

39692

DONMA-ÇÖZÜLME'NİN ARITMA ÇAMURLARI
SUSUZLAŞTIRILABİLİRLİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Nalân (YOLDAŞ) SOYLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Ağustos 1994

Tezin Savunulduğu Tarih : 2 Eylül 1994

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Hasan Zuhuri SARIKAYA

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Dinçer TOPAÇIK

Prof.Dr. Hasan Ali SAN

EYLÜL 1994

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİSTON MERKEZİ

ÖNSÖZ

Çalışmanın yürütülmesi ve yönlendirilmesinde değerli katkıları, çalışma boyunca gösterdikleri ilgi, teşvik ve destekleri sebebiyle Sayın Hocam Prof. Dr. Hasan Z. SARIKAYA' ya şükranlarımı arz ederim.

Çalışmanın çeşitli safhalarında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Olcay TUNAY, Doç. Dr. Lutfi AKÇA, Dr. Kadir ALP, Kimya Yüksek Mühendisi Cengiz BASKE' ye teşekkürümü bir borç bilirim.

Eylül, 1994

Nalân (YOLDAŞ) SOYLU

İÇİNDEKİLER

NOTASYON LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Çamur Kaynakları	2
1.2. Çamur Miktarı	2
BÖLÜM 2. ÇAMURUN ÖZELLİKLERİ	6
2.1. Fiziksel Özellikler	6
2.1.1. Özgül Ağırlık (Birim Hacim Ağırlığı)	6
2.1.2. Katı Madde Konsantrasyonu	9
2.1.3. Çökelme Özellikleri	12
2.1.4. Dane Boyutu	14
2.1.5. Çamurda Suyun Dağılımı	14
2.1.6. Reolojik Özellikler	15
2.1.7. Özgül Direnç	17
2.2. Kimyasal Özellikler	18
2.2.1. Çamurun Yakıt Değeri (Kalorifik Değeri).....	18
2.2.2. Gübre Değeri	19
2.2.3. Besin Değeri	19
2.3. Biyolojik Özellikler	19
BÖLÜM 3. ÇAMURUN SUYUNUN ALINMASI METODLAR.....	21
3.1. Vakum Filtrasyonu	21
3.2. Santrifüj	22
3.3. Pres Filtreler	22
3.4. Kurutma Yatakları	23
3.5. Donma Yatakları	23
BÖLÜM 4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	27
4.1. Kimyasal Madde İle Şartlandırma	27
ve Optimum Doz Tanımı	
4.2. Donma-Çözülme Yöntemi İle Şartlandırma	33
BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
5.1. Deneyisel Yöntemler ve Esaslar	41
5.1.1. Kimyasal Şartlandırma ve	41
Optimum Doz Tayini	

5.1.1.1. Polimer Hazırlama ve İlâve Etme	42
5.1.1.2. Çamur Örneklerinin Özellikleri	43
5.1.2. Serbest Filtrasyon	43
5.1.3. Donma-Çözülme Prosesi	43
5.1.4. Üzgöl Direnç Ölçümleri	44
5.2. Deney Sonuçları	48
5.1.2. Kimyasal Şartlandırma ve Optimum	48
Doz Tayini	
5.2.2. Üzgöl Direnç Deneyleri	49
5.3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	55
BÖLÜM 6. DONMA YATAKLARININ BOYUTLANDIRILMASI	58
6.1. Tasarım Esasları	58
6.1.1. Yatak Derinliğinin Tahminine Ait	61
Modeller	
6.2. Tasarım Örneği	65
6.2.1. Donma Modeli	66
6.2.2. Çözülme Modeli	66
6.2.3. Boyutlandırma	68
BÖLÜM 7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	71
7.1. Sonuçlar	71
7.1.1. Şartlandırılmış Çamur Örnekleri	72
7.1.2. Donma Çözülme İle Şartlandırılmış	73
Çamur Örnekleri	73
7.2. Öneriler	74
KAYNAKLAR	77
EKLER	79
ÖZGEÇMİŞ	141

NOTASYON LİSTESİ

- a : Sentez Fazında Uzaklaştırılan Her Birim Substrat İçin Üretilen Birim Çamur Miktarını İfade Eden Sabit.
- b : İçsel Solunum Fazında Birim Zamanda Okside Olan MLVSS'in Oranını İfade Eden Sabit.
- C_o : Tesise Girişindeki Katı Madde Konsantrasyonu, Kg/m^3 .
- C : Tesis Çıkışındaki Katı Madde Konsantrasyonu, Kg/m^3 .
- S_w : Çamur Konsantrasyonu, Kg/m^3
- V : Havuz Hacmi, m^3 .
- Q : Tesisin Debisi, m^3/saat .
- S_w : Üretilen Çamur Miktarı, Kg.
- S : Çamurun Özgül Ağırlığı kg m^3 .
- S_s : Çamurun Net Özgül Ağırlığı Kg/m^3 .
- w : Çamurun İ'inci Bileşeninin Ağırlık Oranı.
- S_r : Çamurun İ'inci Bileşeninin Özgül Ağırlığı, Kg/m^3
- TKM : Toplam Katı Madde.
- ÇKM : Çözünmüş Katı Madde.
- AKM : Askıda Katı Madde.
- UKM : Uçucu Katı Madde.
- SKM : Sabit Katı Madde.
- V_s : Çökelen Katı Madde Hacmi, m^3 .
- V_w : Yukarı Hareket Eden Su Hacmi, m^3 .
- t : Zaman, Saat.
- I_v : Çamur Hacim İndeksi.
- U : Hız m/st .
- τ : Kayma Gerilmesi.

P : Basınç N/m^2 .

S : Sıkışma Katsayısı.

P_v : Uçucu Katı Madde Oranı, %.

P_c : Kimyasal Pıhtılaştırıcı Oranı, %.

a,b : Çeşitli Çamurlar İçin Katsayı.

KES : Kapiler Emme Süresi, sn.

BOI : Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı.

TAKM : Toplam Askıda Katı Madde,

V : Hacim, m^3

A : Alan, m^2

μ : Viskozite, $N.sn/m^2$.

K : Permeabilite

H : Kalınlık m.

R : Direnç, m/m^3 .

R_f : Filtre Malzemesi Direnci, l/m.

HA : Kek Hacmi, m^3 .

$\bar{V}$: Birim Hacimdeki Süzüntü Başına Biriken Kek Hacmi.

W : Kek Ağırlığı/Süzüntü Hacmi, Kg/m^3 .

r : Özgül Direnç, m/Kg .

C_k : Kekteki Katı Madde Konsantrasyonu, Kg/m^3 .

C : Ham Çamur Katı Madde Konsantrasyonu, Kg/m^3 .

θ : Çamur Toplama Zamanı, sn, dk.

L : Filtre Verimi, Kg/m^2 sa.

K.P : Kuru Polimer.

b : Eğim, sn/ml^2 .

K.M. : Katı Madde.

D_f : Donma İçin Tasarım Derinliği, m.

P_f : Donma Peryodu, Saat.

T_f	: Donma Sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$.
T_{af}	: Donma Süresince Ortalama Hava Sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$
$\bar{\rho}_f$	: Dondurulacak Çamurun Yoğunluğu, Kg/m^3 .
L	: Gizli Kaynaşma Isısı, $\text{Watt.Saat}/\text{Kg}$.
h_c	: Konveksiyon Sabiti, $\text{Watt}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$.
E	: Çamur Tabakasının Kalınlığı, m .
K_{fs}	: Dondurulacak Çamurun İletkenlik Katsayısı, $\text{Watt}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$.
Y	: Çözülme İçin Tasarım Derinliği, m .
K_{ss}	: Çamurun Termal İletkenliği, $\text{Watt}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$.
θ	: Çökelmiş Çamurun, Çözülen Çamur Birim Derinliği Başına Fraksiyonu.
P_{th}	: Çözülme Periyodu, Saat.
T_{at}	: Çözülme Süresince Ortalama Hava Sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$.
α	: Çamurun Solar Absorbansı.
τ	: Çatı Malzemesinin Geçirgenliği.
$\bar{I}$	: Çözülme Süresince Kritik Güneş Radyasyonu, Watt/m^2 .
a	: Atıksu Katsayısı.

ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL 2.1. Bir Kayma Gerilmesine Maruz Akışkan İçindeki Hız Profili.

ŞEKİL 4.1. Optimum Polimer Doz Tayini.

ŞEKİL 4.2. Donma Süreci

ŞEKİL A.1. Optimum Polimer Doz Tayini, Numune No.1.

ŞEKİL A.2. Optimum Polimer Doz Tayini Numune No.1.

