ve bertarafı istenen çamurun, ham atıksu içerisindeki organik maddelerden farklı bir yapıda, bozunma ve kokuşma eğiliminde olması,
- Çamurun büyük bir kısmının ise su içermesi ve bu yüzden büyük hacimler teşkil etmesi, olarak özetlenebilir.

Arıtmanın tipine ve amacına göre, çeşitli arıtma çamurları vardır. Bunlar;

- Çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltim çamurları,
- Kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar,
- Biyolojik arıtma işlemleri sonucu oluşan biyolojik çamurlar,
- İçme suyu arıtma işlemleri sonucu oluşan inorganik çamurlardır.

### 3.1 Çamur Kaynakları

Atık su arıtma tesisleri, evsel ve endüstriyel nitelikli atık suların alıcı ortamlara doğrudan verilmesi hâlinde doğal çevrede oluşabilecek olumsuz etkileri azaltmak için işlev yapmaktadır. Farklı atık su özelliklerinden dolayı her atık suyun arıtımı için uygulanan arıtma işlemleri de farklı olmaktadır. Arıtılacak suyun özelliklerine bağlı olarak arıtma tesislerinde çeşitli arıtma kademelerinde (fiziksel arıtma, kimyasal arıtma, biyolojik arıtma, ileri arıtma, vb.) oluşan çamurun özelliği birbirinden farklıdır. Örneğin tam karışımli bir aktif çamur prosesinde, çamur uzaklaştırma (çekimi) havalandırma havuzundan yapılıyorsa, son çökeltim tankı çamur kaynağı değildir. Diğer taraftan, uzaklaştırma çamur geri dönüş hattından gerçekleştiriliyorsa çamur kaynağı son çökeltim tankı olarak kabul edilebilir. Yoğunlaştırma, çürütme, şartlandırma ve ssuzlaştırma için kullanılan prosesler de çamur kaynağı veya çıkış noktalarıdır. Tablo 3.5, Klasik atıksu arıtma sistemi çamur ve katı atık kaynaklarını özetlemektedir. (Metcalf&Eddy, 2003)

Tablo 3. 5: Klasik atıksu arıtma sistemi çamur ve katı atık kaynakları (Metcalf&Eddy, 2003)

<b>İşlem, prosesler veya arıtma metodları</b>	<b>Fonksiyonları</b>
Pompalama	Çamur veya sıvı biyokatıllarının iletimi
<ul style="list-style-type: none"><li>Birincil işlemler</li></ul> Öğütme Eleme Kum tutucu Karıştırma Biriktirme	Boyut küçültme Elyafli maddeleri ayırma Kum giderimi Çamur akımlarını dengeleme Debi dengeleme
<ul style="list-style-type: none"><li>Yoğunlaştırma</li></ul> Graviteli yoğunlaştırıcı Flotasyonlu yoğunlaştırıcı Santrifüjlü yoğunlaştırıcı Bantlı yoğunlaştırıcı Döner elekli yoğunlaştırıcı	Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma
<ul style="list-style-type: none"><li>Stabilizasyon</li></ul> Kireç stabilizasyonu Isıl işlem Havasız çürütme Havalı çürütme Ototermal aerobik çürütme Kompostlaştırma	Stabilizasyon Stabilizasyon Stabilizasyon, kütle azaltma Stabilizasyon, kütle azaltma Stabilizasyon, kütle azaltma Stabilizasyon, ürün geri kazanımı

Tablo 3. 5. (devamı) : Klasik atıksu arıtma sistemi çamur ve katı atık kaynakları (Metcalf&Eddy, 2003)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Şartlandırma</li> </ul> Kimyasal şartlandırma Termal(ısı)	Suyun bırakma özelliğini iyileştirme Suyun bırakma özelliğini iyileştirme
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dezenfeksiyon</li> </ul> Pastörizasyon Uzun süreli depolama	Dezenfeksiyon Dezenfeksiyon
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Susuzlaştırma</li> </ul> Vakum filtre Santrifüj Bant filtre Pres filtre Burgu filtre Çamur kurutma yatakları Bitki yatakları Çamur lagünleri	Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Depolama
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isıl kurutma</li> </ul> Doğrudan ( direct) temaslı Dolaylı (indirect) kurutucular	Kütle ve hacim azaltma Kütle ve hacim azaltma
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termal arıtma (yakma)</li> </ul> Çok hücreli yakıcı Akışkan yataklı yakıcı Döner fırınlı yakıcı Katı atıklarla birlikte yakma	Hacim azaltma, kaynak geri kazanımı Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma

Çamur arıtımı ve son uzaklaştırma yöntemlerinin belirlenmesinde, çamur ve katı maddenin özelliği ve içeriğini bilmek çok önemlidir. Bu aynı zamanda katı atığın kaynağı, sistemdeki çamur yaşı ve proses tipi ile de yakından ilgilidir.

### 3.2 Çamurun Genel Yapısı

Ham ve çürütülmüş çamurun kimyasal yapısı ile ilgili bilgiler Tablo 3.6’da verilmektedir. Son uzaklaştırma yönteminin belirlenmesinde nutrient içeriği ve kimyasal bileşenlerin çoğunun bilinmesi gerekir. Havasız çürütme sistemlerinde pH, alkalinite ve organik asit içeriğinin kontrolü önem teşkil etmektedir. Yakma ve arazide arıtma yöntemleri tercih edilirse çamurdaki ağır metal, pestisit ve hidrokarbonlar ölçülmelidir. Yakma gibi termal bir proses kullanılacağında çamurun enerji içeriği de hesaplanmalıdır. (Metcalf&Eddy, 2003)

Tablo 3. 6: Arıtma sisteminden kaynaklanan çamur ve katı maddelerin fiziksel özellikleri (Metcalf&Eddy, 2003)

<b>Çamur ve katı atık</b>	<b>Tanımlama</b>
Birincil çamur	Birincil (ön) çökeltimden çıkan çamur gri renkte ve yapışkan olup, çoğu zaman yoğun kokuludur. Bu çamur kolaylıkla çürütülebilir.
Kimyasal çöktürme çamuru	Metal tuzları ile yapılan çöktümeden çıkan çamur koyu renkli, demir içeriği yüksek olduğundan kırmızıdır. Kokusu birincil çamur kadar yoğun değildir. Çamurdaki demir veya alum hidratları çamuru jelatinimsi yapar. Tankta bırakılması durumunda birincil çamur gibi yavaş bir çürümeye uğrar, önemli miktarda gaz çıkışı olur. Tankta uzun süreli kalırsa yoğunluğu artar.
Aktif (biyolojik) çamur	Kahverengi ve flok ağırlıklıdır. Koyu renk gözleniyorsa septic şartlar oluşmuş demektir. Renk açık ise, az havalandırma sonucu çökeltim içeriği kötü çamurdur. İyi şartlardaki çamur toprak kokusundadır, çamur kolaylıkla septikleşmeye meyillidir. Çürük yumurta kokusu yayabilir. Yalnız başına veya birincil çamurla karışmış aktif çamur kolayca çürütülebilir.
Damlatmalı filtre çamuru	Kahverengi, floksuz ve taze olduğunda nispeten kokusuzdur. Aktif çamura göre daha kolay parçalanmaya uğrar ancak çürütülebilir.
Aerobik çürütülmüş çamur	Kahve ve koyu kahve renklidir. Floküler özelliklidir. Kötü kokulu olmayıp çoğunlukla küf kokuludur. İyi çürütülmüş çamur, kurutma yataklarında kolaylıkla susuzlaştırılabilir.
Anaerobik çürütülmüş çamur	Koyu kahve – siyah renkli olup çok miktarda gaz içerir. Tam çürütüldüğünde kötü kokmaz, kokusu hafif sıcak katran, yanmış lastik veya mühür mumu gibidir. Çamur ince bir tabaka halinde, kurutma yatağına yayıldığında katılar yüzeyde tutulur, su hızlı şekilde drene olur ve katılar yatak üzerinde yavaşça çöklerler. Çamur kurudukça gaz çıkarmaktadır.

Tablo 3. 6. (devamı): Arıtma sisteminden kaynaklanan çamur ve katı maddelerin fiziksel özellikleri (Metcalf&Eddy, 2003)

Kompost	Koyu kahve ve siyah renklidir. Ancak kompostlaştırmada kullanılan odun kırıntıları ve sisteme geri döndürülen compost dolayısıyla renk değişebilir. İyi kompostlaştırılmış çamur kokusuz olup ticari değerde bahçe toprağı şartlandırıcısı olarak kullanılabilir.
Foseptik (septik tank) çamuru	Siyah renklidir. İyi çürütülmemesi durumunda hidrojen sulfur ve diğer gazlardan dolayı kötü koku yayar. Bu durumdaki çamurun kurutulmasında ciddi koku problem ile karşılaşılır.



#### 4. ÇAMUR ARITIMI VE BERTARAFI UYGULAMALARI

Mevcut çamur işleme yöntemleri Tablo 4.7’de verilmiştir. Bu yöntemlerin, teknik, ekonomik ve çevresel koşullar göz önünde bulundurularak tercih edilmesi gerekmektedir. (Turovskiy ve Mathai, 2006).

Tablo 4.7 : Mevcut çamur işleme yöntemleri

Seçenekler	Amaç	Uygulama
Kullanmama	Çevreye zararlı ve geri döndürülemez etkisi olan maddelerin kullanımının durdurulması	Endüstriyel deşarjlarda etkili kaynağında control yöntemleri ile çevre dostu üretim girdileri tercih edilerek, çamurun tarım alanlarında ve diğer değerlendirme seçeneklerinde kullanımını kolaylaştırmak
Yeniden kullanma	Çevreye salınan malzeme miktarını azaltarak, mineral (doğal) kaynak kullanımının sınırlandırılması	Dahili yeniden kullanım (örn.çökeltim kimyasallarının yeniden kullanımı) ile harici yeniden kullanım (örn.fosforun gübre olarak yeniden kullanımı) seçenekleri
Geri kazanım	Çevreye doğrudan bırakılması uygun olmayan maddelerin uygun forma dönüştürülmesi	Organic maddelerin metan gazına dönüştürülmesi (enerji kaynağı olarak kullanmak amacıyla), çamurun çözünürleştirilerek geri kazanımı (uçucu yağ aistleri N,P vb.) ve çamurdan compost eldesi
İçeride (bünyede) hapsedme	Çevreye sızma ve taşınma potansiyeli olan atık unsurlarının geçişinin mümkün olduğunca azaltılması	Çamurun bünyesindeki zehirli maddelerin, uygun stabilizasyon ve katılaştırma yöntemleri ile bünye içine hapsedilmesi ve önlenmesi

Tablo 4. 7. (devamı) : Mevcut çamur işleme yöntemleri

Çevreye (araziye veya yanma ürünlerine, atmosfere) verme	Olumsuz etki oluşturmada araziye vermek veya uygulamak	Çamurun araziye serilerek tarımda kullanımı, çamuru yakma sonucu oluşan arıtılmamış baca gazlarının bacalarda yeterince seyreltilerek atmosfere verilmesi
--	--	---

#### 4.1 Arıtma çamurlarına uygulanan başlıca işlemler

Bilindiği gibi arıtma çamuru, birincil, ikincil ve/veya üçüncül (ileri) düzeyde atıksu arıtım proseslerinin sonucunda oluşurken, ikincil çamur, çökelebilen katıların yanı sıra biyolojik katıları da içerir. İleri arıtma çamurunda da, biyolojik arıtmaya dirençli virüsler, ağır metaller, fosfor ve/veya azot bulunmaktadır. Avrupa'daki merkezi bir kentsel AAT'den kaynaklanan çamurların, bertaraf edilmeden önce, bakteri, virüs ve diğer organik kirleticilerinden arındırılmış olması gerekir. (Water Environment Federation Press. 2007) Tipik çamur yönetim sistemi bileşenleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Ön arıtma (ızgaradan geçirme, öğütme)
- Birincil çamurları yoğunlaştırma (yerçekimi ile çökeltim, yüzdürme, döner tambur, bant filtre, santrifüj)
- Stabilizasyon (anaerobik çürütme, aerobik çürütme, kireç ilavesi)
- İkincil çamurları yoğunlaştırma (yerçekimi ile çökeltim, yüzdürme, döner tambur, bant filtre, santrifüj)
- Şartlandırma (kimyasal, termal)
- Susuzlaştırma (bant filtre, pres filtre, santrifüj, kurutma yatağı)
- Son işlemler (kompostlaştırma, kurutma, kireç ilavesi, yakma, ıslak oksidasyon, piroliz, dezenfeksiyon)

- Depolama (sıvı çamur, kuru çamur, kompost, kül)
- Taşıma (karayolu, boru hattı, deniz vasıtası)
- Nihai bertaraf (düzenli depolama, tarım ve bahçecilik uygulamaları, orman veya ıslah edilmiş arazi uygulamaları, yapı malzemeleri üretimi)

Tablo 4.8 AB’de uygulanan çamur arıtma proseslerine ilişkin tipik örnekler sunmaktadır.

Tablo 4. 8: AB’de uygulanan çamur arıtma proseslerine ilişkin tipik örnekler

<b>Proses</b>	<b>Tanım</b>
Çamur pastörizasyonu	Çamur, 70°C sıcaklıkta en az 20 dakika veya 55 °C’ de en az 4 saat işlem görür ve ardından mezofilik anaerobic çürütücüye aktarılır.
Mezofilik anaerobik çürütme	Birinci kademe çürütme sıcaklığı,35+-3 veya25+-3 °C aralığında olup ortalama bekleme süresi ise en az 12 ve 24 gündür. Ardından (ikinci kademe) ortalama bekleme süresi kadar veya en az 14 gün daha bekletilir.
Termofilik aerobik çürütme	Ortalama bekleme süresi 7 gündür. Compost reaksiyonlarının büyük ölçüde gerçekleşmesi için çamur en az 55 °C arıtılır.
Kompostlaştırma (aktarmalı ve havalandırmalı static yığın metodu)	Çamur 40 °C sıcaklıkta en az 5 gün işlem görür; bu aşamada yığın içindeki sıcaklığın 4 saat süreyle en az 55 °C olmasına müsaade edilir. Ardından çamur, compost reaksiyonlarının tümüyle sonlandığından emin olmak için nihai olgunlaşmaya bırakılır.
Sıvı çamurun kireçle stabilizasyonu	Çamur pH’ ını en az 2 saat 12 değerinin üzerinde kireç eklenir. Bu işlemden sonra çamur artık doğrudan kullanım için uygundur.
Sıvı çamur depolama	En az 3 ay boyunca arıtılmış(stabilize edilmiş) sıvı çamur depolanarak bekletilir.
Susuzlaştırma ve depolama	Ham çamur kireçle şartlandırıldıktan sonra, susuzlaştırılır ve çamur keki en az 3 ay boyunca depolanarak bekletilir.

## 5. ÇAMUR ŞARTLANDIRMA

Yoğunlaştırma, çamur içerisindeki suyu uzaklaştırarak çamur içerisindeki katı konsantrasyonunu artırıp çamur hacmini azaltma sürecidir. Yoğunlaştırma işlemi uygulanmış çamur akışkan yapıda olduğu için pompalanma süreci kolaydır. Bu işlemdeki temel amaç proses veriminin artırılması ve maliyetin azaltılmasıdır. Düşük katı madde oranı ve yüksek hacim seviyesi olmasından dolayı atık aktif çamurun yoğunlaştırılması oldukça önem arz etmektedir. Yoğunlaştırma prosesiyle çamur içerisindeki katı madde konsantrasyonunun %1'den %2'ye çıkarılması, çamur hacminde %50 oranında bir azalma sağlamaktadır. (Water Environment Federation Press.,2007). Çamurun susuzlaştırılması ise, yoğunlaştırmaya kıyasla çok yüksek oranlarda hacimsel azalma sağlanması için çamurdan suyun uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Bu işlemde amaç katı bir kek madde elde etmektir, burada amaç, bertaraf, taşıma, nakliye gibi işlemleri kolaylaştırmaktır. Kek maddesi, kürek, traktör, bantlı system gibi çeşitli yöntemlerle nakil edilebilir. Çamurun susuzlaştırılmasıyla birlikte, kompostlaştırma işlemi esnasında gereken hava miktarında azalma, yakma sürecinde gerekli yakıt ihtiyacı ve termal kurutmada kolaylık sağlanır. Düzenli depo sahalarında bertaraf edilecekse de sızıntı suyu kontrolü için susuzlaştırma önem arz etmektedir.

Çamur susuzlaştırılmadan evvel bu işlemin verimini artırmak gereklidir. Bu sebeple, biyolojik, kimyasal ve/veya fiziksel işlemler ile şartlandırılma işlemi gerekir. Kimyasal şartlandırma, çamurun katı ve sıvı hallerini birbirinden ayırma amaçlı tercih edilen bir işlemdir. Genellikle yoğunlaştırma işleminden önce uygulanır.