ŞEKİL A.3. Optimum Polimer Doz Tayini, Numune No.3.

ŞEKİL A.4. Optimum Polimer Doz Tayini, Numune No.4.

ŞEKİL B.1. Toplam Katı Maddelerin Ham Çamur Özgül Direnci ve Optimum Polimer Doz İle Olan İlişkisi.

ŞEKİL C.1. Özgül Direnç Grafiği, Numune No.1, Ham Çamur.

ŞEKİL C.2. Özgül Direnç Grafiği, Numune No.1, 3,5 Kg KP/Tonk. M. Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.

ŞEKİL C.3. Özgül Direnç Grafiği, Numune No.1. 7.0 Kg KP/Tonk.M. Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.

ŞEKİL C.4. ÖZGÜL Direnç Grafiği, Numune No.1. 10,5 Kg KP(Tonk.M. Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.

ŞEKİL C.5. Özgül direnç Grafiği, Numune No.1, 14 kg K.P/Tonk. M. Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.

ŞEKİL C.6. Özgül Direnç Grafiği, Numune No.1, 17,5 Kg K.P/Tonk. M. Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.

ŞEKİL C.7. Özgül Direnç, Grafiği, Numune No.1, Donmuş-Çözülmüş Çamur.

ŞEKİL C.8. Özgül Direnç Grafiği Numune No.2, Ham Çamur.

ŞEKİL C.9. Özgül Direnç Grafiği, Numune No.2, 2 Kg K.P/Tonk.M. Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.

ŞEKİL C.10. Özgül Direnç Grafiği, Numune No.2, 4 Kg K.P/Tonk.M.Kat- Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.

ŞEKİL C.11. Özgül Direnç Grafiği, Numune No.2, 6 Kg K.P/Tonk. Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.

- ŞEKİL C.12. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.2. 8 Kg. KP/Tonk.M.
Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.
- ŞEKİL C.13. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.2, 10 Kg. K.P/Tonk.M.
Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.
- ŞEKİL C.14. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.2, 12 Kg. K.P/Tonk.M.
Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.
- ŞEKİL C.15. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.2, 14 Kg.K.P/Tonk.M.
Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.
- ŞEKİL C.16. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.2, Donmuş-Çözölmüş
Çamur.
- ŞEKİL C.17. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.3, Ham Çamur.
- ŞEKİL C.18. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.3, 6 Kg.K.P/Tonk. M.
Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.
- ŞEKİL C.19. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.3, 8 Kg.K.P/Tonk. M.
Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.
- ŞEKİL C.20. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.3, 10 Kg.K.P/Tonk.M
Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.
- ŞEKİL C.21. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.3, 12 Kg K.P/Tonk.M.
Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.
- ŞEKİL C.22. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.3, 13 kg.K.P/Tonk.M.
Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.
- ŞEKİL C.23. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.3, Donmuş-Çözölmüş
Çamur.
- ŞEKİL C.24. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.4, Ham Çamur.
- ŞEKİL C.25. Özgöl Direnç Grafiği, numune No.4, 4 Kg K.P/Tonk.M.
Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.
- ŞEKİL C.26. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.4, 6 Kg.K.P/Tonk. M
Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.
- ŞEKİL C.27. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.4, 10 Kg.K.P/Tonk.M.
Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.
- ŞEKİL C.28. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.4, 12 Kg. K.P/Tonk.M.
Katyonik Polimerle Şartlandırılmış Hacim.
- ŞEKİL C.29. Özgöl Direnç Grafiği, Numune No.4, Donmuş-Çözölmüş
Çamur.
- ŞEKİL D.1. Serbest Filtrasyon Grafiği- Numune No.1; Ham Çamur
Şartlandırılmış Çamur ve Donmuş-Çözölmüş Çamur.

ŞEKİL D.2. Serbest Filtrasyon Grafiği, Numune No.2, Optimum Şartlandırılmış Çamur ve Donmuş-Çözülmüş Çamur.

ŞEKİL D.3. Serbest Filtrasyon Grafiği, Numune No.3, Ham Çamur, Optimum Şartlandırılmış Çamur ve Donmuş-Çözülmüş Çamur.

ŞEKİL D.4. Serbest Filtrasyon Grafiği, Numune No.4, Ham Çamur Optimum Şartlandırılmış Çamur ve Donmuş-Çözülmüş Çamur.



TABLO LİSTESİ

- TABLO 1.1. Çeşitli Kullanılmış Su Tasfiye Tesislerinden Çıkan Çamur Miktarları ve Fiziksel Özellikleri
- TABLO 2.1. Çürümüş ve Çürümemiş Çamurların Kimyasal Bileşimi
- TABLO 2.2. Çeşitli Tasfiye İşlemleri ve Proseslerinde Çamur Katı Madde Konsantrasyonu
- TABLO 3.1. Çamur İşlemleri ve Uzaklaştırma Metodları
- TABLO 4.1. CRREL Pilot Tesis Çamur Susuzlaştırma Performansı
- TABLO 5.1. Çeşitli Çamur Tiplerine Ait Özgül Direnç Değerleri
- TABLO A.1. Özgül Direnç Tablosu Numune No.1 ve Numune No.2
- TABLO A.2. Özgül Direnç Tablosu Numune No.3 ve Numune No.4
- TABLO C.1. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar Numune No.1; Ham Çamur
- TABLO C.2. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar Numune No.1; Şartlandırılmış Çamur 3.5 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde; 7.0 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde
- TABLO C.3. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar, Numune No.1; Şartlandırılmış Çamur; 10.5 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde; 14 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde
- TABLO C.4. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar, Numune No.1; Şartlandırılmış Çamur; 17.5 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde; Donmuş-Çözülmüş Çamur
- TABLO C.5. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar, Numune No.2; Ham Çamur
- TABLO C.6. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar, Numune No.2; Şartlandırılmış Çamur; 2 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde; 4 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde
- TABLO C.7. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar; Numune No.2; Şartlandırılmış Çamur, 6 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde, 8 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde

- TABLO C.8. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar, Numune No.2; artlandırılmış amur; 10 Kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde; 12 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde
- TABLO C.9. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar, Numune No.2; artlandırılmış çamur; 14 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde; Donmuş-çözölmüş amur.
- TABLO C.10. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar, Numune No.3; Ham amur
- TABLO C.11. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar, Numune No.3; artlandırılmış çamur; 6 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde; 8 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde
- TABLO C.12. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar, Numune No.3; artlandırılmış çamur; 10 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde; 12 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde
- TABLO C.13. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar, Numune No.3, artlandırılmış çamur, 13 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde; Donmuş-çözölmüş amur
- TABLO C.14. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar, Numune No.4; Ham amur
- TABLO C.15. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar, Numune No.4; artlandırılmış çamur; 4 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde; 6 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde
- TABLO C.16. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar, Numune No.4; artlandırılmış amur; 10 Kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde; 12 kg. Kuru Katyonik Polimer/Ton Katı Madde
- TABLO C.17. Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar; Numune No.4; Donmuş-çözölmüş amur
- TABLO D.1. Serbest Filtrasyon Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar; Numune No.1
- TABLO D.2. Serbest Filtrasyon Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar; Numune No.2
- TABLO D.3. Serbest Filtrasyon Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar; Numune No.3
- TABLO D.4. Serbest Filtrasyon Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar; Numune No.4

ÖZET

Bu çalışmada, donma-çözülme ile şartlandırma yönteminin aktif çamurun susuzlaştırılabilirliği üzerine etkisi incelenmiş ve ülkemiz için bu yöntemin bir uygulaması olan donma-yatağı tasarımı ve boyutlandırılması yapılmıştır.

Birinci bölümde çamur kaynakları ile bu kaynaklardan meydana gelen çamur miktarının nasıl bulunacağı ele alınmıştır.

İkinci bölümde çamurun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinden kısaca sözedilmiştir.

Üçüncü bölümde çamur suyunun alınması için kullanılan vakum filtre, basınçlı filtre, santrifüj, çamur kurutma ve donma yataklarından sözedilmiştir.

Dördüncü bölümde çamurun kimyasal madde ile şartlandırılması, optimum doz tayini ve donma-çözülme yöntemi ile ilgili daha önceki çalışmaları içeren bir literatür araştırması verilmiştir.