Çamurun şartlandırılması demek, çamurun daha fazla su bırakmasını arttırma anlamına gelmektedir. Çamurun susuzlaştırılmasında ve mekanik yoğunlaştırmada önem arz etmektedir.

Şartlandırma, inorganik veya organik kimyasallar, elektrik santralleri ve çamur yakma fırınlarından çıkan uçucu küller kullanılarak veya ısıtma dondurma-

eritme gibi fiziksel yöntemlerle desteklenerek uygulanabilir. (Turovskiy ve Mathai, 2006).

## 5.1 Şartlandırmayı Etkileyen Faktörler

Atıksu arıtma tesislerinde çamurlar çeşitli boyutlarda organik ve inorganik partiküller içermekte olup, birincil çamurlar, ikincil (biyolojik) çamurlar ve/veya kimyasal çamurlardan oluşur. Çamurun temin edildiği kaynak türüne göre çeşitli yüzey kimyası, su içeriği ve hidrasyon dereceleri vardır. Şartlandırma, yoğunlaştırma ve susuzlaştırmayı etkileyen temel özellikler şunlardır:

- Çamur kaynağı
- Katı madde konsantrasyonu
- Partikül boyutu ve dağılımı
- pH ve alkalinite
- Yüzey yükü ve hidrasyon derecesi
- Diğer fiziksel faktörler

**Çamur tipi:** Susuzlaştırma ve yoğunlaştırma sürecine ilişkin kimyasal madde düzeyi, birincil çamur, ikincil çamur, kimyasal çamur ve çürütülmüş çamur gibi arıtma tesisinin farklı ünitelerinden alınan çamurlar için önemli farklılıklar gösterir. Bugüne kadar kimyasal şartlandırma çalışmalarında birincil çamurda biyolojik çamura nazaran daha küçük ölçüde kimyasal madde dozajlanması uygun bulunmuştur. Biyofiltre ve biyodisk çamuru askıda bulunan çamura nazaran daha az oranda şartlandırma maddesine gereksinim duyar. Çürütülmüş biyolojik çamur, oksijenli ve oksijensiz çürütülmüş çamurla aynı oranda şartlandırıcı gerektirir. Her çamur için, çeşidi ve içeriğine göre farklı oranlarda şartlandırıcı gerektiğinden kimyasal çamur çeşitlerini sınıflandırmak oldukça zordur. (Turovskiy ve Mathai, 2006).

**Katı Madde Konsantrasyonu:** Kentsel atıksu çamurları geniş özgül yüzey alanına sahip çok sayıda koloidal ve yumaklaşmış partikül içerir. Çamur içeriğindeki katı konsantrasyonu düşük seviyede ise kentsel atık çamur içerisindeki partiküller farklı reaksiyonlar gösterir. Şartlandırma süreci tanım olarak, çamur partiküllerinin yüzey yüklerinin organik polielektrolitler veya inorganik kimyasal bileşikler kullanılarak nötralizasyonudur. Katı madde konsantrasyonu çamur içerisinde düşük seviyede ise, partiküllerin yüzey yükünü düşürebilmek için gerekli olan koagülant madde ihtiyacı artmaktadır. AKM konsantrasyonu yüksek ise, farklı oranda organik polimerler verimli bir şartlandırma sunmaktadır. Bu da demek oluyor ki, AKM oranı yüksek çamurlarda aşırı doz işlemi daha az etki sunmaktadır. (Turovskiy ve Mathai, 2006).

**Partikül Boyutu ve Dağılımı:** Partikül boyutu çamurun susuzlaştırılmasında etkin olan temel faktör olarak ele alınmaktadır. Küçük boyutta partikül oranı fazla olan çamurlarda aynı katı madde konsantrasyonu olmasına rağmen daha büyük yüzey alanı/hacim oranı mevcuttur. Yüzey alanının artması demek, daha büyük hidrasyon derecesi, yüksek oranda kimyasal gereksinimi ve daha fazla susuzlaştırma direnci anlamına gelir. Küçük boyuttaki parçaların yumaklar haline getirilmesi ve daha büyük boyutta parçalar oluşturulması şartlandırmanın temel amaçlarından biridir. (Turovskiy ve Mathai, 2006).

**pH ve Alkalinite:** pH ve alkalinite organik olmayan şartlandırıcıları etkileyen parametrelerdir. İnorganik yapıda olanların suyun pH' sını düşürme özellikleri mevcuttur. Şartlandırmanın pH' ını, çamurn tamponlama kapasitesi ve organik olmayan şartlandırıcıların dozajı belirler. Ortamdaki baskın koagülant çeşidini ve yüklü koloidal yüzey özelliğini belirleyen parameter pH' dır. Daha yüksek alkaliniteli anaerobik olarak çürütülmüş çamurlar için daha yüksek dozlarda koagülant madde ihtiyacının sebebi budur. (Turovskiy ve Mathai, 2006).

**Yüzey Yükü ve Hidrasyon Derecesi:** Arıtma çamuru içerisindeki katılar birbirlerini iter yapıdadırlar. Bu eylemin sebebi, elektriksel etkiler veya hidrasyon olabilir. Hidrasyon aracılığıyla, katı yüzeyinde bir su tabakası oluşur. Bu tabaka, bir tampon bölge oluşturarak katıların birbiriyle etkileşime girmesini engeller.

Bulundurdukları negative yükten ötürü zaten katılar birbirlerini itmektedirler. Elektriksel itme ve hidrasyonun etkisini ortadan kaldırmak için şartlandırma işlemleri kullanılır. (Turovskiy ve Mathai, 2006).

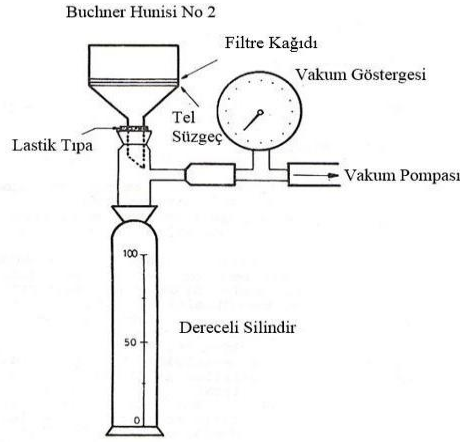
**Fiziksel Faktörler:** Fiziksel faktörler pompalama, karıştırma, yoğunlaştırma ve depolamayı kapsamaktadır. Bu ekipmanlar kullanılarak yapılan bertaraf süreci çamurun yoğunlaşmasını ve susuzlaştırılmasını etkiler. Taze çamura göre, uzun depolama sürecinde kalmış çamurlar, küçük katı partiküllerin zamanla hidrasyon derecesindeki artıştan dolayı daha fazla kimyasal şartlandırıcıya ihtiyaç duyarlar. Çamurun borulardan pompalanması esnasında sürtünmeden dolayı partiküllerde küçülme yaşanır. Doğru şartlandırmayı seçmek, çamura uygulanan işleme ve mevcut olan yoğunlaştırma ve susuzlaştırma tekniklerine bağlıdır. (Turovskiy ve Mathai, 2006).

## **5.2 Kimyasal Şartlandırma**

Kimyasal şartlandırma çamurun susuzlaştırılması ve yoğunlaştırılması için en sık kullanılan işlemlerdendir. Kimyasal eklenerek yapılan bu tür şartlandırmada olan, ters yüklü organik polimer veya inorganik kimyasal madde ile kolloidal maddenin yüzey yükünün nötralize edilerek pıhtılaştırılması ve yumaklaştırılmasıdır. Susuzlaştırma işleminde partikül boyutu oldukça önemlidir çünkü eklenen kimyasal ile büyük floklar oluşturulması hedeflenir ve bu esnada su miktarı da azalır. Çamurların kendi aralarındaki farklılıkları ve çamurların çıktığı tesislerin farklılığı susuzlaştırma karakterlerinde de farklılık ortaya çıkarmaktadır.

### **5.2.1 Şartlandırıcı Seçimi İçin Testler**

Çamurdaki şartlandırma performansını tespit etmek amacıyla en sık kullanılan deney Buchner hunisi testidir. (Şekil 5.1) Bu işlemde çamurun özgül direnci belirlenir, çamurun filtrasyon işleminin ardından elde edilen süzüntü suyu hacmi ve filtrasyon süresi ölçülerek deney gerçekleştirilmektedir. Belli bir çamur türü için farklı kimyasallar ve dozlamalar uygulanarak en uygun şartlandırıcı ve doz tipi tespit edilebilmektedir.

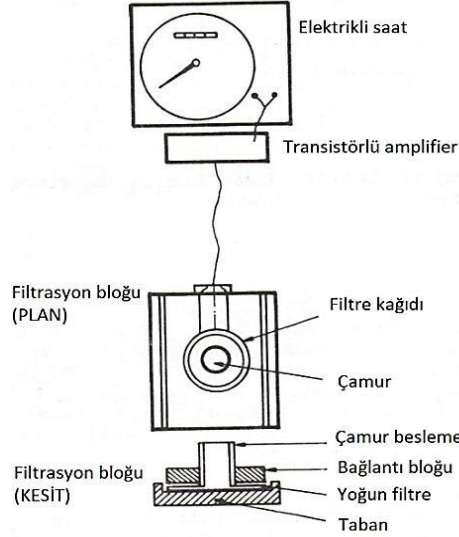


Şekil 5.1 : *Buchner* süzme testi düzeneği

Susuzlaştırma işleminde kullanılacak şartlandırma ürünlerinin seçimini belirlemede kullanılan Kapiler emme süresi (KES) de hızlı ve basit bir yöntemdir. Bu işlem, yerçekimi vasıtası ile şartlanmış çamur numunesinin bir parça kalın filtre kağıdından süzülmesine dayanmaktadır (Şekil 5.2). Çamur numunesi, silindirik şeklindeki hücre içine altına filtre kağıdı yerleştirilerek konur. Çamurdaki suyun, filtre kağıdında 10 mm aralıklı iki nokta arasındaki yolu alması için geçen zaman kapiler emme süresi olarak kaydedilir. Bu işlemin amacı, susuzlaştırma işleminde kullanılacak polimerin optimum dozunu belirlemektir.

Seyreltik çamurlar çoğunlukla düşük oranda kapiler emme süresine sahiptirler. Bu sebeple eşdeğer katı madde konsantrasyonlu çamur numuneleri ile kıyaslama yapmak daha doğru bir tercih olacaktır. Şartlandırılmamış bir çamur için KES 200 saniyedir. KES'in 10 saniye ve daha küçük olduğu değerler çok iyi susuzlaştırılabilirlik olarak değerlendirilir.





Şekil 5. 2: Kapiler emme süresi (KES) düzeneği

Kimyasal şartlandırma için kullanılan en kolay yöntemlerden biri de Kavanoz (Jar) Testi yöntemidir. Bu işlemde numuneler 1 litrelik kaplara aynı miktarda eklenir ve içerisine farklı oranlarda şartlandırıcılar eklenir, daha sonra karıştırılır. Daha sonra karıştırıcı hızı düşürülüp yumaklaşma süreci takip edilir. Sıvıdaki çamurun çökmesi ve sıvının berraklığı eklenen kimyasal maddenin şartlandırma performansını gösterir.

Bu işlemler arasında en başarılı test Buchner hunisi testidir. Çamur çürütme işleminin susuzlaştırma üzerindeki etkisine dair çalışmalar mevcuttur (Turovskiy ve Mathai, 2006). Bu çalışmalar; (1) farklı arıtma tesislerinden gelen aynı tip çamurların farklı susuzlaştırma özelliğine; (2) ham çamurun, aerobik ve anaerobik olarak çürütülmüş çamura göre daha az özgül dirence ve (3) mezofilik olarak çürütülen çamurların termofilik olarak çürütülenlere göre daha az özgül dirence sahip olduğunu göstermiştir.

### 5.2.2 İnorganik Kimyasallarla Şartlandırma:

Alkalinite çamurun şartlandırılmasında önemli etki eden bir parametredir. İnorganik şartlandırıcılar alkalinitenin etkisi altındadır. Bundan 40- 50 yıl evvel susuzlaştırma işleminde alüminyum klorür, demir sülfat ve demir klorür gibi şartlandırıcılar tercih edilmiştir. Bu maddeler kullanıldığında alkalinite kontrolü için kireç ilavesi yapılmakta idi.

Demir klorürün ( $\text{FeCl}_3$ ) optimum çalışma pH aralığı 6,0 – 6,5'tir. Demir sülfat ve alüminyum klorür genellikle demir klorüre göre daha fazla dozlama gerektirir. Demir ve alüminyum tuzlarından sonra kullanılan kireç, pH değerini 10,5-11,5 seviyelerine çıkarır. Genelde, gerekli demir klorür/kireç dozaj oranı 1:3 tür. Vakum filtre veya pres filtrelerde susuzlaştırma için gerekli dozaj miktarı çamurun özgül direncine bağlıdır. Özgül direnç ne kadar yüksekse kullanılacak kimyasal madde miktarı o kadar fazla olur. Her farklı durum için gerekli kimyasal madde dozajına çamurun özgül direncinin deneysel olarak ölçülmesiyle karar verilir.

Şartlandırılacak çamur için kireç ihtiyacı aşağıdaki formül (5.1) ile hesaplanabilir.

$$D = 0,3 [R^{1/2} + (B/C + 0,001A)^{1/2}] \quad (5.1)$$

Burada

D : Sönmemiş kirecin ( $\text{CaO}$ ) miktarı, % katı madde

R : Ayarlanmış (modifiye) özgül direnç ( $R = r \times 10^{-11}$ ,  $r =$  özgül direnç, m/kg)

B : Çamurdaki nem oranı, %

C : Çamurdaki katı madde oranı, %

A : Koagülasyon öncesi çamurun alkalinitesi, mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$

Vakum veya pres filtrelerde çamur susuzlaştırma işlemi için işletme maliyetinin büyük bir kısmını çamurun şartlandırılması için gerekli kimyasal madde maliyeti oluşturmaktadır. Bu sebeple, kullanılacak kimyasal madde miktarı minimize edilmeli ancak hedeflenen susuzlaştırmayı sağlamaya yeterli olmalıdır.

Kireç, inorganik şartlandırıcıların çamura ilavesi ile düşen pH değerini yükseltmek için kullanılır ve çamurun gözenekliliğini artırır. İki tip kuru yapıda kireç vardır. Bunlar sönmemiş kireç (CaO) ve granül - toz sönmüş kireç  $[Ca(OH)_2]$  dir. pH 'ın alkalilik seviyesinde olduğu durumlarda ( $H_2S$ ) in sulfur gazına dönüşmesiyle koku azalması oluşur. Koku dışında, pH ve özgül direnç üzerinde olumlu etkileri vardır. Bunun yanında eksi yönler olarak demir klorürün korozifliği örnek gösterilebilir. Bundan dolayı depolama tankı, borulama ve dozlama pompası için malzeme seçimi oldukça önemlidir. Ayrıca kireç, depolama ve besleme için özel ekipmanların kullanımını gerektirir. İnorganik kimyasal şartlandırıcıların kullanımı oluşacak çamur miktarını arttır. (Turovskiy ve Mathai, 2006).

### **5.2.3 Organik (Polimerlerle) Şartlandırma**

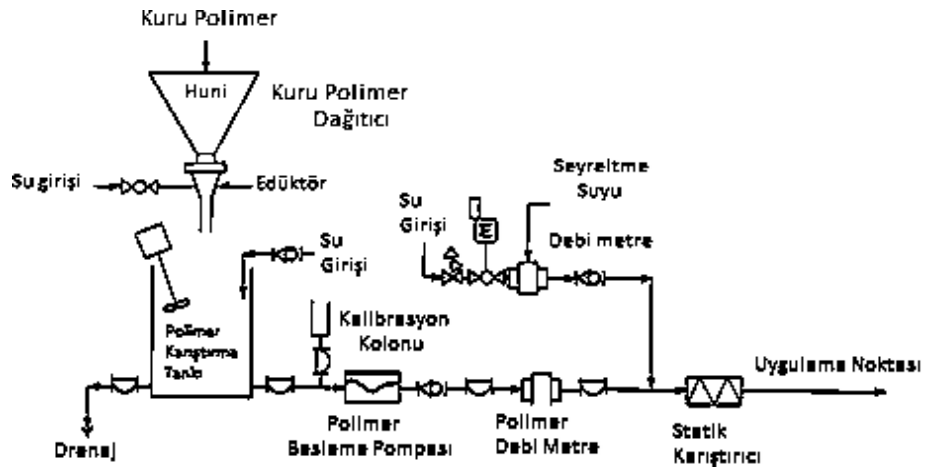
Organik polimerler inorganiklere göre daha olumlu özelliğe sahiplerdir. Maliyeti düşürecek önemli özellikleri vardır. Bunlar, sistemde daha az yer kaplama, kolay kullanım, özgül direnci düşürmek için daha az polielektrolit dozajı gerektirmesi gibi bir takım özelliklerdir.