Beşinci bölümde Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Sistemi ile çalışan evsel atıksu arıtma tesisi son çökeltme tankı çıkışından alınan dört adet aktif çamur numunesi üzerinde yapılan; kimyasal şartlandırma, optimum doz tayini ve donma-çözülme ile şartlandırmaya ait deney sonuçları ve bunların kritikleri verilmiştir. Yedi gün süre ile dondurulup çözülen numunelerin özgül direnç değerlerinde önemli bir azalma görülmüş fakat bu numunelerde kimyasal şartlandırma daha iyi sonuçlar vermiştir. Sekiz gün süre ile dondurulup çözülmeye bırakılan numunenin özgül direnç değeri ise kimyasal şartlandırma sonucu elde edilen özgül direnç değerinden daha düşük olmuştur. Laboratuvar ölçeğinde hazırlanmış olan kum yataklardan süzme işlemine ait veriler de bu sonuçları desteklemiştir.

Altıncı bölümde Donma-Çözülme'nin bir uygulaması olan Donma Yatağına ait tasarım esasları ve bir örnek verilmiştir.

Yedinci bölümde deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve öneriler sunulmuştur.

THE EFFECT OF FREEZE-THAW CONDITIONING ON THE WATER AND WASTEWATER TREATMENT SLUDGES

SUMMARY

Sludge Dewatering is a severe problem for most water and wastewater treatment facilities. This problem is compounded in cold regions because of the harshness of the climate and the remoteness of most communities. Equipment and spare parts are difficult to obtain, and skilled operators are scarce.

For these reasons, complex mechanical dewatering methods are often undesirable. Some natural methods of dewatering, such as drying beds, have been used, but to be effective they must be oversized to compensate for the short drying season.

A simple and more appropriate method of dewatering sludges in cold climates is to use natural freeze-thaw. Several investigators have shown that freezing followed by thawing effectively conditions sludges and makes them easier to dewater. Freeze-thaw conditioning appears to be effective on all aqueous sludges as long as they are not flash-frozen.

When water in sludge freezes, it excludes colloidal and suspended solids pushing the solids ahead of the frozen front. The colder the final temperature and the longer the frozen sludge storage time, the greater the effect of freeze thaw on the sludge dewaterability after thawing. The most dramatic effect on dewaterability results from the rate of freezing, with slow freezing rates producing better dewatering sludges. These results suggest that if the freeze thaw system is to be placed into commercial operation, thin layers of sludge must be frozen slowly for long periods, thereby promoting the growth of crystals that will exclude the solid particles and promote particle aggregation.

A specially designed unit operation utilizing natural freeze-thaw for sludge dewatering has been suggested by several investigators. Combining the concepts presented in the literature and observations of sludge freezing operations on drying beds and

lagoons, a new operation was called a sludge freezing bed was developed. To maximize sludge dewatering by natural freeze-thaw this bed includes the following features:

1- It is designed to apply in several thin layers rather than a single thick layer. Each layer is applied as soon as the previous layer has frozen. This will increase the freezing rate and maximizes the total depth of the sludge which can be applied.

2- The bed is covered to prevent snow and rain from entering it. This feature is critical if the bed is to utilize all of the available freezing time in the winter. An open freezing bed would have less capacity because snow accumulations on the surface would slow down the freezing rate. Also, snow removal would be practically impossible if a large snowfall occurred soon after sludge was applied. In this case the operator would have to delay snow removal until the frozen sludge was thick enough to support snow removal equipment. A covering would also prevent rainfall from rewetting the thawed sludge.

3- The sides of the bed are left open to allow free air circulation. However, a half-wall or louvered wall is recommended to prevent drifting snow from entering the bed. Also, the roof is made to be transparent so that solar radiation can help thaw and dry the sludge in the spring. Incoming solar radiation in the winter is expected to be negligible because of the sun's low azimuth and the likelihood of the snow on the roof. Once thawing is complete in the freezing beds, the remaining solids are removed with a front-end loader or other equipment.

The sludge freezing bed could be used as the sole method of dewatering or in combination with other methods, such as drying beds. If used as the only method of dewatering, a storage facility is needed to contain the sludge during the summer months. The storage facility could be a lagoon, tank, or a digester if excess capacity were available. If used in combination with other dewatering methods, the bed is sized to handle the winter sludge production only. A combination of freezing and drying beds is particularly attractive in temperate regions because both methods can be operated under optimum climatic conditions for natural dewatering.

In this study, the effect of freeze thaw conditioning on dewaterability of waste-activated sludge is investigated, and, a freezing bed which is an application of this method is designated for our country.

The sludge sources and quantities are given in the first chapter. After the sludge from water and waste water treatment facilities are defined, the quantities and physical characteristics of it are presented in a table.

In the second chapter; physical, chemical and biological characteristics of the sludge from water and waste water treatment facilities are described.

The specific gravity which is one of the physical characteristics is defined, and, after its approximately value is given, it is described how to calculate. Then, the chemical components of digested and undigested sludge are shown in the table. The classification of total solids in the sludge is defined and their analysis methods are given. The table including the sludge solids concentration for various treatment processes is presented. Sludge volume index defining the sludge settling characteristics is described. The particle size of the sludges and its importance for various treatment units are discussed. The water forms in the sludge are defined. The rheological characteristics of the sludge is explained. At the end of the definition of the physical characteristics of the sludge, the specific resistance to filtration is defined.

In the definition of the chemical characteristics of sludge, calorific and composting values are discussed.

In the definition of the biological characteristics of sludge the pathogen microorganisms and the enzymes in the sludge are shortly described.

In the third chapter, several sludge dewatering processes such as vacuum filtration, filter-press, centrifugation, sludge drying beds and freezing beds are discussed, and, sludge treatment and disposal methods are shown in the table.

In the forth chapter, the literature review including the sludge conditioning and the freeze-thaw conditioning of the sludge are presented.

The chemicals used for conditioner are clasified, and, the previous studies including the affect of the polymer and sludge characteristics on the selection of polymer type and dose requirement are presented in this chapter. The experimental studies for the specific resistance to filtration of the various sludge types were discussed using the different polymer types as conditioners. In a result of these studies, it was provided that the specific resistance to filtration was decreased by addition of the suitable polymer type.

Obtainable minimum specific resistance to filtration was depended on the initial specific resistance to filtration and the solids concentration on the filter cake was increased by the addition of the polymer, in the most-of the sludge types.

Also, the studies for the freezing process of the sludges are given in this chapter. In this studies it is shown that the freeze-thaw process was more effect on the sludge including the smaller particles and on the longer freezing times and on the lower freezing temperatures.

The freezing beds as an application of the freeze-thaw method are defined, and, a table for the dewaterability at the various sludge types frozen in the freezing beds is given. These results are determined by the pilot-scale studies. The freezing and thawing models for design depths are presented.

In the fifth chapter the experimental results and their criticals on the conditioning with polymer and on the optimum dose determination and on the freeze-thaw conditioning of the four sludge samples taken from secondary settling tank of the domestic water treatment plant are discussed. The polymer make up and addition are described and the calculation methods used for determining the specific resistance to filtration are discussed. Also, the specific resistance to filtration values for the various sludge types are presented in the table.

The specific resistance to filtration is determined by means of Buchner Funnel test. Then, dewaterability of the sludge conditioned by chemicals and the frozen-thawed sludge is compared with each other based on the total and suspension solids content and initial specific resistance to filtration values.

The raw sludge, the conditioned sludge and the frozen-thawed sludge are filtrated on the sand beds prepared laboratory-scale and the volumes versus the time are recorded.

The specific resistance to filtration value of the sludge is decreased by the freeze-thaw conditioning, but, this value is more larger for the sludge samples conditioned by chemicals. The specific resistance to filtration value of the frozen-thawed sludge sample during the eight days is more smaller than the sludge conditioned by chemical. The data obtained from the filtration with sand beds supported these results.

In the sixth chapter, after the design criteria of the freezing bed is given, the design example of freezing bed is accomplished for our country. The advantages of the freezing beds are given, and operation of the freezing beds is described. The freezing and thawing models of the design depths are discussed.

The values for Sarıkamış village are used in the example of the freezing bed design.

In this example, the limited factor is freezing depth and this value is used for calculations.

The requirement of the area for only freezing bed is 1028 m^2 and for combination of the freezing and drying beds is 1290 m^2 (drying bed 856 m^2 + freezing bed 434 m^2), and only for drying bed is 1460 m^2 . The plan and section of the freezing bed is given at the end of this chapter. In the seventh chapter, the results from experimental studies are summarized and evaluated for our country. Based on these results, the recommendation is given for our country.

Also, A scheme showing the parts of the climatic regions for our country is presented in this chapter. In according this scheme the most suitable region for the freezing beds is the fourth region. The combination of the freezing and drying beds is recommended in this region.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çevre Mühendisliğinde, su ve kullanılmış su tasfiyesi sırasında önemli hacimde çamur meydana gelir. Çoğu zaman bu çamurların, çevreye zarar vermeden uzaklaştırılması büyük problemler çıkarmasının yanında malî açıdan da ilâve bir yük getirir. İçme suyu tasfiye tesisinden çıkan çamurlar uzaklaştırılırken, organik olmadıklarından zararları az olur veya hiç olmaz. Ancak depolama ve yer işgali yönünden problem doğururlar.