Çamurun şartlandırılmasında organik polielektrolitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu maddeler suda çözünebilmekte ve uzun zincirli yapıdadırlar. Organik polielektrolitler çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Yüküne göre anyonik, katyonik ve non iyoniktir. Molekül ağırlığına göre sınıflandırma ise şu şekildedir: kuru, sıvı, jel veya emülsiyon. Bu iki sınıflandırma türü doğru kombinasyonlarda çok iyi verim vermektedir. (Turovskiy ve Mathai, 2006).

Organik polimerlerle gerçekleşen şartlandırma süreci küçük parçaların yumaklaştırılıp büyük floklar oluşturulmasıdır. Kuru polimerlerin çamur

yoğunlaştırmada veya susuzlaştırma işleminde nasıl kullanıldığı Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

Polimer çözeltisi oluşturmak için kullanılan sistemin üniteleri şu şekildedir. Yumaklaştırmayı dağıtma aparatı, polimer hazırlama ünitesi, depolama haznesi, kuru ürün miktarı ölçme aleti, düşük hızlı karıştırıcı ve çözelti ölçüm pompası. Kuru polimerin su ile temas ettiği ilk noktaya iletilmesi için kullanılan hava verilen sistemlere otomatik kuru polimer besleme sistemi denir. Çeşidi ve susuzlaştırılabilirliğe göre polimerin dozajı 1g/kg'dan 10 g/kg'a kadar değişir. Polimerler, konsantrasyonları %0,1-0,2 arasında olacak şekilde su ile seyreltilirler. Polimer ile şartlandırma, çamur yoğunlaştırmada veya santrifüj ve bant filtre ile susuzlaştırma işlemlerinde sıkça kullanılan bir uygulamadır. (WEF, 1998)



Şekil 5.3 : Tipik polimer çözeltisi hazırlama ve besleme sistemi (WEF, 1998)

#### 5.2.4 Diğer Şartlandırma Yöntemleri

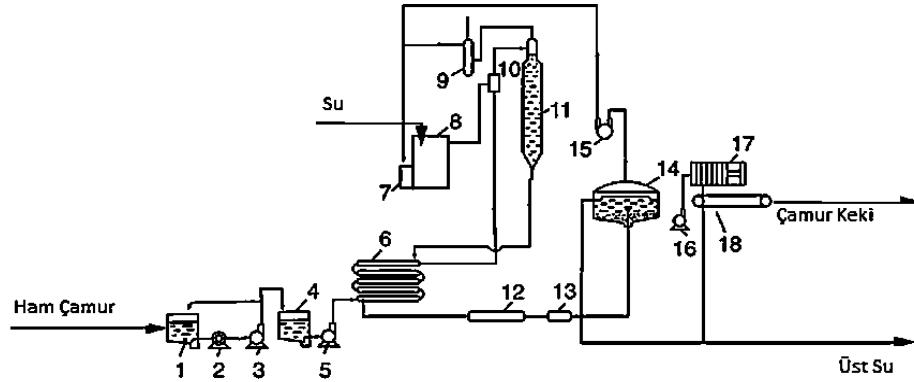
Isıl şartlandırma, dondurma-eritme ve yıkama kimyasal olmayan diğer şartlandırma yöntemleridir.

**Kimyasal Olmayan Şartlandırıcılar:** Çamurun susuzlaştırma seviyesinin artırılmasında küller oldukça etkilidir. Uçucu yapıdaki bu küller, termik santrallerden ve çamur yakma fırınlarından elde edilmektedir. Verimi artırmak için, vakum ve basınçlı filtrelerde tercih edilirler. Bu işlemde olan, külün içindeki metallerin çözünmesi ve çözülen bu yapının susuzlaştırılacak çamurun içindeki küçük katı parçalara yapışmasıdır. Kül kullanımının çeşitli faydaları vardır. Bunlar, kimyasal şartlandırıcı kullanım oranının düşmesi veya hiç gerek duyulmaması, kuru kek madde miktarının artması, verimli filtrasyon olarak sayılabilir. Bu işlemin eksi yönleri ise kek maddede fazla inert madde eklenmesi ve yarar sağlamada düşüştür. Kül ile çamur kekinin su oranı oldukça düşürülür. Çamur susuzlaştırma işlemi sonrası yakılacaksa külün ısı değeri olmadığı için yakıt değerine faydası bulunmamaktadır. Aksine, uçucu katı madde içeriğini düşüreceği için yakıt ihtiyacını artırır. Eğer çamur susuzlaştırma sonrası yakılacak ise, toz kömür şartlandırıcı olarak tercih edilebilir.

Press filtrede ön işlem olarak toprak ve çimento tozu tercih edilir. Bu iki madde şartlandırıcı vazifesini üstlenmektedir. Bazen talaş da şartlandırıcı olarak tercih edilir. Kompostlaştırma süreci öncesi olan bu durum buna bir örnektir.

**Termal Şartlandırma:** Çamurun termal olarak şartlandırılması, çamurun 1,2-2,5 MPa'da 15 ile 30 dakika arasında 170-220 oC'ye kadar ısıtılmasıdır. Tipik bir termal şartlandırma sistemi Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Çamur sisteme girmeden önce tane çapı 4-5 mm'den büyük olmayacak şekilde öğütülür. Çamuru ısıtma sistemine taşımak için çalışma basıncı 2,5 MPa'a kadar olan piston veya burgu pompa kullanılır.

Çamur ve hava karışımı iki adımda ısıtılır: ilk olarak ısı eşanjöründe, reaktörden gelen arıtılmış çamurun ısısı (ön ısıtma) ile ikinci olarak ise harici bir ısı kaynağı ile elde edilen ısı ile.



1-Çamur depolama, 2-Parçalayıcı, 3-Transfer pompası, 4-Günlük hazne, 5-Yüksek basınçlı besleme pompası, 6-Isı eşanjörü, 7-Fırın, 8-Buhar kazanı, 9-Ayırıcı, 10-Edüktör, 11-Reaktör, 12-Azaltıcı, 13-Soğutucu, 14-Yoğunlaştırıcı, 15-Havalandırıcı, 16-Yoğunlaşmış çamur pompası, 17-Pres filtre, 18-Taşıyıcı bant

Şekil 5.4 : Termal şartlandırma sisteminin şematik gösterimi

Reaktör içerisindeki çamur çeşitli yollarla ısıtılabilir. Bunlardan biri ve etkili olarak ele alınan, çamurun reaktöre ulaşmadan, boruda iken buhar yolu ile edüktör aracılığı ile ısıtılmasıdır. Bu işlemde kullanılan buhar, düşük basınçlı olup, termal şartlandırmada kullanılan değerlere yakındır. Şartlanmış çamur daha sonra 45-55°C'ye kadar soğutulduğu ısı eşanjörüne geri verilir.

Susuzlaştırma işleminden evvel çamurun yoğunlaştırılması gerekir. Graviteli yoğunlaştırıcı bu işlemde tercih edilmektedir. Burada yüzey kısımda, buharlaşmadan kaynaklı istenmeyen koku oluşumu görülür. Bu buharlaşmanın azaltılması amacıyla çamur ikinci bir soğutucuda 30- 35°C'ye kadar soğutulur. Buharlaşmayı engellemek için system üzerine bir kapak kapatılabilir. Termal çamurun basınç uygulanması ile mekanik susuzlaştırılması gerçekleşir. Eğer %50 oranında bir susuzlaştırma isteniyorsa press filtreler tercih edilebilir. Kullanılan sisteme göre prosesi değişen termal filtreler için, özgül dirençteki azalmaya uygun deneyler yapılarak seçim yapılması gerekir. (Turovskiy ve Mathai, 2006)

Termal arıtmada, çamurun özelliğine bağlı olarak uçucu katı maddelerde parçalanma görülebilmektedir. Yaklaşık %75 oranında parçalanmış organik sıvı halde çözünür %25 lik kısmı da uçar. Yoğunlaştırıcıdan ayrılan su ve süzöntü suyu

yaklaşık 2000- 6000 mg/L aralığında katı madde içerir. Bu da arıtma tesisinin yükünün kirlilik yönünde artması anlamına gelmektedir. Geri devirdeki katıların içinde oksitlenmesi zor olan maddeler olabilmektedir. Bu sebeple, tesis girişine gönderilmeden önce, organik yükü düşürmek için filtre süzüntü suları kimyasal olarak arıtılabilir. (Turovskiy ve Mathai, 2006)

Çamurun ısıl yolla şartlandırmanın çeşitli faydaları mevcuttur.

Bunlar;

- Yüksek ölçekte susuzlaştırılabilir çamura sahip olunması.
- Isıl şartlandırmayla, yüksek susuzlaştırılma özelliğine sahip (ham atık aktif çamur hariç) çamur elde edilir. Isıl yolla şartlandırma akabinde mekanik susuzlaştırma tercih edilirse, katı madde içeriği %50 lere varan sahip çamur keki elde edilir.
- Ek olarak yeni bir kimyasal şartlandırmaya ihtiyaç duyulmaz.
- Dezenfekte bir çamur elde edilir.
- Aşırı seviyede metal içeriğinden ötürü biyolojik olarak stabilizasyonu gerçekleşmeyen birçok çamur tipi için uygundur.

Sakıncaları ise;

- Eşanjörlerinde korozyona dirençli kaliteli malzemelerin kullanılması, prosesin ilk yatırım maliyetini arttırır. Kokunun kontrol altına alınması ve iletimin yüksek basınçlı gerçekleşmesi için diğer bazı destek ekipmanları gereklidir.
- Prosesin verimli ve sağlıklı işlemesi için, eğitimli operatörler ve önleyici bir bakım programı gerekir.
- Oluşan kokunun atmosfere salınmadan arıtmadan geçmesi gerekir.
- Kritik düzeyde renk, kimyasal ve organik madde içeren atıksu oluşur.

- Sistemin verimli çalışması için, eşanjörlerde, borularda ve reaktörde oluşan kabuk tabakasını temizlemek, belirli aralıklarla asit ile yıkama gerekir.

İngiltere, Almanya ve ABD'deki bazı atıksu arıtma tesislerinde bu sakıncalardan ötürü termal şartlandırma uygulamalarına son verilmiştir.

**Dondurma-Çözme ile Şartlandırma:** Çamurun donup tekrar çözülmesi çamurun yapısını değiştirmektedir. Çamur tanecikleri içindeki su bağlılığını yitirmektedir. Bu yöntem, daha çok soğuk iklimlerde doğal yollarla bu sürecin gerçekleştiği yerlerde gözlemlenmektedir. Çamurun bu iki aşamalık dönüşümü sonucu özgül direnç düşer ve susuzlaştırılabilirlik artar. Bunun yanında, koagülasyon işleminde kimyasal ihtiyacı da azalır ve mekanik susuzlaştırma olanağı artar.

Çamurun doğal olmayan yollarla dondurulması için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlar, buz üreticilerinin tercih ettiği dondurucular ile doğrudan temasla gerçekleşir. Maliyeti düşürmek için çamurun hal değişimi esnasındaki ısının geri kazanılıp yeniden kullanılması gerekir. Doğal olmayan dondurma işleminde çamur için gerekli elektrik enerjisi yaklaşık 50 kWh' dır. Çözme işleminden sonra çamur, pres filtre veya çamur kurutma yataklarında susuzlaştırılabilir. Pres filtreler ile %50-60 katı madde içeren çamur kekleri elde edilebilir. Çamur kurutma yataklarındaki yükleme oranları 5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.yıl olabilir. (Turovskiy ve Mathai, 2006)

**Elütrasyon (yıkama):** Oksijensiz olarak çürütülen çamurların susuzlaştırmadan evvel yıkanmasına elütrasyon denir. Bu işlemle çamurun tuzluluğu azalır. Atıksu arıtma tesislerinde yıkama suyu, 1 hacmi oksijensiz çürütülmüş çamura ters yönde verilir. Yıkama tankları katı yükleme oranı 39-48,8 kg/m<sup>2</sup>.gün olan graviteli yoğunlaştırıcılar gibi çalışacak şekilde tasarlanır.

Son dönemlerde bu yıkama işlemi yaygın olarak tercih edilmemektedir. Alkalinitenin yanısıra çamurdan %10-15 oranında katı madde kaybı da olmaktadır. Eğer tesisin ilk tasarım hesaplarında ilave yük göz önünde bulundurulmadıysa, geri devirde katıların yük bindirmesinden dolayı çıkış suyu kalitesi düşebilmektedir. (Turovskiy ve Mathai, 2006).



### 5.3 Polimer nedir?

Yunanca: poli "çok", meros "parça"; çok parçalı anlamında olup, monomer denilen görece küçük moleküllerin birbirlerine tekrarlar halinde eklenmesiyle oluşan çok uzun zincirli moleküllerdir.

Aynı monomerlerin oluşturduğu polimerlere *homopolimer*, en az iki farklı tip monomerden oluşan polimere ise *kopolimer* denilmektedir.

Polimer hayatımız için yaşamsal önemi olan büyük moleküllerdir. Vücudumuzda bulunan polimerler, protein ya da enzimler gibi biyolojik kimyasallar iken bitkilerde bulunan polimerler ise selüloz ya da nişasta gibi moleküllerdir. Gündelik hayatta en çok bilinen polimerler plastikler ve kauçuklardır.

Polimer bazlı malzemeler terimini tanımlamak gerekirse, tamamen polimerlerden oluşmuş ya da yapısında veya içeriğinde polimerler kullanılan malzemeler olarak açıklanabilir (Yoruç ve Uğraşkan, 2017).

#### 5.3.1 Genel Tanımlamalar

Polimerik malzemeler seramiklerden, metallere, ve küçük organik moleküllerden birçok açıdan farklıdır. Monomer küçük mol kütleli kimyasal maddelere verilen isimdir. Monomerler birbirlerine kovalent bağlarla bağlanarak kendilerinden daha büyük moleküller oluştururlar. Orta büyüklükte oluşan moleküllere oligomer adı verilirken, yüzlerce monomerin birleşmesinden oluşan çok daha büyük *makro-moleküllere* ise polimer adı verilir.

Çok sayıda monomerin oluşturduğu uzun molekülü bir zincire benzediği için, polimer zinciri olarak da adlandırılır. Hatta, polimer molekülü yerine zinciri terimini kullanmak çok yaygındır.

Polimer zincirinin konformasyonu, bir molekülünün ana zincirindeki atomların, bu atomlar arasında bulunan bağlar etrafında dönme hareketleriyle alabileceği farklı geometrik düzenleri tanımlamak için kullanılır. Polimerin bulunduğu sıcaklık, basınç ve çözelti gibi koşullara göre konformasyonu değişik

şekiller alabilir. İki ana konformasyon bulunmaktadır: *tam uzamış zinciri konformasyonu* (çubuk gibi) ve *tam büzülmüş zinciri konformasyonu* (yumak gibi). Bu iki ana konformasyon iki ayrı uçta bulunan geometrik düzendir ve yüksek enerji seviyesinde bulunurlar. Bu sebeple zincirleri buldukları koşula göre iki ucun arasında herhangi bir konformasyonda bulunabilirler. Hatta, genellikle bu iki ucun arasındaki geometriyi tercih ederler ve *rasgele büzülmüş konformasyonda* bulunurlar.

Polimer molekülü boyunca peşpeşe bağlanarak zincirin ana iskeletini oluşturan kısma ana zincir denir. Ana zincir genellikle karbon-karbon bağlarından oluşan bir iskelet oluştursa da oksijen gibi başka atomlar içeren ana zincirler de mevcuttur. Ana zinciri yerine kullanılan *polimer omurgası* terimi de oldukça yaygındır.

Polimerin zincirinin sadece düz bir ana zincirden oluşmadığı durumlar da vardır. Ana zincirdeki atomlara bağlanan ve zincirden ayrı başka bir kısa yan molekül oluşturan kısımlara yan gruplar adı verilir. Birçok polimer farklı yan gruplara sahip monomerlerden sentezlenir. Polimer zincirinin üzerindeki yan gruplar, gruptaki molekülün büyüklüğüne, esnekliğine ve fiziksel kuvvet etkileşimlerine göre polimerin fiziksel hali ve mekanik özellikleri başta olmak üzere, bütün fiziksel özelliklerini etkiler. (Yoruç ve Uğraşkan, 2017).