Kullanılmış su tasfiye tesisinden çıkan çamurlar organik asıllı olduklarından zamanla çürürler, etrafa kötü koku yayarlar ve hastalık yapan mikroorganizmaları üreterek tehlikeli olmaya başlarlar. Bu çamurları zararsız hale getiren ünitelerin yapımında büyük hacimli çamurlar, büyük hacimde üniteler gerektireceğinden tesis maliyetini artırırlar. Kullanılmış su tasfiyesinde meydana gelen çamur, tasfiye edilen suyun % 1-6'sını teşkil etmekle beraber, çamur tasfiye ünitelerinin maliyeti tüm tesis için ilk yatırım maliyetinin % 30-40'ına işletme masrafı ise tüm işletme masrafının % 50'sine ulaşabilir. Bu bakımdan çamur hacminin düşürülmesi; çamur tasfiyesi ve uzaklaştırılmasının maliyetini azaltacaktır. Bu ise çamurun yoğunlaştırılması veya katı madde yüzdesinin artırılması ile mümkündür.

Bu maksatla çamur yoğunlaştırma veya çamur suyunun alınması işlemleri uygulanır. Çamur yoğunlaştırmada katı madde muhtevası % 15'e kadar çıkarılabilir; bu durumda çamur, sıvı özelliğinde olup pompa ile basılabilir. Çamur suyunun alınması işlemleri ile katı madde muhtevası % 20'in üzerine çıkarılır ki; bu durumda çamur, katı özelliğinde olup kürek veya başka bir aletle kolayca

uzaklaştırılabilir.

Çamur suyunun alınması yöntemlerinden biri olan donma-çözülme yöntemi uzun zamandır bilinmekle beraber bunun uygulaması olan donma yatağı Üniteleri son birkaç yıldır geliştirilmiştir. Özellikle soğuk bölgelerde çamur kurutma yataklarının yerini alan bu uygulama ile su ve atıksu çamurlarının; katı madde muhtevaları % 20'den fazla olacak şekilde susuzlaştırılabilirdikleri görülmüştür.

Bu çalışmada aktif çamurun kimyasal madde ile şartlandırılması, optimum doz tayini ve donma-çözülme yöntemi ile ilgili araştırma ve teorik esaslar verildikten sonra, uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi ile çalışan bir evsel atıksu arıtma tesisi son çökeltme tankından alınan çamur numuneleri üzerinde bu esasların uygulaması yapılmıştır. Buchner Hunisiyle yapılan deneyler sonucunda her bir çamur numunesinin özgül direnci tespit edilmiştir. Daha sonra bu numunelerin kimyasal şartlandırılmış ve donma-çözülme işlemine tabi tutulmuş hacimlerinin suyunu verme özellikleri; toplam ve askıda katı madde muhtevaları ve başlangıç özgül direnç değerleri esas alınarak değerlendirilmiştir. Ham çamur, kimyasal madde ile şartlandırılmış çamur ve donma-çözülme işlemine tabi tutulmuş çamur tipleri Laboratuvar ölçeğinde hazırlanmış kum yataklarda süzölmüş ve zamana karşı hacimler not edilmiştir. Deneysel çalışmalara ait sonuçlar birbiri ile mukayese edilerek, donma-çözülme yönteminin çamurun susuzlaştırılabilirliği üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca donma-çözülme yönteminin uygulaması olan donma yatağı Ünitesine ait tasarım esasları verilerek ülkemiz için örnek bir uygulama yapılmıştır.

1.1. Çamur Kaynakları

Tasfiye işlemi esnasında meydana gelen, katı maddelerce zenginleşmiş artıklara çamur denir. Çamur, kullanılmış su tasfiye tesisleri planlamasında ve projelendirilmesinde etkili bir faktördür.

İçme suyu tasfiyesinde, çökelme havuzlarında ve filtre geri yıkama sularının çökmesi işlemlerinde çamur meydana gelir. Bu çamur inorganik bir çamurdur. Kullanılmış su tasfiyesinde ise ön çökelme havuzlarında meydana gelen çamura ham primer çamur denir. Son çökeltme havuzundan gelen çamur ise tasfiye tipine göre aktif çamur veya biyolojik film çamur adını alır. Bunların ham primer çamurla karıştırılmasıyla karışık çamur elde edilir. Yine kullanılmış su tasfiye tesislerinde bu çamurlar çürümeye tabi tutulur. Çürütme işleminden geçen çamura da çürümüş çamur denir. Ayrıca tasfiye işlemi esnasında çökeltim verimini artırmak için kimyasal madde ilave ediliyorsa, tasfiye işlemi sonunda ilk çöktürme havuzunda meydana gelen çamurlar da kullanılan koagülant maddelere göre isim alırlar.

1.2. Çamur Miktarı

Kullanılmış su tasfiye tesislerinde Biyokimyasal oksidasyon sırasında çoğalan mikroorganizmalar ortamdaki katı madde miktarının esasını teşkil eder. Bunun bir kısmı iç solunum olayı sırasında ortadan kalkacağından meydana gelen katı madde miktarı biyolojik olay sonunda ortaya çıkan katı madde ile iç solunum yolu ile yok edilen katı madde miktarı farkına eşittir. Biyolojik olay sonucu ortaya çıkan katı madde miktarı sistemin yaptığı organik maddelerin yani BOI_5 değerinin bir kesrini (a) ile ve iç solunum yolu ile yok edilen katı maddelerde Sw 'nin bir kesrini de (b) ile gösterirsek:

$$\text{Çamur miktarı} = a(C_o - C) Q - b.S_w'V \dots\dots\dots(1)$$

Burada;

Kullanılmış sular için:

a : 0,5 - 0,73 arasında

b : 0,075-0,125 arasında bir değer

C_o: Tesise girişteki katı madde konsantrasyonu , Kg/m³

C : Tesisten çıkıştaki katı madde konsantrasyonu, Kg/m³

S_w' : 0.6 S_w = Çamur konsantrasyonu, Kg/m³

V : Havuz hacmi, m³

Q : Tesisin Debisi, m³/Gün

olmaktadır.

Eğer biyolojik faaliyet mevcut değilse yani organik bir çamur yoksa, buna göre;

$$\text{Çamur miktarı} = (C_o - C). Q \dots\dots\dots(2)$$

ifadesiyle bulunur. Tasfiye tesislerinden çıkan çamurların miktarı ve bazı özellikleri Tablo 1.1'de verilmiştir.

TABLO 1.1. Çeşitli Kullanılmış Su Tasfiye Tesislerinden Çıkan Çamur Miktarları ve Fiziksel Özellikleri (Aral, 1980).

Tasfiye İşlemi	Çamur Katı Maddesi Özgül Ağ. Kg/m ³	Çamur Özgül Ağırlığı Kg/m ³	Kuru Katı Madde kg/10 ³ .m ³	
			Alt-Üst Sınırlar	Ortalama
Ön Çöktürme	1.4	1.02	110-170	150
Aktif Çamur	1.25	1.005	70-100	85
Damlatmalı Filtre Çamuru	1.45	1.025	55-90	70
Uzun Havalandırma Çamuru	1.3	1.015	80-120	100 ^a
Havalandırmalı Lagun Çamuru	1.3	1.010	80-120	100 ^a
Filtrasyon	1.2	1.005	10-20	15
Alg Kazanma	1.2	1.005	10-25	15
Fosfor Gidermek İçin Kimyasal Madde İlaveli Ön Çöktürme				
Düşük Kireç (350-500 mg/lt)	1.9	1.04	250-400	300 ^b
Yüksek Kireç (800-1600 mg/lt)	2.2	1.05	600-1280	800 ^b

(a) Ön Çöktürme Yok

(b) Ön Çöktürme Çamuru

BÖLÜM 2. ÇAMURUN ÖZELLİKLERİ

Kullanılmış sularıntasfiye tesisi planları ve işletmeleri birbirinden farklı olduğundan bu tesislerden çıkan çamurların özellikleri de birbirinden çok farklıdır. Çamurların bazı özelliklerinin ölçülmesi, sistemin planlanmasında ve işletilmesinde önem kazanır. Çünkü çamurun karışık yapısı sebebiyle temel parametreler değeri sınırlıdır. Bunların bazılarının geliştirilmesi gereklidir.