### 5.3.2 Polimer Özellikleri

Polimerin ne demek olduğunu açıklarken monomer ve polimer terimlerini beraber betimlemek daha doğru olur. *Monomer*, birbirine kovalent bağlarla bağlanarak daha büyük moleküller oluşturabilen küçük bir moleküldür. *Polimer* ise birden çok monomerin birbirine kovalent bağlarla bağlanması sonucu oluşan büyük moleküldür (*makro-molekül*). Zaten polimer kelimesinin kökünü incelediğimizde, *poly* çok anlamına gelir ve *merosküçük* parça demektir. Polimerin ne demek olduğunu daha iyi anlamak için bir analogi yaparsak; monomer bir vagonur ve birçok vagonun birleşmesinden oluşan tren ise polimerdir, diyebiliriz. Monomerlerin birbirleriyle bağlanarak polimer oluşturduğu kimyasal reaksiyona *polimerizasyon* adı verilir.

*Monomer + Monomer = Dimer*

*Monomer + Dimer = Trimer*

*Monomer + Trimer = Tetramer..*

.....

n tane (Monomer) = Polimer

Bazı durumlarda küçük moleküllerin doğrusal olarak birbirine bağlandığını görülür ve sonucunda doğrusal polimerler elde edilir. Ancak, makromolekülü oluştururken dallanmalar ve kendi içinde bağlanmalar da düzenlenerek 3 boyutlu bir ağ yaratmak da mümkündür. (Karaduman N., 2015)

### **5.3.3 Doğal polimerler**

Biyolojik olarak üretilen ve benzersiz işlevsel özelliklere sahip olan polimerlerdir. Proteinler (örneğin kollajen, jelatin, elastin, aktin, vb), polisakkaritler (selüloz, nişasta, dekstran, kitin, vb) ve Polinükleotidler (DNA ve RNA) başlıca doğal polimerler arasındadır.

#### **5.3.3.1 Nişasta**

Nişasta bitkilerin; yapraklarından, çiçeklerinden, meyvelerinden, tohumlarından ve köklerinden elde edilebilen oldukça verimli bir karbonhidrat türüdür. Bitkiler tarafından karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Nişasta; lineer yapılı amiloz ve dallanmış yapıdaki amilopektin adlı polimerlerden meydana gelmektedir. Amiloz, nişastanın amorf kısmına; amilopektin ise kristalin kısmına karşılık gelmektedir. Genel olarak nişastada bulunan amiloz oranı %25 ve amilopektin oranı da %75 civarındadır. (Yoruç ve Uğraşkan, 2017).

### 5.3.3.2 Nişastanın kullanım alanları

Nişasta;

- kağıt endüstrisinde tutkal ve kaplama malzemesi,
- plastik ambalajlarda biyobozunurluk için takviye,
- kozmetik ürünlerde kıvamlaştırıcı,
- ilaç endüstrisinde tabletler için dolgu ve bağlayıcı malzeme,
- süspansiyonlar için kıvamlaştırıcı ve tatlandırıcı olarak,
- tekstil boyalarında dolgu malzemesi,
- kimya endüstrisinde yağ ve kir tutucu olarak kimya endüstrisinde yağ ve kir tutucu olarak,
- köpük ve film formunda günlük gıda ürünlerinin ambalajlanmasında,
- inşaat sektöründe çevre dostu yalıtım köpüğü olarak ve diş macunu gibi kişisel bakım ürünlerinde dolgu malzemesi ve şekerli tatlandırıcı olarak kullanılmaktadır. (Yoruç ve Uğraşkan, 2017).

### 5.3.3.3 Nişasta Modifikasyon Yöntemleri

- eterifikasyon,
- esterifikasyon
- oksitlenme
- çapraz bağlama
- aşırı kopolimerizasyonu

### 5.3.4 Nişastanın Çevre Mühendisliğinde Kullanımı

Toksik olmayan yapıları ve artan küresel talebi karşılayabilecek olan enerji ve yenilenebilir hammadde kaynağı olan polisakkaritler, fosil hammaddelerine alternatif olarak halihazırda önemli bir rol oynamaktadır. Polisakkarit türevleri ile adsorpsiyon, su dekontaminasyonunda düşük maliyetli bir proses olup çevreyi korumak için yararlı bir araçtır. Ayrıca, bu doğal polimerler tarafından toksik bileşiklerin

adsorpsiyonu üzerine yayınlanan yayın sayısının artması ile polisakkarit içeren yeni adsorbanların sentezinde artış gözlenmektedir. Nişastanın hidrofilik yapısı, nişasta bazlı malzemelerin gelişimini ciddi olarak sınırlayan önemli bir kısıt olarak bilinmektedir. Kimyasal türevlendirme, bu sorunu çözümlen ve suya dayanıklı malzemeler üretmenin bir yolu olarak önerilmektedir. Bununla birlikte, değiştirme stratejisi nihai materyalin amacına bağlıdır.

Atıksu flokülasyonunda veya kağıt üretiminde katkı olarak suda çözünür nişasta türevi istenirse, hidroksil gruplarının aminopropil, hidroksialkil veya betain gruplarına rastgele dönüşümü sağlanabilir. Nişasta bazlı malzemeler adsorban olarak kullanılacak ise katı bir makromoleküler yapı gereklidir. (ERU 2016).

Nişasta bazlı polimerler, Çevre Mühendisliğinde genel olarak iki proseste kullanılmaktadır.

- Adsorpsiyon
- Flokülasyon

#### **5.3.4.1 Nişasta bazlı polimerler ile adsorpsiyon**

Adsorpsiyon prosesi için, adsorbanın kolaylıkla ulaşılabilir bir malzeme olması son derece önemlidir. Bir diğer önemli konu ise, adsorpsiyon mekanizmalarını tanımlamaktır. Genel olarak, katı adsorban üzerine kirletici emilimi ile ilgili üç ana adım vardır:

- kirleticinin solüsyondan emici yüzeye taşınması;
- partikül yüzeyinde adsorpsiyon;
- adsorban partikülü içerisinde taşınması.

Adsorpsiyon çalışmalarında, özellikle kinetik ve izotermeler, adsorpsiyon mekanizması hakkında (kirleticinin adsorbana nasıl bağlandığı ile ilgili) bilgi verir. Bu bilgi, adsorpsiyon sürecini anlamak ve desorpsiyon stratejisini seçmek için gereklidir (ERU 2016).

Genel olarak, adsorpsiyon prosesleri için uygun bir adsorban birkaç gerekliliği karşılamalıdır:

- hedef kirleticilerin uzaklaştırılması için verimli olması;
- yüksek kapasite ve adsorpsiyon oranı;
- farklı konsantrasyonlar için önemli seçicilik;
- yüzey alanı geniş granüler tip;
- yüksek fiziksel dayanım;
- rejenere edilebilir olması;
- geniş bir aralıktaki atıksu parametreleri için toleranslı;
- ve düşük maliyetli olması.

Polisakkarit bazlı malzemelerin adsorpsiyon mekanizması diğer konvansiyonel adsorbentlerin adsorpsiyon mekanizmasından farklıdır. Bu mekanizmalar genel olarak karmaşıktır, çünkü farklı etkileşimlerin varlığına dahil olurlar. Ayrıca, çok çeşitli kimyasal yapılar, pH, tuz konsantrasyonları ve ligandların (merkezi atoma bağlı atom, molekül veya iyon) varlığı sıklıkla komplikasyona neden olur. (ERU 2016).

Etkileşimlerden bazıları şunlardır;

- İyon değişimi
- Kompleksleşme
- Koordinasyon/Şelasyon
- Elektrostatik etkileşimler
- Asit-baz etkileşimleri
- Hidrojen bağı
- Hidrofobik etkileşimler
- Fiziksel adsorpsiyon
- Çökelme

#### **5.3.4.2 Nişasta bazlı polimerler ile flokülasyon**

Flokülasyon hem çözünmeyen asılı kolloidlerin hem de suda çözünür maddelerin uzaklaştırılması için yaygın olarak kullanılır. Flokülasyon için hem sentetik hem de doğal polimerler kullanılmaktadır. Nişasta, guar zamkı, alginat, glikojen veya dekstran gibi doğal polisakkaritler flokülant olarak kullanılabilir. Polisakkaritlerin floklaşma etkinliğini arttırmak için kimyasal modifikasyonu mümkündür.

Genel olarak, polimerler köprü mekanizması vasıtasıyla flokları bağlar ve daha büyük, daha yoğun, daha güçlü ve hızlı çökelebilen flokları üretir. Köprü mekanizması, bir polimer molekülünün bir parçacık üzerindeki birden fazla bölgede veya farklı parçacıklar üzerindeki yerlerde adsorpsiyonu ile gerçekleşir. Daha uzun zincirli polimerler daha kısa zincirlerden daha etkilidir. (ERU 2016).

## 6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Wu vd., 2019 yaptığı çalışmada Çin Foshan' da bulunan Yanbu Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi' nden alınan atık aktif çamur kullanılmıştır. Atık suyun arıtılması için sürekli olarak değişen bir havalandırmalı-havalandırmasız bir proses kullanılmış ve daha sonra çamur, belt pres filtresi ile susuzlaştırılmıştır. Çalışmada  $K_2FeO_4$  ve biyokömür kullanımının şartlandırma işlemine olan etkisi değerlendirilmiştir. Aynı zamanda PH etkisi de incelenmiştir.  $K_2FeO_4$  kuvvetli bir oksidan olup çamur hücrelerinin parçalanması diğer bir deyişle çamur dezentegrasyonu amacıyla kullanımı bu şekilde çamur miktarının azaltılması hedeflenmiştir. Dezentegrasyon derecesinin arttırılması için düşük pH aralıklarında çalışılması gerekmektedir birlikte, düşük pH değerlerinin çamurun su verme performansı üzerine etkisi araştırılmıştır.  $K_2FeO_4$  ile dezentegrasyon işlemi sonrasında kapiler emme süresi değerleri azalması çamurların filtrelenebilirlik özelliklerinin arttığını göstermiş ancak çökebilirlik testi sonuçları çamurların çökebilme özelliklerinin bozulduğu göstermiştir. Çamurların çökebilme özelliklerinin geliştirilmesine yönelik olarak biyo kömür kullanılmış olup, optimum dezentegrasyon şartları ve en uygun şartlandırma koşulları 3,0 g L<sup>-1</sup>  $K_2FeO_4$ , 10 g L<sup>-1</sup> biyokömür ve pH=5-7 aralığı olarak belirlenmiştir.

Zhu vd., 2018 yapmış olduğu çalışmada çamur numunesi, Pekin, Çin'deki yerel bir atık su arıtma tesisinde yoğunlaştırma tankından toplanmıştır. Çamur numuneleri önce yaklaşık % 2,5 katı içeriğe kadar yoğunlaştırılmış ve daha sonra laboratuara gönderilmiştir. Bu çalışmada, çamur suyunun alınabilirliğini arttırmak için yeni bir birleşik şartlandırma metodu önerilmiştir. Çamur ilk önce NaCl ile dezentegre edilmiş, daha sonra dezentegrasyon etkisiyle dağılmış çamur partiküllerinin flokleşmesi amacıyla katyonik poliakrilamid (CPAM) ve yardımcı şartlandırıcı olarak pirinç kabuğu (RH) kullanılmıştır. Sonuçlar, kombine NaCl-CPAM-RH şartlandırmasının, ham çamur ile karşılaştırıldığında çamur susuzlaştırılabilirliğini büyük ölçüde geliştirdiğini göstermiştir. 0,25 mol/L NaCl, 30



mg/L CPAM ve ağırlıkça %50 prinç kabuğu ile 120 dakika reaksiyon süresinin çamurun katı madde içeriğini %34,6 değerine ulaştırmıştır.

Akbulut ve Dede (2017)' nin yaptığı çalışmada çamur şartlandırma işleminde ki polielektrolit kullanımına alternatif olarak biyokütle ve kömür külü kullanımının, arıtma çamurunun su verme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla biyokütle ve kömür külü değişik oranlarda arıtma çamurları ile karıştırılmıştır. Kontrol uygulaması olarak da 1/1000' lik katyonik polielektrolit çözeltisi kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar göre karışımlardaki kül oranı arttıkça, su verme özelliklerinin en önemli göstergeleri olan, özgül filtre direnci (ÖFD) ve filtre keki nem miktarları (FK) önemli ölçüde azalmıştır. Kontrol olarak kullanılan polielektrolit uygulamasına (ÖFD: 2,8.10<sup>11</sup> m.kg-1, FK: % 58,96) en yakın sonuçlar, en yüksek oranda biyokütle külü kullanılan BÇ6 uygulamasında (ÖFD: 29.10<sup>11</sup> m.kg-1, FK: % 65,92) elde edilmiştir. Bununla birlikte biyokütle ve kömür külü uygulamalarının sonuçları istatistiksel olarak önemli ölçüde benzer bulunmuştur(R<sup>2</sup>=0,99). Biyokütle ve kömür külü ağır metal içeriğinde ise, Zn dışındaki tüm değerlerde, biyokütle külünün ağır metal oranlarının daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre, biyokütle ve kömür küllerinin evsel atık su arıtma çamurlarının su verme özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılabileceği, ancak çamurun ağır metal düzeyi göz önünde bulundurularak, susuzlaştırmadan sonraki bertaraf alternatiflerinin artırılması için biyokütle külü kullanımının en iyi alternatif olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada kullanılan arıtma çamurları Sakarya İli' nde bulunan Karaman evsel atık su arıtma tesisinden temin edilmiştir. Bu tesiste evsel atık suların arıtılmasında, uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi kullanılmaktadır. Numuneler yoğunlaştırıcı ile şartlandırma ünitesi arasından ve polielektrolit çözeltisi dozlama işlemi yapılmadan alınmıştır. Kullanılan küller, yakıt olarak yalnızca kömür ve yalnızca tarımsal kökenli bitki ve orman atıkları kullanan iki farklı santralin yakma ünitesinden alınmıştır. Başlangıçta ham çamurun özgül filtre direnci 164.10<sup>11</sup> olarak ölçülmüştür. Polielektrolit kullanılan kontrol uygulamasında ise bu değer azalmış ve özgül filtre direnci 2,8.10<sup>11</sup> olarak bulunmuştur. Kül kullanılan uygulamaların tamamı, polielektrolit uygulamasının özgül filtre direnci değerine göre yüksek olmakla birlikte, başlangıç özgül filtre

direnci değeri önemli ölçüde düşürmüştür. Biyokütle külü kullanılan uygulamalarda en yüksek ve en düşük özgül filtre direnci değeri  $132.10^{11}$  (BÇ1) –  $29.10^{11}$  (BÇ6) belirlenirken, kömür külü kullanılan uygulamaların en yüksek ve en düşük özgül filtre değerleri  $138.10^{11}$  (KÇ1) –  $34.10^{11}$  (KÇ6) olmuştur. Elde edilen sonuçlar, uygulamalardaki kül oranının artmasının özgül filtre direncini düşürdüğünü ortaya koymaktadır. Bununla birlikte bu çalışmada biyokütle külü ve kömür külünün arıtma çamurlarının su verme özellikleri üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, her ne kadar biyokütle külünden elde edilen sonuçlar kontrol uygulamasına daha yakın olsa da, her iki kül uygulamasının özgül filtre direnci ( $R^2 = 0,99$ ) ve filtre keki nem miktarı ( $R^2 = 0,99$ ) değerlerin istatistiksel olarak birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, bugüne kadar literatürdeki konu ile ilgili çalışmalarda hiç denenmemiş olan biyokütle küllerinin, kömür küllerinde olduğu gibi, evsel atık su arıtma çamurlarının özgül filtre direncini ve filtre keki nem miktarını düşürerek su verme özelliklerinin iyileştirilmesinde etkili olabileceğini ortaya koymuştur. Çalışma sonuçları ve literatürde sunulan bilgiler birlikte değerlendirildiğinde, kullanılan kül miktarındaki artışla doğru orantılı olarak, çamurun su verme özelliklerinin iyileştiği ve bu iyileşmede etkili olan unsurların çamurun negatif elektriksel yükünün düşmesi, flok oluşumu ve mukavemetinin artması ve çamur içindeki küçük partiküllerin azalması olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte biyokütle ve kömür külü uygulamalarının çamurun su verme özelliklerine etki düzeyleri arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Ancak ağır metal içeriği daha düşük olan biyokütle külü kullanımının, özellikle arıtma çamurlarının susuzlaştırılmasından sonraki, bitki besin elementi veya toprak iyileştirici olarak kullanımı gibi bertaraf seçenekleri için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

S. Wang S., Yang Y.K ve Chen X.G. nin yapmış olduğu bu çalışmada çamur, atıksu arıtımı için anaerobik / anoksik / oksik-MBR işleminin kullanıldığı Meicun (Wuxi, Çin) Atık Su Arıtma Tesisi'ndeki bir çamur yoğunlaştırıcısından temin edilmiştir. İki tarımsal atık, bambu tozu (BP) ve pirinç kabuğu tozu (RHP), katyonik poliakrilamid ve FeCl<sub>3</sub> ile birlikte çamur şartlandırıcı olarak kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, BP ve RHP'nin, çamur sıkışma kabiliyetini 1.08'den 0.76 ve 0.78'e düşüren

ve çamur kekinin nihai ısıtma değerlerini arttıran iskelet üreticileri olarak hareket ettiğini göstermiştir. Ek olarak, BP ve RHP'nin eklenmesi filtratın kimyasal oksijen talebini, toplam azotu ve toplam fosforu azaltmıştır. BP ve RHP ile koordine edilmiş şartlandırma işleminin, kapiler emme süresi özgül filtre direncini azalttığını belirtmişlerdir. Ham çamurun KES ve ÖFD değeri sırasıyla  $4,63 \cdot 10^{12}$  ve 44,1 saniye iken kuru madde üzerinden %7 FeCl<sub>3</sub>, %30 BP ve %30 RHP ilavesi ile ÖFD ve KES değerleri  $1,3 \cdot 10^{12}$  ve 23,6 saniye olarak belirlenmiştir. Bu sonuç kombine sistemin çamurların su verme özelliklerini geliştirdiğini göstermiştir.