2.1. Fiziksel Özellikler

2.1.1. Özgül Ağırlık (Birim Hacim Ağırlığı)

Bir maddenin ağırlığının eşdeğer su hacmine olan oranına özgül ağırlık denir. Çamurun özgül ağırlığı yaklaşık olarak 1.0 Kg/m^3 tür. Şayet 1000 lt çamur 1010 gr geliyorsa bunun özgül ağırlığı;

$$S = \text{Çamur özgül ağırlığı} = \frac{1010 \text{ (gr)}}{1000 \text{ (lt)}} = 1.01 \text{ Kg/m}^3 \text{ olarak}$$

bulunur.

Değişik bileşenlerden oluşan çamurun özgül ağırlığı aşağıdaki ifade ile bulunabilir.

$$\frac{1}{S_s} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{w_i}{S_i} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Burada;

S_s = Çamurun net özgül ağırlığı, Kg/m^3

w_i = Çamurun i'nci bileşeninin ağırlık oranı veya katı madde % si

S_i = Çamurun i'nci bileşeninin özgül ağırlığı, Kg/m^3

Örneğin çamur bileşenleri aşağıda verildiği gibi ise;

		Katı Madde % si
Buharlaşılabilen maddeler : S = 1		% 5
Sabit katı maddeler : S = 2,5		% 5
Su : S = 1		%90

Çamurun özgül ağırlığı:

$$\frac{1}{S_s} = \left(\frac{0.05}{1.0} + \frac{0.05}{2.5} + \frac{0.90}{1.0} \right)$$

$S_s = 1.03$ bulunur.

Çürümüş ve çürümemiş çamurların kimyasal bileşimi ile ilgili değerler Tablo 2,1'de görülmektedir.

TABLO 2.1. Çürümüş ve Çürümemiş Çamurların Kimyasal Bileşimi (Aral, 1980).

	Çürümemiş Primer Çamur		Çürümüş Çamur	
	Alt-Üst Sınır Ortalama		Alt-Üst Sınır Ortalama	
Toplam Kuru Katı Madde % (TK)	2 - 8	5	6 - 12	10
Yanıcı Katı Madde % (TK)	60 - 80	65	30 - 60	40
Yağ ve Gres (Etende gözlemlenir) % (TK)	6 - 30	—	5 - 20	—
Protein % (TK)	20 - 30	25	15 - 20	18
Azot (N) % (TK)	1,5 - 5	4	1,6- 6	4,0
Fosfor (P_2O_5) % (TK)	0,8 - 3	2	1,5- 4	2,5
Potasyum (K_2O) % (TK)	0 - 1,0	0.4	0- 3	1
Selüloz (% TK)	8 - 15	10	8 - 15	10
Demir (Sülfid Olmayan)	2 - 4	2,5	3 - 8	4
Silika (SiO_2) % (TK)	15 - 20	—	10 - 20	—
pH	5 - 8	6	6,5-7,5	7
Alkalinite (mg/lit, $CaCO_3$)	500 - 1500	600	2500-3500	3000
Organik Asit (mg/lit, HAC)	200 - 2000	500	100-600	200

2.1.2. Katı Madde Konsantrasyonu

Çamurların katı madde konsantrasyonu çoğunlukla mg/lt veya % katı madde olarak ifade edilir. Çamur çok konsantre olmayıp özgül ağırlığı 1000 kg/m^3 değerine yakınsa $10.000 \text{ mg/lt} = \%1$ katı madde eşitliği yazılabilir. Özgül ağırlığı yüksek olan bileşenlerden meydana gelmiş çamurlar için, bileşke özgül ağırlığı 1000 kg/m^3 ten büyük olacağından mg/lt şeklinde tarif edilen konsantrasyon ile % de şeklinde tariflenen konsantrasyon arasında yukarıda verilen eşitlik geçerli olmayacaktır. Çamurun içindeki toplam katı madde süspansiyon ve çözünmüş olarak iki kısımda bulunur. Süspansiyon madde tayininde, çamur filtreden süzülerek, filtreden geçmeyen kısım bir saat 103°C ' de kurutulur ve oda sıcaklığında bir saat soğutulduktan sonra tartılarak filtre kağıdı ağırlığı tartım değerinden çıkartılır. Sonuç süspansiyon madde miktarını verir.

Süspansiyon maddeden, $400-600^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kaybedilen madde miktarı uçucu madde miktarını verir. Uçucu madde miktarını toplam katı madde miktarından çıkartmak suretiyle de kalıcı madde miktarı bulunur (Aral, 1980).

Bir çamur kütlesindeki katı maddeler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Aral, 1980).

TKM : Toplam katı madde

ÇKM : Çözünmüş katı madde

AKM : Askıdaki katı madde (süspansiyon madde)

UKM : Uçucu katı madde (uçucu süspansiyon madde)

SKM : Sabit katı madde (kalıcı süspansiyon madde)

Katı maddelerin ölçülmesi buharlaştırma yoluyla yapılır. Bir çamur numunesi iyice karıştırıldıktan sonra (üniform dağılım elde etmek için) darası belli bir kapta (100 ml lik porselen kaplar) buharlaştırılır. Sonra 103°C ' de rutubetinin gitmesi için bekletilir. Tartılarak darası

çıkartılır. Geriye kalan miktar katı madde ağırlığını verir. Eğer çamur numunesi süzülerek (filtre kağıdı vs) buharlaştırılır ve aynı işlem yapılırsa çözünmüş katı madde miktarı bulunmuş olur. Konsantrasyon mg/lt olarak hesaplanır. Tablo 2.2' de çeşitli çamurlara ait katı madde konsantrasyonları verilmiştir. Bazı araştırmacılar konsantrasyonu rutubet yüzdesi olarak ifade etmişlerdir. Şöyleki;

$$\% \text{ Katı Madde} = 100 - \% \text{ Rutubet}$$

Kullanılmış su tasfiye tesisi projelendirilmesinde çamur özgül ağırlığı 1.01 olsa bile, %1 çamur önemli bir katı madde konsantrasyonudur. Çoğu kimyasal çamurlar ağırdır. Buna karşılık biyolojik çamurların özgül ağırlığı 1.01 den daha küçüktür. Kurutulmuş aktif çamur için 1.08 bulunmuştur. Kullanılmış su çamurunun özgül ağırlığı 1.0 den büyük olduğu için bu çamurlar çöker (Aral, 1980).

TABLO 2.2. Çeşitli Tasfiye İşlemleri ve Proseslerinde Çamur Katı Madde Konsantrasyonu (Aral, 1980).

İşlem veya tatbik edilen proses	Çamur katı madde konsantrasyonu % kuru katı madde	
	Alt-Üst Sınır	Ortalama
<u>Ön Çöktürme Tankı :</u>		
Primer Çamur	4 - 12	5.0
Sulandırılmış primer çamur	0,3 - 3	1,5
Primer ve aktif çamur	3 - 10	4
Primer ve Damlatmalı filtre çamuru	4 - 10	5
Fosfor gidermek için demir ilave edilmiş primer çamur	2 - 8	4
Fosfor gidermek için yüksek dozda kireç ilaveli primer çamur	4 - 16	10
<u>Son Çöktürme Tankı:</u>		
Ön çöktürme ile aktif çamur	0,5 - 1,5	0,75
Aktif çamur	0,75 - 2,5	1,25
Pür oksijen aktif çamur ile ön çöktürme	1,25 - 3	2
Pür oksijen aktif çamur	1,5 - 4	2,5
Damlatmalı filtre çamuru	1 - 3	1,5
<u>Köpüklü Çamur (Scum)</u>	3 -10	5
<u>Graviteli Yoğunlaştırıcılar:</u>		
Primer çamur	6 - 12	8
Primer ve aktif çamur	3 -10	4
Primer ve damlatmalı filtre çamuru	4 -10	5
<u>Yüzümlü Yoğunlaştırıcılar:</u>		
Aktif çamur	3 - 6	4
<u>Anaerobik Çürütücü:</u>		
Primer çamur	5 -10	7
Primer ve aktif çamur	2,5 - 7	3,5
Primer ve damlatmalı filtre çamuru	3 - 8	4
<u>Aerobik Çürütme:</u>		
Aktif çamur	0,75- 2,5	1,25
Aktif çamur ve primer çamur	1,5 - 4	2,5
Primer çamur	2,5 - 7	3,5

2.1.3. Çökelme Özellikleri

Çamurlar çökelme özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Katı madde konsantrasyonu yüksekse çökelme yavaş, seyreltilmiş çamurlarda ise çökelme hızlı olur. Zira bir çamur bileşenine ait dane çökerken eşdeğer hacimdeki su kitlesini yukarı doğru hareket ettirmek zorundadır. Çökelmenin sonunda yukarı hareket eden su kütlesi ile çökelen dane arasında hacimsel bir denge meydana gelir. Yani;

$$\frac{dV_s}{dt} = \frac{dV_w}{dt} \dots\dots\dots(4)$$

Burada;

- V_s : Çökelen katı madde hacmi, m³
 V_w : Yukarı hareket eden su hacmi, m³
 t : Zamanı ifade etmektedir, saat

Eğer çamur katı madde taneleri arasında çok sayıda boşluk bulunursa su daha kolay yukarı çıkar. Bu sebepten seyreltik çamur daha hızlı konsantre çamur daha yavaş çöker.

Çamurların çökebilme özelliklerini belirlemek için çamur hacim indeksi I_v tariflenmiştir. Hacim indeksi 1 lt lik silindirde çamurun 30 dakika müddetle çökmesi sonunda 1 gram çamurun hacmi olarak tariflenir. Burada dikkat edilmesi gereken husus cıdar tesiri ile engellenmiş çökelmenin meydana gelmemesidir.

Çamur yüksekliği ml cinsinden tariflenirse;

$$I_v = \frac{\text{ml çamur yüksekliği}}{\text{mg/lt askıdaki katı madde}} \times 1000 \dots(5)$$

şeklinde yaklaşık bir ifade yazılabilir (Aral, 1980).

2.1.4. Dane Boyutu

Çamur içindeki daneler sadece boyut bakımından değil şekilleri bakımından da değişkendir. Bu bakımdan çamurların dane boyutları ile karakterize edilmesi oldukça zordur. Çamur, sadece farklı boyutlu danelerden meydana gelmiş olmayıp, dane boyutları zamanla ve deney şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Deney tipi ve çamurun geçirdiği safhalar açık olarak belirtilmedikçe dane boyutlarının ölçülmesi mükemmel bir şekilde yapılmış olmaz. Yumaklaşmış çamurların boyutu; yoğunlaştırma ve çamur suyunun alınmasında büyük önem taşır. Su oranı ve çamur içindeki katı madde miktarı ölçülebilirse çamurun karakterize edilmesi kolaylaşır.

2.1.5. Çamurda Suyun Dağılımı

Kimyasal çamurlarda % 98-99 oranında bulunan suyun dağılımı tam olarak bilinmemektedir.

Bir yaklaşıma göre çamur içindeki su dört kısımda incelenmiştir (Aral, 1980)

1- Serbest Su: Danelere herhangi bir şekilde tutunmamış gravitasyonel çökme ile uzaklaştırılabilen sudur.

2- Flok Suyu: Flok içinde tutulan su olup flokla birlikte hareket eder. Bu suyun giderilmesi mekanik olarak flokların parçalanmasından sonra mümkündür.

3- Kapiler su: Münferit tanelere tutunur ve bu tanelerin sıkıştırılıp şekillerinin bozulmasıyla uzaklaştırılabilir.

4- Partikül Suyu: Taneye kimyasal olarak bağlıdır. Ancak basınç, ısı gibi kimyasal ve termodinamik etkenler

ile ayrılabilir.

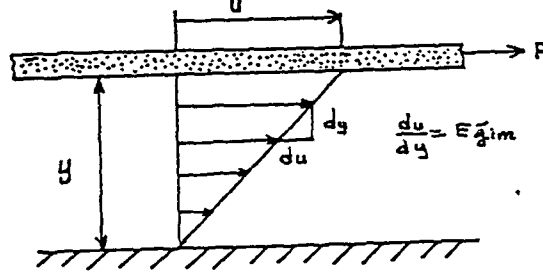
Bu özelliklerin görülebilmesi için , 1 litrelik mezür içine çamur numunesi konur ve çökmeye bırakılır. Bir müddet sonra çökelen kısmın yüksekliği ölçülür. Bu kısmın üstündeki su serbest sudur. Çöken kısım santrifüje konup biraz beklendikten sonra yine çöken kısmın üstündeki su flock suyu, santrifüjün hızı artırılıp danelerin şeklinin değişmesi ve iyice sıkışmasına kadar beklenir ve üstündeki su ölçülürse kapiler su miktarı bulunmuş olur. Toplam su belli olduğuna göre; Toplam su-Flok Suyu-Kapiler Su-Serbest Su=Partikül suyu elde edilir.

Bazı deneyler neticesi su dağılımı aşağıdaki oranlarda bulunmuştur (Aral, 1980).

Serbest Su	% 75
Flok Suyu	% 20
Kapiler Su	% 2
Partikül Suyu	% 2,5
Dane	% 0,5
Toplam	% 100

2.1.6. Reolojik Özellikler

Bütün akışkanlar, kendi akış özelliklerine göre veya reolojilerine sınıflandırılabilirler. Reolojinin en uygun ölçümünden biri, klasik olarak verilen bir kayma kuvvetine göre akışkanın birim zamandaki deformasyon hızı olarak ifade edilen vizkozitedir. Şekil 2.1'de bir u hızı ile hareket eden üst yüzey ile sabit bulunan alt yüzey arasındaki akışkan gözönünde bulundursun: Bu u hızı üst yüzeyin maruz bulunduğu birim alandaki kayma kuvvetinin sonucudur. Meydana gelen hız profili bir çok akışkanlar için eğimi du/dy olan doğru bir çizgiden ibarettir.



ŞEKİL 2.1. Bir Kayma Gerilmesine Maruz Akışkan İçindeki Hız Profili (Aral, 1980).

Bu du/dy eğimi, yer değiştirme ile kayma kuvveti arasındaki lineer bir bağıntıdan ibaret olup, bu bağıntı

τ ile orantılı $\frac{du}{dy}$, $\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy}$ (6) şeklinde verilir.

μ Burada orantılılık sabitesi olup, buna viskozite adı verilir.

Çoğu akışkanlar yukardaki bağıntıya uygun olarak davranan akışkanlar olup, bu akışkanlar Newtonien akışkanlar gurubu olarak adlandırılabilir. Yani, Newtonien akışkanlar, kayma gerilmesi yer değiştirmenin hızı ile orantılı olan akışkanlardır. Bununla beraber bu şekilde davranmayan akışkanlar da mevcuttur. Örnek olarak deforme olmaya başlamadan önce belirli bir miktarda kayma gerilmesi gerektiren plastik akışkan verilebilir.

Kullanılmış suların tasfiyesinden elde edilen çamurların bir çoğu ne Newtonien akışkan nede plastik akışkan özelliğindedir. Bunların ikisinin arasındadır. Bu tip akışkanlara zahiri plastik (pseudo plastik) akışkanlar adı verilir ve aşağıdaki denklem bu akışkanlara uygulanabilir.

$$\tau = \tau_A + \eta \cdot \frac{du}{dy} \dots\dots\dots(7)$$

Burada;

τ_A : Akışkanın deforme olmadan taşıyabileceği kayma gerilmesi

η : Rijitlik katsayısı veya plastik viskozite

2.1.7. Özgül Direnç

Çamurlar herhangi bir filtre malzemesi üzerinden serbest veya basınçlı sızdırmaya tabi tutulduğunda çamuru teşkil eden katı maddeler de ayrıca bir filtre görevi yapacağından filtrasyona olan direnç, özgül direnç (r) olarak tariflenmiştir. Özgül direnç çamurun tamamen fiziksel özelliklerini belirleyen boyutlara bağlıdır.

Basınç ve özgül direnç arasındaki bağıntı, çamurları bu açıdan iki sınıfa ayırmaya imkân vermektedir.

$$\frac{r_2}{r_1} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^S \dots\dots\dots(8)$$

Burada;

S : Sıkışma katsayısıdır.

Denklem (8) de görüldüğü gibi tatbik edilen basınca ve S değerine göre çamurun özgül direnci değişebilmektedir.

- a) "Sıkışabilen" çamurlarda basınç değişikliği, özgül direncin değişmesine yol açar, S değeri sıfırdan farklıdır.
- b) "Sıkışmayan" çamurlarda ise, basınç değişikliği herhangi bir şekilde özgül direnci değiştirmez. Yani S sıfıra eşittir.

2.2. Kimyasal Özellikler

Gerekişme suyu tasfiyesi sonucu, gerek evsel kullanılmış suların tasfiyesi sonucu, gerekse endüstriyel kullanılmış su tasfiyesi sonucunda meydana gelen çamurların kimyasal özellikleri hakkında bir genelleme yapmak oldukça güçtür. İçme suyu ve evsel kullanılmış sular için istatistikî değerler vermek mümkündür. Ancak endüstrinin kullandığı hammadde ve işlem şekline göre farklı kimyasal özelliklerde çamur meydana geleceğinden endüstriyel atıksular için ortalama değerler vermek mümkün değildir.