## 7. YÖNTEM

### 7.1 Materyal ve Metot

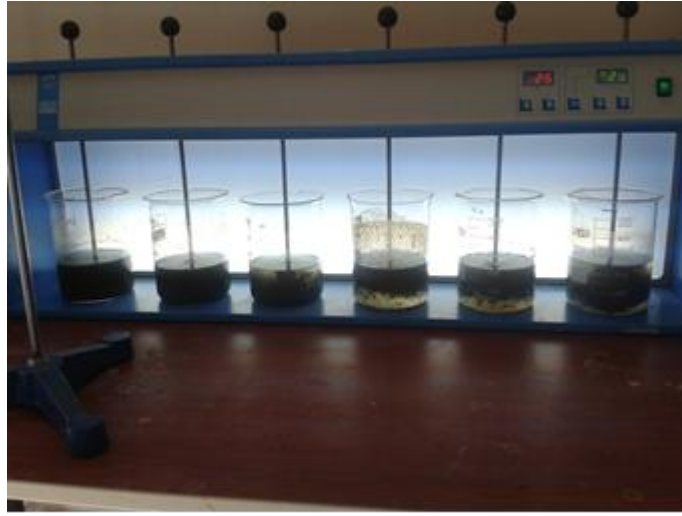
Deneysel çalışmada şartlandırma uygulanacak çamur örnekleri Denizli İli Kentsel atıksu Arıtma tesisinden temin edilmiştir. Son çökeltim havuzu geri devir hattı ve yoğunlaştırma ünitesinden alınan aktif çamur ve yoğun çamur örneklerine şartlandırma işlemi uygulanmıştır. Aktif çamur örneğinin kuru madde içeriği %0,98; yoğun çamur örneğinin kuru madde içeri ise %1,8 olarak Standart Metotlar prosedürüne uygun olarak belirlenmiştir (APHA, 2005). Çalışmada şartlandırıcı madde olarak tesiste halihazırda kullanılan gizli formüllü katyonik polimer ve iki farklı çeşit nişasta bazlı polimer kullanılmıştır. 10 g/L'lik stok polimer çözeltileri kullanılarak dozlama yapılmıştır. Konsantrasyonlar çamur kuru maddesi dikkate alınarak belirlenmiş olup. 0 ile 300 g/kg Kuru Madde (KM) arasında değişen konsantrasyonlar arasında değişen polimerler çamur örneklerine ilave edilmiştir. Kullanılan polimerlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 7.9' da verilmiştir.

Tablo 7. 9: Kullanılan Polimerlerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Polimer Türü	Ticari Polimer	Nişasta Bazlı Polimer 1	Nişasta Bazlı Polimer 2
	Hidrofobik katyonik poliakrilamid	Anyonik poliakrilamid	Epiklorohidrin ve Dimetilamin Kopolimeri
Fiziksel Durum	Granül katı	Granül katı	çözelti
Viskozite	Saptanmadı	Saptanmadı	10 Pa.s
İyon özelliği	Katyonik	Anyonik	Katyonik
Renk	Beyaz	Beyaz	Sarımsak
Koku	Kokusuz	Kokusuz	Kokusuz
Yoğunluk	0,7–0,8 g/ cm <sup>3</sup>	1,2 g/cm <sup>3</sup>	1,14 g/cm <sup>3</sup>

### 7.1.1 Jar Testi

Çamur örnekleri klasik jar testi metodu kullanılarak şartlandırılmıştır. 500 mL çamur örneklerine çamur kuru maddesi üzerinden farklı konsantrasyonlarda polimer ilave edilmiştir. Örnekler jar testi düzeneğinde 1 dakika süreyle 120 devir /dakika hızda, sonrasında 30 dakika süreyle 50 devir/ dakika hızda karıştırılmış ve 30 dakika süreyle çökmeye bırakılmıştır (APHA, 2005).



Şekil 7. 5: Jar Testi Düzeneği

### 7.1.2 Kapiler Emme Süresi Tayini

Çamurların filtrelenebilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla uygulanan kapiler emme süresi testi Whatman #17 filtre kağıdı kullanılarak Triton marka A-304M model bir KES analizörü kullanılarak yürütülmüştür.

KES testi çamurun filtrelenebilirliğini belirlemede kullanılan kolay ve hızlı sonuç veren bir testtir. Bu metot çamurun kayma gerilmelerini ihmal ettiğinden çamurun su verme ünitelerindeki davranışına belirlemede kullanılamaz, ancak su verme kapasitesi üzerine yaklaşım yapmayı sağlar. Çalışmada kullanılan KES Testi düzeneği Şekil 7.6'da gösterilmiştir.



Şekil 7. 6: KES Testi düzeneği

### 7.1.3 Buchner Hunisi Testi

Özgül Filtre Direnci (ÖFD) parametresi çamurun mekanik su alma işlemlerindeki performansını belirlemeye yönelik olarak izlenmiştir. ÖFD parametresi, Buchner Hunisi Testi kullanılarak belirlenmiştir. ÖFD testi KES testine oranla daha karmaşık bir test olup çamurun vakum filtrasyon ünitelerindeki davranışına yaklaşım yapmaktadır. ÖFD değerini belirlemek amacıyla kullanılan Buchner Hunisi Testi düzeneği Şekil 7.7’de verilmektedir.



Şekil 7. 7 : Buchner Hunisi Testi düzeneği

Özgül direnç deneyi çamur içerisindeki katı madde ile suyun zaman içinde ayrılmasına bağlı kalınarak çamurun özgül direncinin belirlenmesinde kullanılır.

Özgül direnç deneyi için çamur numunesi alınır. Buchner hunisi deney düzeneği hazırlanır. Buchner hunisinin alanı hesaplanır. Filtre kağıdı huni içerisine yerleştirilip bir miktar suyla ıslatılır. Sonra 100 ml çamur numunesi Buchner hunisine alınır. Çamur numunesinin süzülmesi için 2 dakika beklenir. Vakum pompası çalıştırılarak ilk hacim değeri tespit edilir. Daha sonra 5 saniye aralıklarla hacim değerleri okunur. Ve hesaplaması aşağıdaki (7.1) formülü ile yapılır.

$$r = (2 \cdot P \cdot A^2 \cdot b) / \mu \cdot w \quad (7.1)$$

Burada,

$r$  = Özgül Direnç.

$P$  = Basınç farkı ( $N/m^2$ )

$A$  = Alan ( $m^2$ )

$b$  =  $V$ ,  $V/t$  grafiğinin eğimi ( $sn/m^6$ )

$\mu$  = Viskozite =  $11 \cdot 10^{-4}$  ( $N \cdot sn/m^2$ )

$w$  = Kek ağırlığının süzüntü hacmine oranı

Formüldeki 'b' değeri, y eksenine  $T/V$  değerleri ve x eksenine  $V$  değerleri yazılarak oluşturulan grafikte çıkan denklemdeki x'in katsayısıdır (APHA, AWWA, 2005).

ÖFD ve KES parametreleri çamur şartlandırma işlemlerinde en uygun şartlandırıcı dozunun belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Şartlandırıcı dozuna karşılık ÖFD ve KES değerleri grafiğe geçirildiğinde en düşük değerlere karşılık gelen şartlandırıcı dozu en uygun doz olarak verilmektedir.

## 8. BULGULAR

### 8.1 Ticari Polimer ile Yürütülen Şartlandırma Çalışmaları

Çalışmada ilk olarak hâlihazırda Denizli Büyükşehir Belediyesi Kentsel Nitelikli Atıksu Arıtma Tesisi'nde çamur şartlandırma amacıyla kullanılan gizli formüllü katyonik yapıdaki polimer ile şartlandırma çalışmaları yürütülmüştür. Bu şekilde, nişasta bazlı polimerler ile hâlihazırda kullanılan polimerin çamurların su verme özellikleri üzerine etkisinin karşılıklı olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada, son çökeltim havuzu geri devir hattından alınan aktif çamur örnekleri ve yoğunlaştırma tankı çıkışından alınan yoğun çamur örnekleri kullanılmıştır. Bu iki çamur örneği arasındaki fark su içerikleridir. Çamur örneklerinin su içerikleri hücre dışı polimerik maddeler, çözülmüş organik maddeleri içeren bir yapıya sahip olduğundan su içeriğinin çamur şartlandırma üzerine etkisinin değerlendirilmesi mümkün olacaktır.

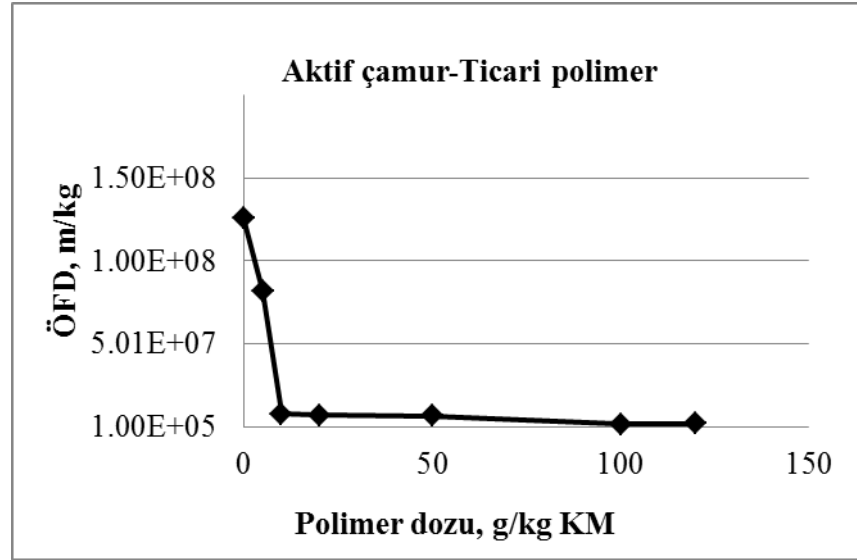
Çalışmada, 5 g/kg KM ve 120 g/kg KM konsantrasyon aralığında polimer konsantrasyonları kullanılmıştır. Klasik jar testi ile şartlandırılan örnekler KES ve Buchner Hunisi testlerine tabi tutulmuştur. KES parametresi çamurların filtrelenebilirliğini gösteren önemli bir parametredir. Düşük KES değerleri çamur suyunun kolaylıkla filtrelenebildiğini ifade etmektedir. Buchner Hunisi testi sonucunda belirlenen ÖFD parametresi ise, çamurların mekanik su alma işlemlerindeki performansını ifade etmekte olup, düşük ÖFD değerleri çamurların mekanik su alma işlemlerinde suyunu kolay verdiğini göstermektedir.

Farklı konsantrasyonlarda halihazırda kullanılan ticari polimer ile şartlandırılan aktif çamur örneklerinde elde edilen KES ve ÖFD değerleri Tablo 8.10'da verilmektedir. Konsantrasyonlara bağlı elde edilen KES ve ÖFD değerleri ise sırasıyla Şekil 8.8 ve Şekil 8.9' da gösterilmektedir.

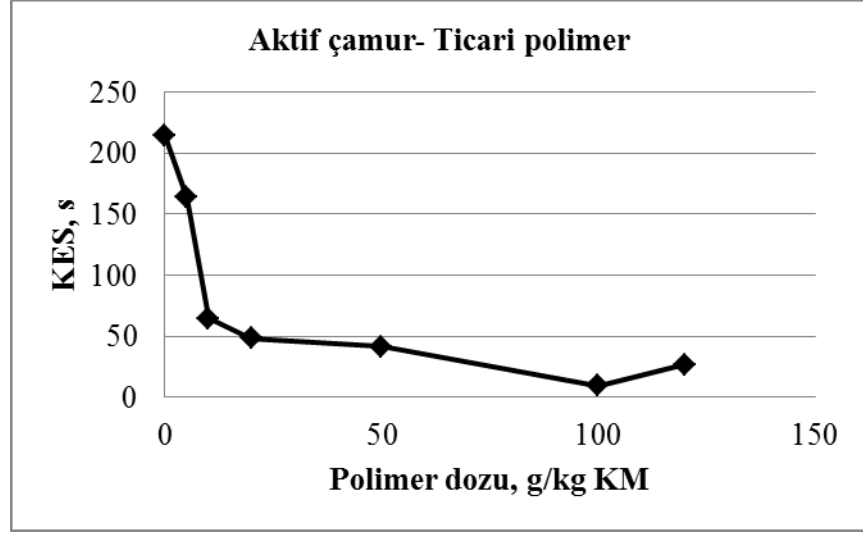


Tablo 8. 10: Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Ticari Polimer Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD ve KES Değerleri

Ticari Polimer Konsantrasyonu	ÖFD, m/kg KM	KES, s
0	1.26E+08	214.3
5	8.20E+07	164
10	7.50E+06	64.8
20	6.80E+06	48.4
50	6.40E+06	41.5
100	1.30E+06	9.2
120	1.90E+06	26.8



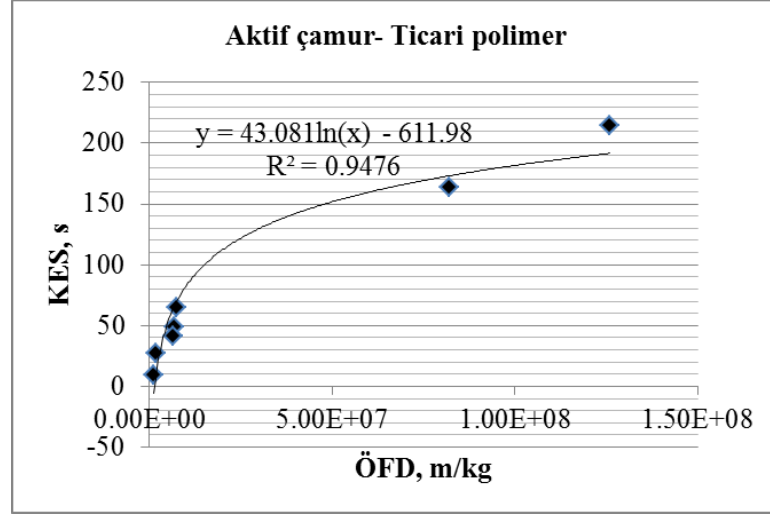
Şekil 8. 8: Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Ticari Polimer Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri



Şekil 8. 9 : Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Ticari Polimer Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen KES Değerleri

Tablo 8.10, Şekil 8.8 ve Şekil 8.9 incelendiğinde aktif çamur örneklerinin halihazırda kullanılan ticari polimer ile şartlandırılması sonucunda her bir uygulama için KES ve ÖFD değerlerinin azaldığı görülmektedir. En düşük KES değeri 100 g/kg KM konsantrasyonunun kullanıldığı uygulamada elde edilmiş olup, bu uygulamada KES değeri ham çamura oranla %95,7 azalmıştır. En düşük ÖFD değeri ise yine aynı uygulamada  $1,3 \cdot 10^6$  olarak belirlenmiştir. Ham çamura oranla %99 azalmıştır.

Çamurların filtrelenebilme özelliği ve mekanik su alma işlemlerindeki performansı oldukça yüksek olarak belirlenmiş olup; KES ve ÖFD arasındaki korelasyonun belirlenmesi amacıyla oluşturulan grafik Şekil 8.10' da verilmektedir.



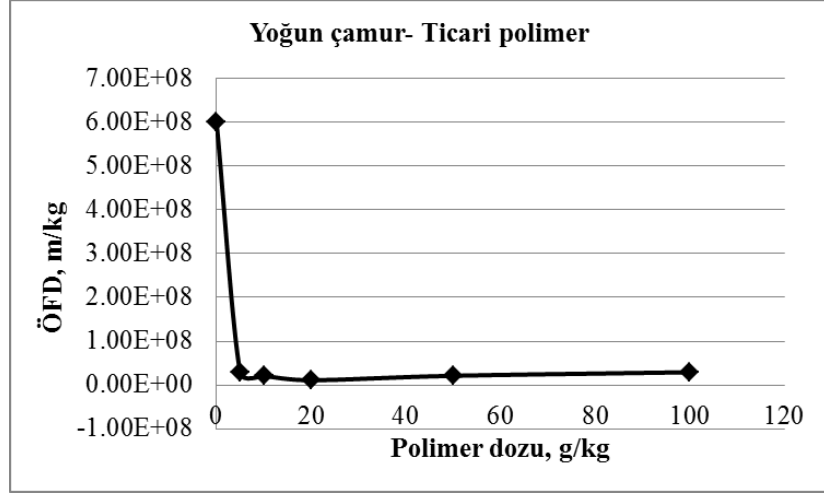
Şekil 8. 10: Aktif çamurun ticari polimer ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri

Aktif çamurun ticari polimer ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri grafiğe geçirildiğinde iki parametre arasında üstel olarak %95 gibi yüksek bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu sonuç, çamurların en uygun dozunu belirlemek için kolay sonuç veren KES testinin kullanılabilceğini göstermektedir.

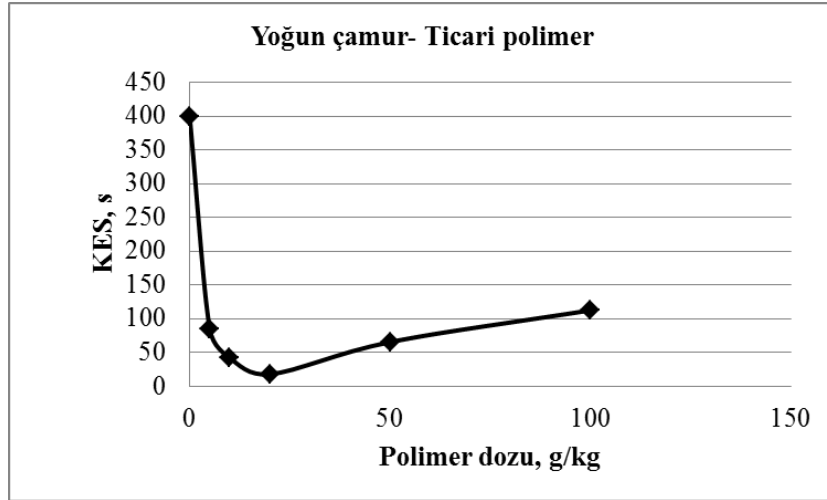
Farklı konsantrasyonlarda halihazırda kullanılan ticari polimer ile şartlandırılan yoğun çamur örneklerinde elde edilen KES ve ÖFD değerleri Tablo 8.11’de verilmektedir. Konsantrasyonlara bağlı elde edilen KES ve ÖFD değerleri ise sırasıyla Şekil 8.11 ve Şekil 8.12’ de gösterilmektedir.

Tablo 8.11: Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Ticari Polimer Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD ve KES Değerleri

Ticari Polimer Konsantrasyonu	ÖFD, m/ kg KM	KES, s
0	6.00E+08	399.4
5	2.90E+07	84.6
10	2.10E+07	42.4
20	1.10E+07	18
50	2.10E+07	65.8
100	2.90E+07	112.8



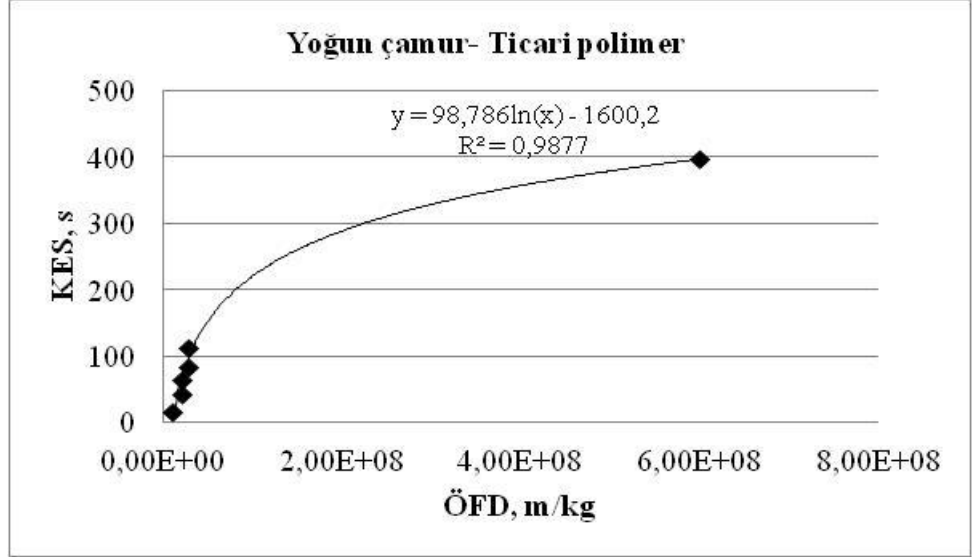
Şekil 8.11 : Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Ticari Polimer Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri



Şekil 8. 12 : Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Ticari Polimer Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri

Tablo 8.11, Şekil 8.11 ve Şekil 8.12 incelendiğinde yoğun çamur örneklerinin halihazırda kullanılan ticari polimer ile şartlandırılması sonucunda her bir uygulama için KES ve ÖFD değerlerinin azaldığı görülmektedir. En düşük KES değeri 100 g/kg KM konsantrasyonunun kullanıldığı uygulamada elde edilmiş olup, bu uygulamada KES değeri ham çamura oranla %95,5 azalmıştır. En düşük ÖFD değeri ise yine aynı uygulamada  $1,3 \cdot 10^6$  olarak belirlenmiştir. Ham çamura oranla %98,2 azalmıştır.

Çamurların filtrelenebilme özelliği ve mekanik su alma işlemlerindeki performansı oldukça yüksek olarak belirlenmiş olup; KES ve ÖFD arasındaki korelasyonun belirlenmesi amacıyla oluşturulan grafik Şekil 8.13’de verilmektedir.



Şekil 8.13 :Yoğun çamurun ticari polimer ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri

Yoğun çamurun ticari polimer ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri grafiğe geçirildiğinde iki parametre arasında üstel olarak %99 gibi yüksek bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu sonuç, çamurların en uygun dozunu belirlemek için kolay sonuç veren KES testinin kullanılabileceğini göstermektedir.

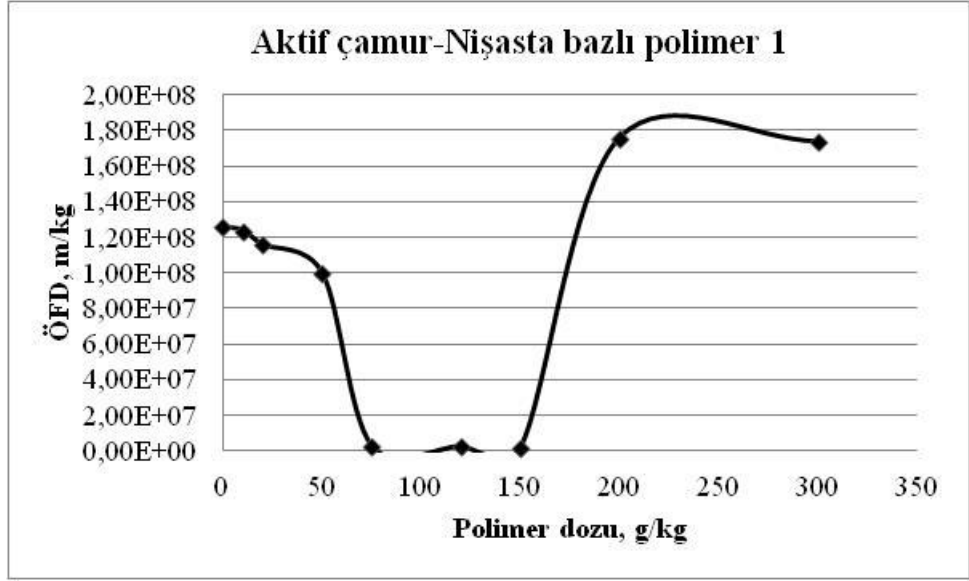
Aktif çamur ile yoğun çamur şartlandırma işlemlerinde KES ve ÖFD parametreleri dikkate alınarak elde edilen en uygun polimer konsantrasyonları sırasıyla 100 g/ kg KM ve 20 g/ kg KM olarak elde edilmiştir. Bu sonuç çamurda kuru madde içeriğindeki artışın polimer ihtiyacını azalttığını göstermektedir. Aktif çamurun kuru madde içeriği %0,98 iken yoğun çamurun kuru madde içeriği %1,8’dir. Kuru madde içeriğindeki %84 artış polimer gereksinimini %80 oranında azaltmıştır.

## 8.2 Nişasta Bazlı Polimer 1 ile Yürütülen Şartlandırma Çalışmaları

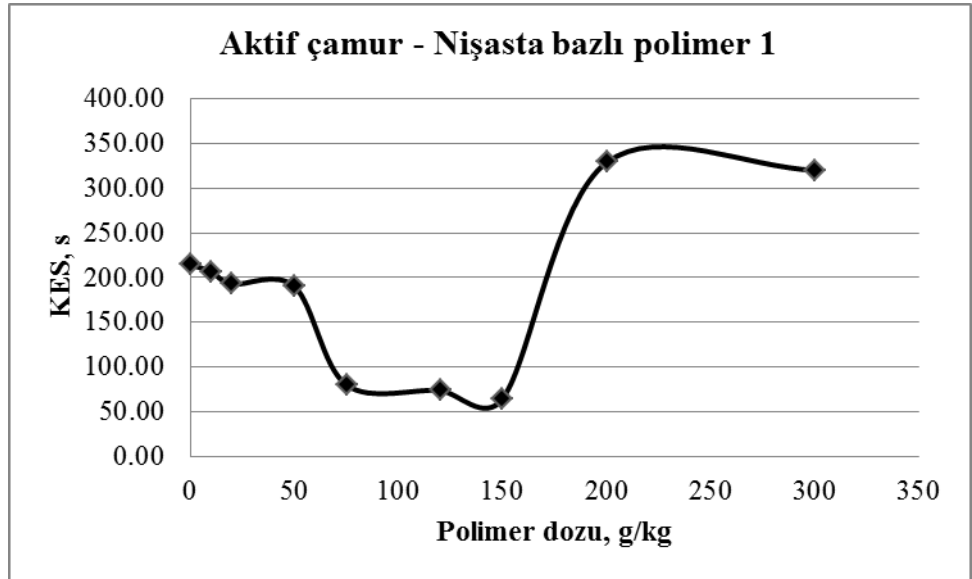
Çalışmada, 10 g/kg KM ve 300 g/kg KM konsantrasyon aralığında polimer konsantrasyonları kullanılmıştır. Klasik jar testi ile şartlandırılan örnekler KES ve Buchner Hunisi testlerine tabi tutulmuştur. Farklı konsantrasyonlarda Nişasta Bazlı Polimer 1 ile şartlandırılan aktif çamur örneklerinde elde edilen KES ve ÖFD değerleri Tablo 8.12’de verilmektedir. Konsantrasyonlara bağlı elde edilen KES ve ÖFD değerleri ise sırasıyla Şekil 8.14 ve Şekil 8.15’ de gösterilmektedir.

Tablo 8.12: Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 1 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD ve KES Değerleri

Nişasta Bazlı Polimer 1 Konsantrasyonu, g/ kg KM	ÖFD, m/ kg KM	KES, s
0	1,26E+08	214,30
10	1,24E+08	206,80
20	1,16E+08	192,90
50	1,00E+08	190,00
75	2,80E+06	80,00
120	2,60E+06	74,00
150	1,67E+06	65,00
200	1,76E+08	329,00
300	1,74E+08	320,00



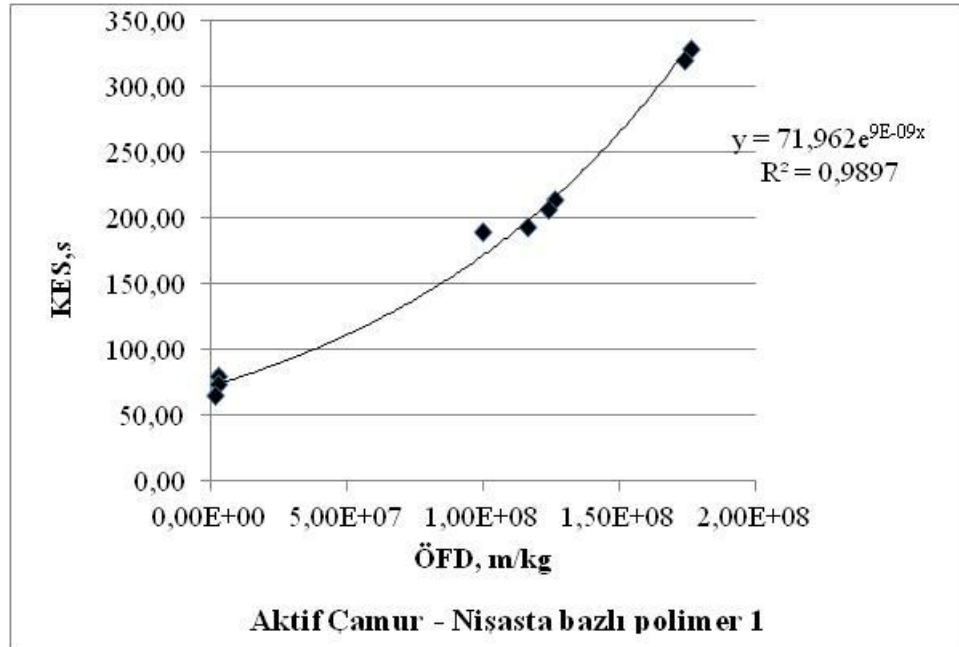
şekil 8. 14: Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 1 Konsantrasyonlarında şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri



şekil 8. 15: Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 1 Konsantrasyonlarında şartlandırılması ile Elde Edilen KES Değerleri

Tablo 8.12, Şekil 8.14 ve Şekil 8.15 incelendiğinde aktif çamur örneklerinin Nişasta Bazlı Polimer 1 ile şartlandırılması sonucunda 150 g/ kg KM konsantrasyonuna kadar KES ve ÖFD değerlerinin azaldığı 150 g/ kg KM konsantrasyonunun üzerindeki uygulamalarda ise değerlerin ham çamurun KES ve ÖFD değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir. En düşük KES değeri 150 g/ kg KM konsantrasyonunun kullanıldığı uygulamada elde edilmiş olup, bu uygulamada KES değeri ham çamura oranla %69,7 azalmıştır. En düşük ÖFD değeri ise yine aynı uygulamada elde edilmiş olup, ÖFD bu uygulamada ham çamura oranla %98,7 azalmıştır.

Çamurların filtrelenebilme özelliği ve mekanik su alma işlemlerindeki performansı ticari polimer ile karşılaştırıldığında daha düşük olmakla birlikte nişasta bazlı polimer 1 şartlandırıcısının çamurların su verme özelliğini geliştirdiği görülmektedir. KES ve ÖFD arasındaki korelasyonun belirlenmesi amacıyla oluşturulan grafik Şekil 8.16' da verilmektedir.



Şekil 8. 16 :Aktif çamurun nişasta bazlı polimer 1 ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri

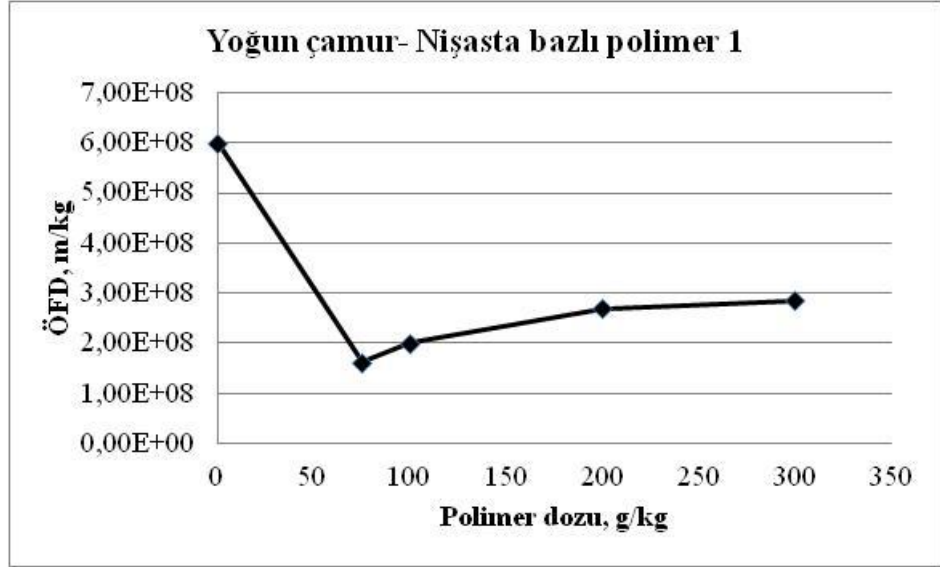


Aktif çamurun nişasta bazlı polimer 1 ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri grafiğe geçirildiğinde iki parametre arasında üstel olarak %99 gibi yüksek bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu sonuç, çamurların en uygun dozunu belirlemek için kolay sonuç veren KES testinin kullanılabilceğini göstermektedir.