2.2.1. Çamurun Yakıt Değeri (Kalorifik Değeri)

Tasfiye sonunda meydana gelen katı maddelerin yakıt değeri genellikle kalorimetre ile ölçülür. Evsel kullanılmış sulardan meydana gelen çamurlar için gözlenen yakıt değerleri ile uçucu katı maddelerin yakıt değeri arasında oldukça iyi bir ilişki kurularak aşağıdaki ifade elde edilmiştir (Aral, 1980).

$$Q = 555,269 \frac{a(100 - P_v - b)}{(100 - P_c)} \cdot \frac{(100 - P_c)}{100} \text{ kcal/kg} \quad (9)$$

Bu ifade de;

P_v : % olarak uçucu katı madde oranı

P_c : % olarak kimyasal pıhtılaştırıcı oranı

a, b : çeşitli çamurlar için katsayı

Formül ile elde edilen sonuçlar fosil yakıtları ile mukayese edilebilmektedir. Çamur ne kadar iyi kurutulursa kurutulsun içerisinde yinede % 10 civarında ıslaklık bulunduğundan çamurların yakıt değeri düşüktür ve yakmak için ayrıca yakıcı maddeye ihtiyaç göstermektedir. Bundan dolayı böyle bir uygulama ekonomik olmamaktadır.

2.2.2. Gübre Değeri

Sunî gübre yapımında, kullanılmış sulardan elde edilen çamurları kullanmak bir çok ülkede halen uygulanmaktadır. Evsel kullanılmış sularda potasyum ve sodyum miktarları ortalama olarak bilindiğine göre bu tip suların tasfiyesi sonucu meydana gelen çamurlardaki potasyum ve sodyum miktar ve oranları uygunsa tarımda gübre olarak kullanılabilir. Endüstri kullanılmış suları içinde zehirli maddelerin varlığı söz konusu olduğu zaman gübre olarak kullanılmaları uygun değildir. Bu bakımdan çamurların gübre değerlerini tespit ederken içerisindeki zehirli maddelerin konsantrasyonunun da gübre olarak kullanılmasını önleyecek seviyeden düşük olması gerekmektedir.

Sunî gübrelerde potasyum ve sodyumun yanında büyük oranlarda azot ve fosfat bileşikleri de bulunacağına göre, bu elementlerin gübre yapılacak çamurlarda hangi oran ve miktarda bulundukları, o çamurun ticari gübre olarak kullanılıp kullanılmayacağını tayin eder.

2.2.3. Besin Değeri

Aktif çamurlar protein açısından zengin oldukları için uygun bir teknoloji ile aktif çamurlardaki proteinlerden hayvan yemi yapmak mümkündür. Fakat çamurun sağlık yönünden elverişli şartlara getirilerek yem olarak kullanılabilmesi yüksek maliyet gerektirdiğinden yem yapımında kullanılması tercih edilmemektedir.

2.3. Biyolojik Özellikler

Kullanılmış suların tasfiyesinde meydana gelen çamurlarda iki önemli konu; toxonomi (organizmaların sınıflandırılmaları) ve patojen organizmaların varlığı

olmaktadır.

Bir çamur kütlesinin sayılamıyacak kadar çok farklı kaynağı olabileceği ve her bir kaynaktan gelen besin ile değişik organizmaların bu kütlede yer alacağı düşünülürse bu kütlede, hastalık yapan (patojen) mikro organizmaların üremesi mümkündür. Bunların cins ve miktarlarını tespit etme zorluğundan dolayı, biyolojik ve biyokimyasal özelliklerin çamur için bir genellemesinin yapılması zordur. Çamur da bulunan su giderici enzimlerin varlığı ile çamurların su verme kapasitesi arasında bir ilişki olduğu tahmin edilmektedir. Bu sebeple, doğal sızma özellikleri iyi olmayan çamurlara enzimler ilâve edilerek sızma kolaylaştırılabilir veya çamur daha stabil hale getirilebilir (Aral, 1980).

BÖLÜM 3. ÇAMURUN SUYUNUN ALINMASI METODLARI

3.1. Vakum Filtrasyonu

Çamur içindeki yüksek su miktarı filtre özelliği taşıyan, değişik malzemeden yapılmış bezler üzerine vakum tatbik edilerek giderilir. Genellikle tambur şeklindedir. Bez bu tamburun üzerine sarılır, bu bez suyu geçirip çamuru tutma özelliğine sahiptir. Çamur bez üzerine yapışır. Tambur çamur haznesinin içine dalarak döner ve suyu alınacak çamurla temasa geçer. Batık haldeki filtre ünitesine genellikle 50-60 cm Hg vakum tatbik edilir. Bu sırada filtre yüzeyine ortalama % 40 çamurla batık halde temastadır. Vakum sebebiyle uygun kalınlıkta (genellikle 8 - 10 mm) bir çamur tabakası filtre malzemesine yapışır. Emilen su tekrar tasfiye tesisine verilir. Tambur üzerindeki suyu alınmış çamur (kek) küreyici veya mekanik bir teçhizatla sıyrıl-mak üzere ocaklara gönderilir, veya başka bir metodla uzaklaştırılır.

Vakum filtrelerinde kurutulmuş çamurlarda kuru katı madde yüzdesi % 25-30 civarındadır. Filtre malzemesi pamuk, yün ve sentetik elyaftan dokunmuş olup, çamurun kurutulup uygun bir düzenle sıyrılmasına imkan verecek şekilde tamburlar üzerine gerilir. Vakum filtrasyonunda kullanılmış su çamurları filtreye gelmeden önce çürütülür. Çamur suyunun kolay alınması için içine kimyasal maddeler ilave edilebilir.

Vakum filtrede amaç;

- 1- Yüksek katı madde konsantrasyonlu filtre keki
- 2- Temiz bir süzüntü
- 3- Uygun filtre verimi

elde etmektir.

Vakum filtrede çamur katı madde konsantrasyonu, filtre verimi üzerine önemli bir etki yapar. Filtre verimi; birim zamanda birim alanda meydana gelen çamur keki miktarı olarak tarif edilir. Çamur katı madde konsantrasyonu arttıkça ilave edilecek kimyasal madde miktarıda azalır.

Tasfiye işleminin dışında çamurun kalma süresi ne olursa olsun daima filtre edilebilme özelliğini azalttığı görülmüştür.

Çamurun filtre edilebilme ölçülerinden biri olan (KES) kapiler emme süresinin yüksek olması durumunda, çamurun filtre edilebilme özelliği düşüktür. Uzun depolama süreleri kapiler emme süresini arttırır. Çamur sıcaklığı ve akışkanın vizkozitesi de filtre edilebilme özelliğine etkimektedir.

3.2. Santrifüj

Merkezkaç kuvveti esasına göre çalışır. Katı madde yüzdesi % 1 - 5 arasındaki aktif çamurlar ve en az %10 katı madde konsantrasyonuna sahip olan çürütülmüş ilk çökeltim havuzu çamurları için devamlı veya fasıllı çalışan santrifüj sistemlerle çamur suyunu gidermede, katı madde oranını %25-30'a kadar çıkarmak mümkün olmaktadır. Verimin yüksek olabilmesi için ayrılacak katı maddelerin özgül ağırlıkları farkı büyük olmalıdır. Bu metodla küçük danecikleri sudan ayırmak daha zordur. Çünkü kütle dane çapının küpü ile azalmaktadır. Ağır ve büyük daneler kenarda toplanır. Merkeze doğru gittikçe dane büyüklüğü ve konsantrasyonu azalır.

3.3. Pres Filtreler

Pres filtreler mekanik basınç tatbik ederek çamur içindeki su miktarını azaltır. Çamur filtre hücreleri arasına konarak sıkıştırılır.

Filtre malzemesinden geçen sular duru su haznesine akar.

amurlar iki filtre malzemesi arasında kalır. Zaman zaman dışarı alınır. Geri kaçmaları önlemek için ham çamur girişinde ve duru su çıkışında sübap tertibatı yapılmıştır. Mekanik basınçla çalışan değişik yapıda filtreler mevcuttur.

3.4. Kurutma Yatakları

Çürümüş amurlar, organik maddelerinin büyük bir kısmı indirgenmiş olduğundan zararsız özelliktedir. Su muhtevası az olmasına nazaran akıcı olup çamura göre kolayca pompalanabilmektedir. Suyunu kolayca verir ve kururlar. Eğer tasfiye tesisi yakınında yeterli miktarda alan mevcutsa altı drene edilmiş kum yatakları kullanılır. Çamurun kum yatağı üzerinde 20 cm. civarında bir kalınlık teşkil etmesi uygun olur. Genellikle st açık olur. Bazı hallerde üstü kapalı da yapılırılar. Kurutma yataklarında su muhtevası % 50'ye kadar düşürülür.