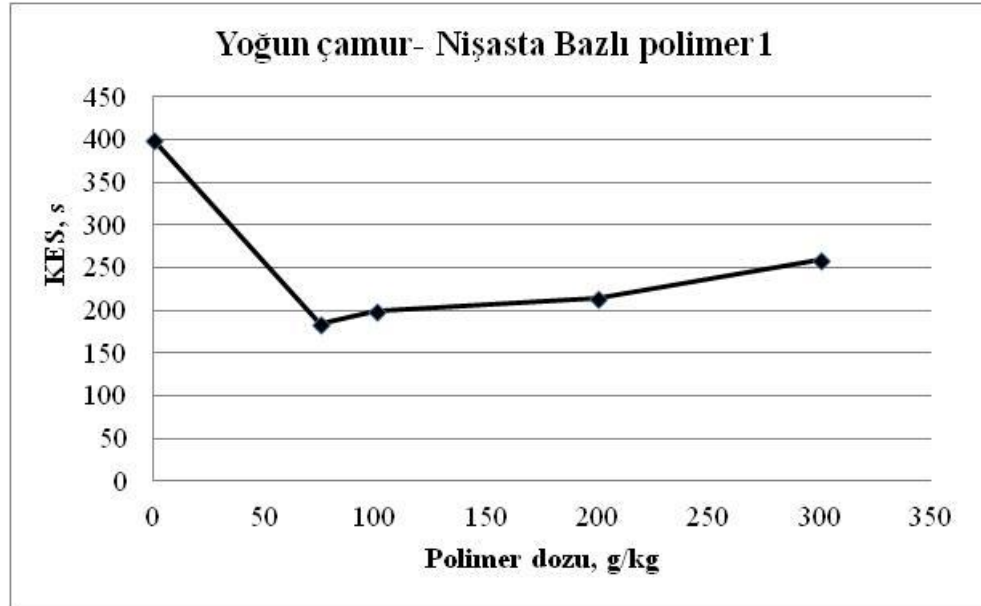
Farklı konsantrasyonlarda nişasta bazlı polimer 1 ile şartlandırılan yoğun çamur örneklerinde elde edilen KES ve ÖFD değerleri Tablo 8.13’de verilmektedir. Konsantrasyonlara bağlı elde edilen KES ve ÖFD değerleri ise sırasıyla Şekil 8.17 ve Şekil 8.18’ de gösterilmektedir.

Tablo 8. 13 : Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 1 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD ve KES Değerleri

Nişasta Bazlı Polimer 1 Konsantrasyonu	ÖFD, m/ kg KM	KES, s
0	6,00E+08	399,4
75	1,63E+08	184
100	2,00E+08	200
200	2,70E+08	214
300	2,85E+08	260



Şekil 8. 17: Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 1 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri

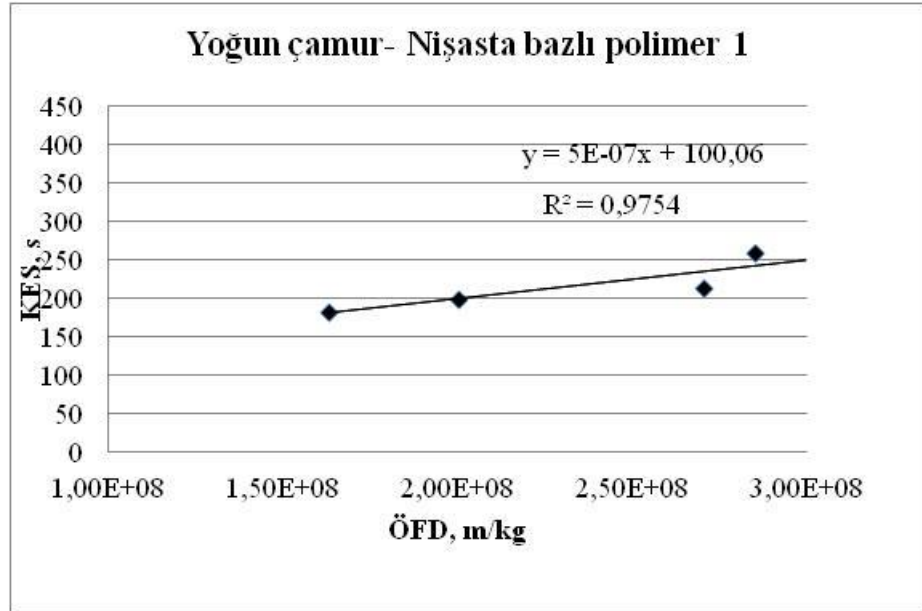


Şekil 8. 18: Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 1 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri

Tablo 8.13, Şekil 8.17 ve Şekil 8.18 incelendiğinde yoğun çamur örneklerinin Nişasta Bazlı Polimer 1 ile şartlandırılması sonucunda her bir uygulama için KES ve ÖFD değerlerinin azaldığı görülmektedir. En düşük KES değeri 75 g/ kg KM

konsantrasyonunun kullanıldığı uygulamada elde edilmiş olup, bu uygulamada KES değeri ham çamura oranla %53,9 azalmıştır. En düşük ÖFD değeri ise yine aynı uygulamada  $1,63 \cdot 10^8$  olarak belirlenmiştir. Ham çamura oranla %64,3 azalmıştır. Sonuçlar ticari polimer ile karşılaştırıldığında, ticari polimerin nişasta bazlı polimer 1'e göre çamurların su verme özelliğinin artırılmasında daha etkili olduğu görülmektedir.

KES ve ÖFD arasındaki korelasyonun belirlenmesi amacıyla oluşturulan grafik Şekil 8.19'da verilmektedir.



Şekil 8. 19 : Yoğun çamurun nişasta bazlı polimer 1 ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri

Yoğun çamurun nişasta bazlı polimer 1 ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri grafiğe geçirildiğinde iki parametre arasında doğrusal olarak %97 gibi yüksek bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu sonuç, çamurların en uygun dozunu belirlemek için kolay sonuç veren KES testinin kullanılabileceğini göstermektedir.

Aktif çamur ile yoğun çamur şartlandırma işlemlerinde KES ve ÖFD parametreleri dikkate alınarak elde edilen en uygun polimer konsantrasyonları

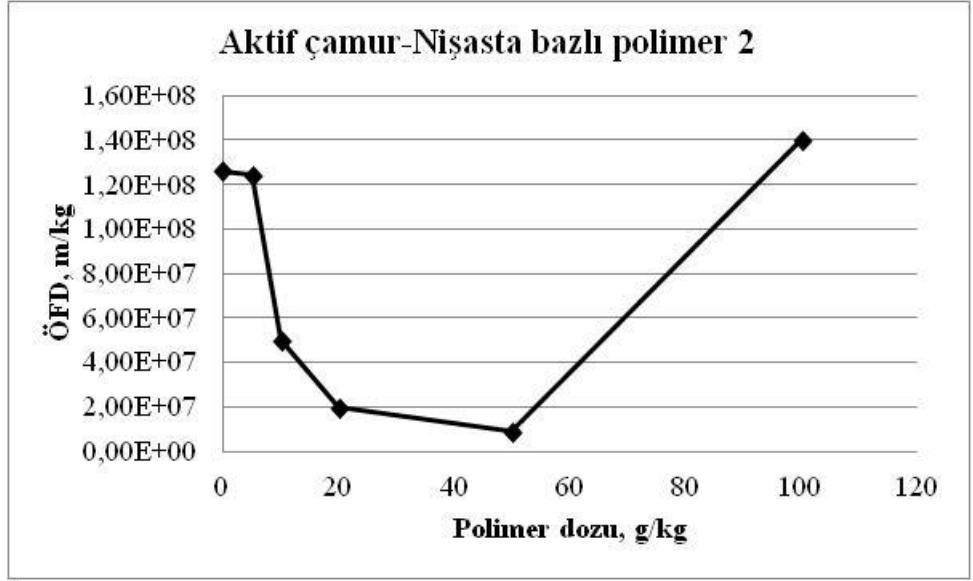
sırasıyla 150 g/ kg KM ve 75 g/ kg KM olarak elde edilmiştir. Bu sonuç çamurda kuru madde içeriğindeki artışın polimer ihtiyacını azalttığını göstermektedir. Aktif çamurun kuru madde içeriği %0,98 iken yoğun çamurun kuru madde içeriği %1,8'dir. Kuru madde içeriğindeki %84 artış polimer gereksinimini %50 oranında azaltmıştır.

### 8.3 Nişasta Bazlı Polimer 2 ile Yürütülen Şartlandırma Çalışmaları

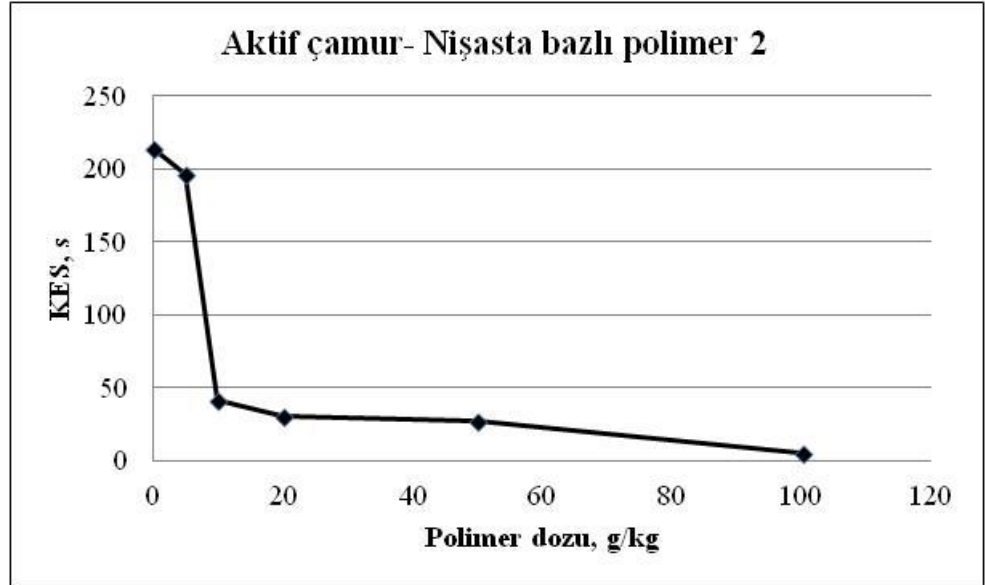
Çalışmada, 5 g/kg KM ve 100 g/kg KM konsantrasyon aralığında polimer konsantrasyonları kullanılmıştır. Klasik jar testi ile şartlandırılan örnekler KES ve Buchner Hunisi testlerine tabi tutulmuştur. Farklı konsantrasyonlarda nişasta bazlı polimer 2 ile şartlandırılan aktif çamur örneklerinde elde edilen KES ve ÖFD değerleri Tablo 8.14'de verilmektedir. Konsantrasyonlara bağlı elde edilen KES ve ÖFD değerleri ise sırasıyla Şekil 8.20 ve Şekil 8.21' de gösterilmektedir.

Tablo 8. 14: Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 2 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD ve KES Değerleri

Nişasta Bazlı Polimer 2 Konsantrasyonu	ÖFD, m/ kg KM	KES, s
0	1,26E+08	214,3
5	1,24E+08	196
10	5,00E+07	42
20	1,95E+07	31
50	9,00E+06	27
100	1,40E+08	5,4



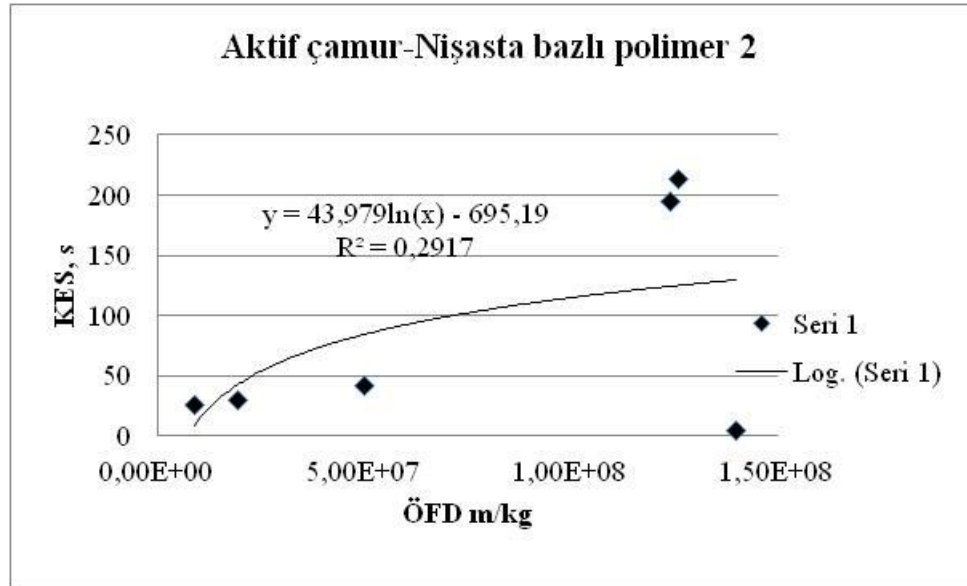
şekil 8. 20: Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 2 Konsantrasyonlarında şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri



şekil 8. 21 : Aktif Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 2 Konsantrasyonlarında şartlandırılması ile Elde Edilen KES Değerleri

Tablo 8.14, Şekil 8.21 ve Şekil 8.22 incelendiğinde aktif çamur örneklerinin Nişasta Bazlı Polimer 2 ile şartlandırılması sonucunda her bir uygulama için KES değerinin azaldığı görülmektedir. En yüksek konsantrasyon olan 100 g/ kg KM uygulamasında en düşük KES değeri elde edilmiş olup, KES değeri 5,4 s olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, artan konsantrasyonlarda çamurların filtrelenebilime özelliğinin arttığını göstermektedir. En düşük ÖFD değerine ise 50 g/ kg KM uygulaması ile ulaşılmıştır. Daha yüksek konsantrasyonlarda ÖFD değeri yükselmiştir. Bu sonuç, daha yüksek konsantrasyonlarda çamurun mekanik su alma işleminde suyunu zor verdiğini göstermiştir. Çamurun suyunu zor vermesi kayma gerilmelerine direnç gösteremediğini ifade etmektedir. 50 g/ kg KM uygulamasında KES ve ÖFD değerleri ham çamura oranla sırasıyla %87,4 ve %93 azalmıştır.

KES ve ÖFD arasındaki korelasyonun belirlenmesi amacıyla oluşturulan grafik Şekil 8.22’de verilmektedir.



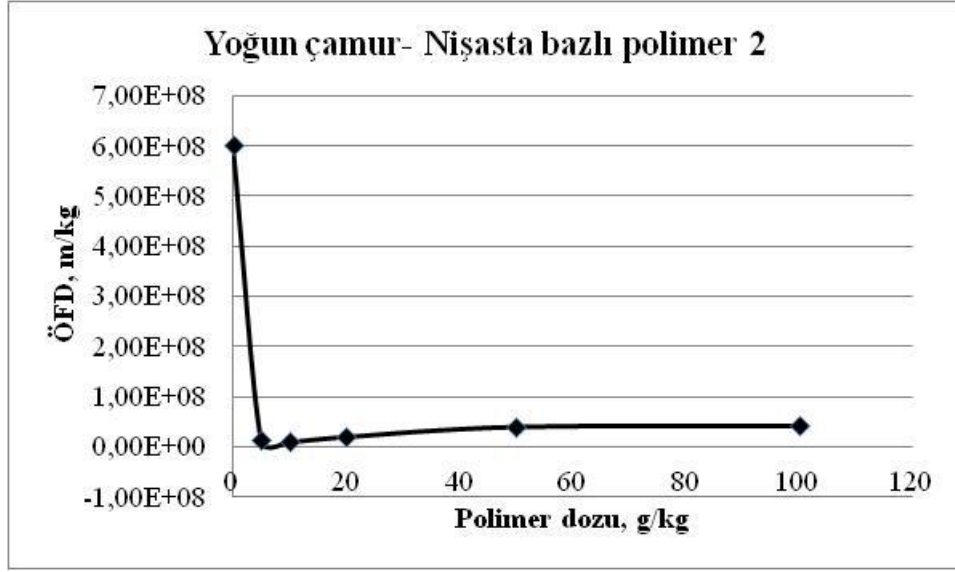
Şekil 8. 22 : Aktif çamurun Nişasta Bazlı Polimer 2 ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri

Aktif çamurun Nişasta Bazlı Polimer 2 ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri grafiğe geçirildiğinde iki parametre arasında logaritmik olarak %29 gibi oldukça düşük bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu sonuç, nişasta bazlı polimer 2 şartlandırıcısının belirli dozların üzerinde mekanik olarak su alma performansının düşmesinden kaynaklanmaktadır.

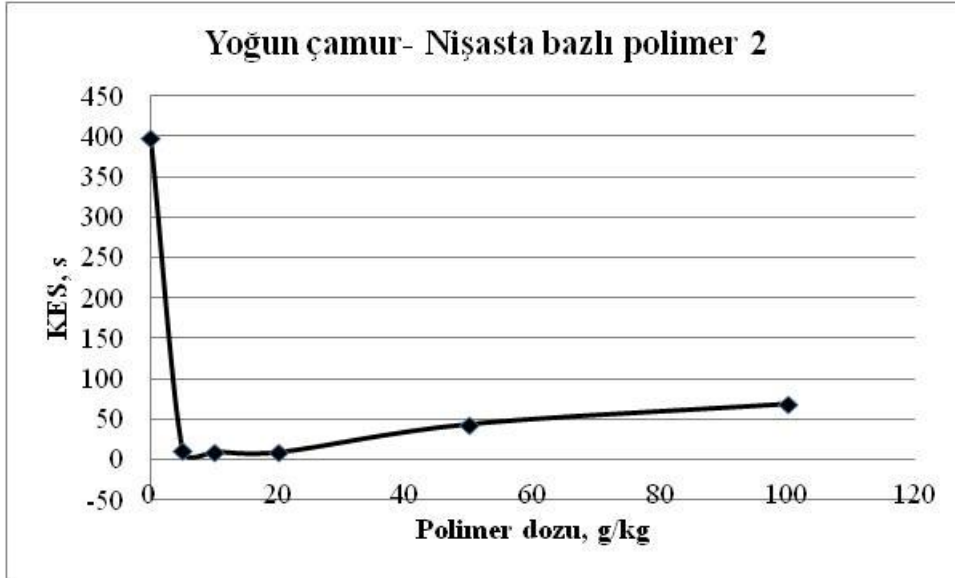
Farklı konsantrasyonlarda Nişasta Bazlı Polimer 2 ile şartlandırılan yoğun çamur örneklerinde elde edilen KES ve ÖFD değerleri Tablo 8.15’ de verilmektedir. Konsantrasyonlara bağlı elde edilen KES ve ÖFD değerleri ise sırasıyla Şekil 8.23 ve Şekil 8.24’de gösterilmektedir.

Tablo 8.15: Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 2 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD ve KES Değerleri

Nişasta Bazlı Polimer 2 Konsantrasyonu	ÖFD, m/ kg KM	KES, s
0	6,00E+08	399,4
5	1,20E+07	11,5
10	1,00E+07	10,1
20	2,00E+07	9
50	4,00E+07	43,95
100	4,20E+07	69,15



Şekil 8. 23 : Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 2 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri



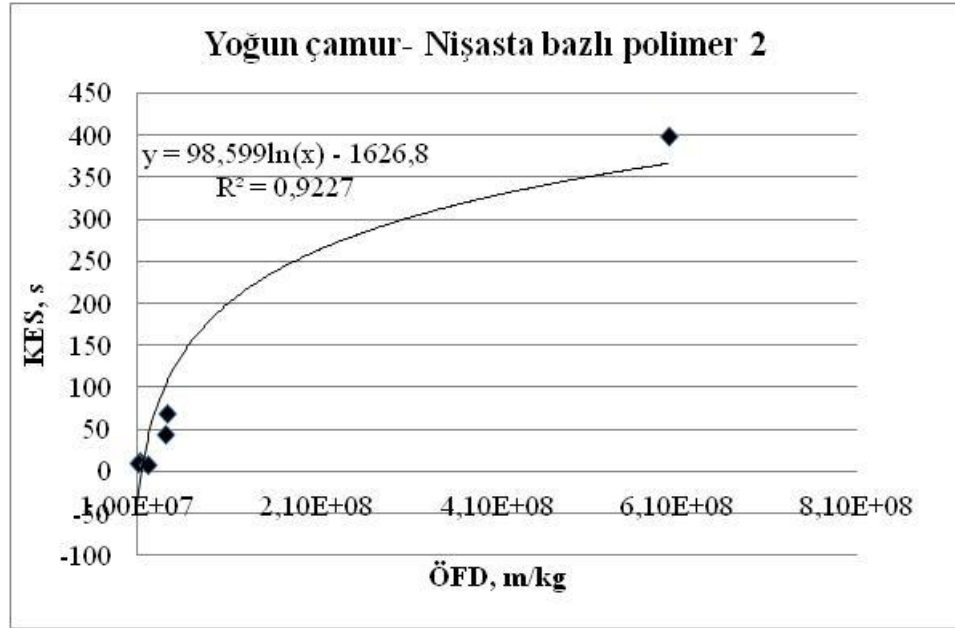
Şekil 8. 24: Yoğun Çamur Örneklerinin Farklı Nişasta Bazlı Polimer 2 Konsantrasyonlarında Şartlandırılması ile Elde Edilen ÖFD Değerleri

Tablo 8.15, Şekil 8.23 ve Şekil 8.24 incelendiğinde yoğun çamur örneklerinin halihazırda kullanılan Nişasta Bazlı Polimer 2 ile şartlandırılması sonucunda her bir



uygulama için KES ve ÖFD değerlerinin azaldığı görülmektedir. KES değerleri incelendiğinde en düşük konsantrasyon olan 5 g/kg KM uygulamasında dahi değer (11,5 s) çok düştüğü görülmektedir. 20 g/ kg KM konsantrasyonunun üzerindeki uygulamalarda ise KES ve ÖFD değerlerinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir. En düşük ÖFD değeri ( $1 \cdot 10^7$ ) 10 g/kg KM uygulamasında elde edilmiş olup, bu uygulamaya ÖFD ve KES değerleri ham çamura oranla sırasıyla %98 ve %97,5 azalmıştır.

Çamurların filtrelenebilme özelliği ve mekanik su alma işlemlerindeki performansı oldukça yüksek olarak belirlenmiş olup; KES ve ÖFD arasındaki korelasyonun belirlenmesi amacıyla oluşturulan grafik Şekil 8.25’de verilmektedir.



Şekil 8. 25 : Yoğun çamurun Nişasta Bazlı Polimer 2 ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri

Yoğun çamurun Nişasta Bazlı Polimer 2 ile şartlandırılması sonucunda aynı uygulamalarda elde edilen ÖFD değerlerine karşı KES değerleri grafiğe geçirildiğinde iki parametre arasında logaritmik olarak %92 gibi yüksek bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu sonuç, çamurların en uygun dozunu belirlemek için kolay sonuç veren KES testinin kullanılabilirliğini göstermektedir.

Aktif çamur ile yoğun çamur şartlandırma işlemlerinde KES ve ÖFD parametreleri dikkate alınarak elde edilen en uygun polimer konsantrasyonları sırasıyla 50 g/ kg KM ve 10 g/ kg KM olarak elde edilmiştir. Bu sonuç çamurda kuru madde içeriğindeki artışın polimer ihtiyacını azalttığını göstermektedir. Aktif çamurun kuru madde içeriği %0,98 iken yoğun çamurun kuru madde içeriği %1,8'dir. Kuru madde içeriğindeki %84 artış polimer gereksinimini %80 oranında azaltmıştır.

## 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tablo 9.16’da şartlandırma uygulamalarında elde edilen en uygun doz, KES ve ÖFD değerleri özetlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde yoğun çamurların su verme özelliklerinin aktif çamur örneklerinden daha iyi olduğu belirlenmiştir. Çamur katı madde içerikleri arttığında polimer gereksinimi azalmıştır.

Tablo 9. 16: Şartlandırma Uygulamalarında Elde Edilen En Uygun Doz, KES ve ÖFD Değerleri

	Aktif Çamur			Yoğun Çamur		
	Konsantrasyon (g/kg KM)	ÖFD (m/kg)	KES (s)	Konsantrasyon (g/kg KM)	ÖFD (m/kg)	KES (s)
Ticari Polimer	100	$1,3*10^6$	9.2	20	$1.10*10^7$	18
Nişasta Bazlı Polimer 1	150	$1,67*10^6$	65,00	75	$1,63*10^8$	184
Nişasta Bazlı Polimer 2	50	$9,00*10^6$	27	10	$1,00*10^7$	10,1

Üç tip polimer şartlandırma performansı açısından karşılaştırıldığında katyonik olan ticari polimer ve nişasta bazlı polimer 2’in çamurların su verme özelliklerini geliştirmede daha etkili olduğunu göstermiştir. Kentsel nitelikli çamurların negatif zeta potansiyeline sahip olması bu sonucu açıklamaktadır. Nişasta bazlı polimer 2 ve ticari polimer uygulamaları karşılaştırıldığında nişasta bazlı polimer 2 şartlandırıcısının daha düşük konsantrasyonda en düşük KES ve ÖFD değerlerini verdiği görülmektedir. Bu sonuç, nişasta bazlı katyonik polimerlerin arıtma tesislerinde şartlandırıcı madde olarak kullanılabileceği ortaya koymuştur. Bu

tip polimerlerin dezavantajı yüksek viskozite içermelerinden dolayı gereğinden fazla dozlama yapıldığında mekanik su alma işlemlerinde sorun oluşturabilecek olmasıdır.

En iyi sonucu veren ticari ve nişasta bazlı katyonik polimerin maliyet açısından değerlendirilebilmesi için birim fiyatlar ve gerekli polimer konsantrasyonu dikkate alınarak bir maliyet değerlendirmesi yapılmıştır.

## 10. KAYNAKLAR

Akbulut D., Dede Ö.H., "Aritma çamurlarının suverme özelliklerinin iyileştirilmesinde biyokütle ve kömür külü ilavesinin etkilerinin incelenmesi", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (5), 907~914, (2017).

AYVAZ Z., "Atık Su Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi", *ÇEVKOR Dergisi*, 9 (35), 3–12, 2000.

APHA, AWWA, WEF; 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18. Baskı.

Cheng Zhu C., Li F., Zhanga P., Ye J., Lub P., Wang H., "Combined sludge conditioning with NaCl-cationic polyacrylamide-rice husk powders to improve sludge dewaterability" *Powder Technology*, 336 (2018) 191–198,(2018).

Chu, C. W., Poon, C. S., Cheung, R. Y. H. (1998). *Characterization of raw sludge, chemically modified sludge and anaerobically digested sludge in Hong Kong*.

Davis M.L (2010). *Water and Wastewater Engineering Design Principles and Practice, McGraw-Hill Companies*.

DAVIS R., J. HALL, "Production, Treatment and Disposal of Wastewater Sludge in Europe from UK Perspective", *European Water Pollution Control*, 7 (2): 9-17, 1997.

Duran ve Demirer; 1997. *Su Arıtımında Temel İşlemler. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası*.

EPA (1987). *Design Manual: Dewatering Municipal Wastewater Sludges. (EPA/625/1-87/014)*. Cincinnati, Ohio 45268.

EPA-625/1-83-016, *Land Application of Municipal Sludge Process Design Manual, USEPA*, 59 – 65, 1983.

FİLİBELİ A., “Aritma Çamuru Tanımı ve Çamur Kaynakları”, Aritma Çamurlarının İşlenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi*, 1 – 25, İzmir, 1998.

FİLİBELİ A., “Aritma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı”, *Aritma Tesislerinin Tasarım ve İşletim Esasları Kursu*, İzmir, 1998.

FİLİBELİ A., BÜYÜKKAMACI N., “Aritma Çamurlarının Bertarafında Mevcut Yasal Mevzuat ve Eksiklikleri”, 3. *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 1–11, 1999.

Fiziksel Ve Kimyasal Temel İşlemler Laboratuvarı, Adsorpsiyon İzotermeleri, *Erciyes Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü* (2016).

Foladori P., Andreottola, G., Ziglio, G. (2010). *Sludge Reduction Technologies in Wastewater Treatment Plants*. IWA Publishing, London.

GÜMÜŞ F. “Edremit Körfezi, Enerji Potansiyeli & Enerji Kaynakları ve Geleceğin Teknolojisi”, *Mühendis Beyinler*, (2015).

GÜNEŞ T. S., Arıtılmış Atık Suyun ve Aritma Çamurlarının Geri Kazanımı”, *Çevre Mühendisliği Uygulamaları*, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası*, 188 – 189, Ankara, 2002.

Güney Afrika Su Araştırma Komisyonu, (2009). Guidelines for the Utilisation and Disposal of Wastewater Sludge, *Volume 3: Requirements for the on-site and off-site disposal of sludge*, JE Herselman and HG Snyman Golder Associates Africa.

KARADUMAN N., *Polimer Malzemeler ve Özellikleri*, <http://kbyapikimyasallari.com/author/nursen/>, (2015).

Marrero T., McAuley B., Sutterlin W., Morris S., Manahan S. (2003). Fate Of Heavy Metals And Radioactive Metals İn Gasification Of Sewage Sludge. *Waste Manage*;24:193–8.

Metcalf&Eddy (2003). *Wastewater Engineering and Reuse*, McGraw Hill.

National Risk Management Research Laboratory, *Center for Environmental Research Information*, Cincinnati, OH.

Qasim S. R. (1999). *Wastewater Treatment Plants; Planning, Design and Operation*, Technomic Publishing Co. Inc.

Spinosa L., Vesilind, P.A. (2001). *Sludge into Biosolids Processing, Disposal and Utilization*. IWA Publishing, London.

Tchobanoglous G., Burton F. L. and Stensel H. D., (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, 4th Edition, *Metcalf & Eddy Inc.*, New York, USA.

TOPRAK H., "Aritma Çamurlarının Nihai Bertaraf Yöntemleri", *Atık Su Aritma Sistemlerinin Tasarım Esasları 2*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, 1–18, İzmir, 2000.

TOPRAK H., Çamurların Susuzlaştırılması, Çevre Mühendisliği Uygulamaları, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası*, 153 – 160, Ankara, 2002.

Türk Çevre Mevzuatı, "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği", *Türkiye Çevre Vakfı Yayını*, 2, 775–831, Ankara, 1999.

Türk Çevre Mevzuatı, "Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği", *Türkiye Çevre Vakfı Yayını*, 2, 855–877, Ankara, 1999.

Turovskiy I. S., Mathai P. K. (2006). *Wastewater Sludge Processing*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

U.S. EPA. (2003a). *Environmental Regulations and Technology, Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge Under 40 CFR Part 503*, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development,

Wang, S. Yang Y.K, Chen X.G. Lv J.Z. Lv, Li. J, "Effects of bamboo powder and rice husk powder conditioners on sludge dewatering and filtrate quality", *International Biodeterioration & Biodegradation*, 124, 288-296, (2017).

*Water Science & Technology* 38, 2, 25-32. Metcalf & Eddy; 1992. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse.

WEF (1995a). Wastewater Residual Stabilization, Manual of Practice FD-9, *Water Environment Federation*, Alexandria, VA.

WEF (1998). Design Of Wastewater Treatment Plants, 4th ed., Manuel of Practise no. 8, vol. 3, chaps. 17-24, *Water Environment Federation*, Alexandria, VA.

WEF (2007). Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants, *Water Environment Federation Press*.

Wu J., Lu T., Bi J., Yuan H., Chen Y., "A novel sewage sludge biochar and ferrate synergetic conditioning for enhancing sludge dewaterability", *Chemosphere*, 10.1016.2019.07.070,(2019).

Yoruç A., Uğraşkan V. "Yeşil Polimerler ve Uygulamaları", *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, AKÜ FEMÜBİD 17(2017) 017102 (318-337).

Zessner M., Lampert, C., Kroiss, H. ve Lindter, S. (2010). Cost Comparison of Wastewater Treatment, *Water Science and Technology*, 62 (2) 223-230.



## 11. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : HAZEL KILINÇ

Doğum Yeri ve Tarihi : DENİZLİ-08.08.1990

Lisans Üniversite : PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ

Elektronik posta : hazel\_\_k@hotmail.com

İletişim Adresi : Mehmetçik Mah. 2561 Sok. No:28  
Daire:3 Pamukkale/DENİZLİ

**Yayın Listesi** :

-