3.5. Donma Yatakları

Donma yatağı, çamurun bir kaç tabaka halinde donması için kafi derinliğe sahip olan ve yeraltına inşa edilen bir beton yapıdan ibaret olmaktadır. Girişte verilen eğim, giriş çamurunun yatağın her yerine düzgün bir şekilde yayılmasını donma ve zlme tamamlandıktan sonra çamurun araçlar vasıtasıyla uzaklaştırılmasını temin etmektedir. Yatağın ıkış kısmı fazla çamurun veya zlme sırasında oluşan çamur st suyunun uzaklaştırılması için dren vanaları veya çıkış borusu ile donatılmıştır. Yatağın tabanında kum ya da tel ızgaradan oluşan bir drenaj sistemi mevcuttur. Tüm fazla çamur ve erimiş sular bir kuyuda toplanarak tekrar tesis girişine pompalanır.

Donma yatakları, kış mevsiminin başında işletmeye alınır. Tesis operatörü çamurun ilk tabakasını; günlük ortalama sıcaklık, donma noktasının altına düşer düşmez yatağa serer. Bu tabakanın kalınlığı 8 cm. olmalıdır. Daha ince bir tabaka tavsiye edilmez; çünkü çamur, viskoz kuvvetlerin etkisiyle yatak üzerinde düzgün bir şekilde yayılamayabilir. Daha kalın bir tabaka ise, donma süresini geciktirir ve dondurulacak olan toplam çamur miktarının azalmasına sebep olur. İlk tabaka donar donmaz, ikinci tabaka uygulanır. İkinci tabaka donduktan sonra üçüncü tabaka serilir ve bu şekilde kış mevsiminin sonuna kadar devam edilir. Her tabaka, bir termostatik kontrolle, otomatik veya manuel olarak uygulanabilir.

Kış mevsiminin sonunda, biriktirilen donmuş çamur tabakaları çözölmeye bırakılır ve drene edilir. Çözölme yukarıdan aşağı ve kenarlardan içeri doğru gerçekleşir. Erimiş sular, aerobik koşulları muhafaza etmek için hemen drene edilmelidir. Çözölme tamamlandıktan sonra kalan katı maddeler ya hemen uzaklaştırılmalı ya da arzu edilen katı madde muhtevasına ulaşıncaya kadar yatakta bırakılmalıdır. Çamurlar bir el arabası vasıtasıyla veya başka bir araçla uzaklaştırılabilir. Eğer elverişli hava şartları olursa yatağa daha fazla çamur verilerek kurutma yatağı olarak kullanılabilir.

Donma yatakları, çamurun susuzlaştırılması için tek başına bir yöntem olarak veya kurutma yatakları gibi diğer yöntemlerle birlikte kullanılabilir. Susuzlaştırma metodu olarak sadece donma yatakları kullanılırsa, yaz ayları süresince çamurun biriktirileceği bir depo gerekli olmaktadır. Bu depo bir lagün, tank hatta kapasitesinin yeterli olması halinde bir digester (çürütme ünitesi) olabilir. Diğer susuzlaştırma metodlarıyla birlikte kullanılırsa, yatak sadece kış aylarında üretilecek olan çamur miktarına göre boyutlandırılır. Özellikle ılımlı bölgeler için donma ve

kurutma yataklarının birlikte kullanımı cazip olabilir; çünkü her iki metod da doğal susuzlaştırma ile çamur muhtevasını artırmaktadır. Tablo 3.1.A ve 3.1.B'de çamur işlemleri ve uzaklaştırma metodları verilmiştir.

TABLO 3.1. A.Çamur İşlemleri ve Uzaklaştırma Metodları (Aral, 1980).

Temel İşlem veya Tasfiye Metodu	Maksat
<u>İlk İşlemler:</u>	
Çamur parçalama (tığütme)	Boyut azaltmak
Kum yakalayıcı	Kumunu giderme
Çamur karıştırma	Karışım
Çamur depolama	Depolama
<u>Yoğunlaştırma:</u>	
Gravite ile yoğunlaştırma	Hacim azaltmak
Yüzümme ile yoğunlaştırma	Hacim azaltmak
Sentrifüj	Hacim azaltmak
<u>Stabilizasyon:</u>	
Klorlama	Stabilizasyon
kireçle dengelama	Stabilizasyon
Isıl işlem	Stabilizasyon
Anaerobik çürütme	Stabilizasyon, katı madde azaltılması
Aerobik çürütme	Stabilizasyon katı madde azaltılması
<u>Şartlandırma:</u>	
Kimyasal şartlandırma	Çamur şartlandırma
Isıl işlem	Çamur şartlandırma
<u>Dezenfeksiyon:</u>	
Dezenfeksiyon	Dezenfeksiyon
<u>Suyunun Alınması:</u>	
Vakum filtre	Hacim azaltmak
Pres filtre	Hacim azaltmak
Yatay bent filtre	Hacim azaltmak
Sentrifüj	Hacim azaltmak
Kurutma yatakları	Hacim azaltmak
Lagun	Depolanmak, hacim azaltmak
Dorma Yatakları	Hacim azaltmak

TABLO 3.1. B. Çamur İşlemleri ve Uzaklaştırma Metodları.

Temel İşlem veya Tasfiye Metodu	Maksat
<u>Kurutma:</u>	
Flaş kurutucu	Ağırlık azaltmak, Hacim azaltmak
Püskürtme kurutucu	Ağırlık azaltmak, Hacim azaltmak
Döner kurutucu	Ağırlık azaltmak, Hacim azaltmak
Çok gözlü kurutucu	Ağırlık azaltmak, Hacim azaltmak
<u>Kompostlaştırma:</u>	
Kompostlaştırma	Kompost,
(Sadece çamur için)	Kompost, Hacim azaltmak
Katu artaklarla birlikte kompostlaştırma	Kompost, Hacim azaltmak
<u>Temel İşlemler:</u>	
Çok gözlü - Fırın	Hacim azaltma, Kaynak kazanmak
Fludize yatakta yakma	Hacim azaltma
Flaş tutuşturucu	Hacim azaltma
Katu artak ile yakma	Hacim azaltma
Katu artak ile pürliz	Hacim azaltma, Kaynak kazanmak
Islak hava ile oksidasyon	Hacim azaltma
<u>Nihai Uzaklaştırma:</u>	
Arazi Doluluma	Nihai uzaklaştırma
Toprağa Seme	Nihai uzaklaştırma
Tekrar kullanma	Nihai uzaklaştırma, Kaynak kazanma
Reklamasyon	Nihai uzaklaştırma, arazi kazanılması

BÖLÜM 4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde Aktif Çamurların kimyasal şartlandırılması ve donma-çözülme ile şartlandırılmasına yönelik araştırmalar ve teorik esaslar verilmektedir.

4.1. Kimyasal Madde İle Şartlandırma, ve Optimum Doz Tanımı

Atıksulardan veya endüstriyel atık arıtma sistemlerinden kaynaklanan çamurun arıtılması ve bertaraf edilmesi belki de en kompleks problem olmaktadır. Çamurun hacmi genellikle yüksek olmakta ve su muhtevası % 99 ya da daha fazla olmaktadır. Su muhtevasının minimuma indirilmesi çamurun arıtılması ve bertaraf edilmesini kolaylaştırmak açısından önem taşımaktadır. Bu amaçla çamur tipine, kaynağına ve hacmine bağlı olarak bir çok çamur susuzlaştırma teknikleri kullanılmaktadır. Bu tekniklerin daha faydalı kullanımı için uygulamadan önce çamur kimyasal maddelerle şartlandırılmaktadır.

Çamurun şartlandırılmasında kullanılan kimyasal maddelerin çoğu inorganik koagülantlar ve organik polielektrolitler olmak üzere 2 Grupta toplanabilmektedirler. Bu iki grup arasındaki en önemli fark, polielektrolit (polimer) kullanımında karıştırma ve ilâve edilen doz çok önemliyken; inorganik koagülantların kullanımında bu kadar büyük önem taşıyor olmasıdır. Polimer kullanımında fazla karıştırma ve aşırı dozlama çamur susuzlaştırmada problemlere sebep olurken; inorganik koagülantların kullanılmasında bu durum nâdiren gözlenmektedir.

Polimerlerin, inorganik şartlandırıcılara göre bazı avantajları bulunmaktadır. Optimum şartlandırma, inorganik koagülânlara göre daha düşük polimer dozlarında elde edilebilmekte böylece malzeme temini ve depolama problemleri azaltılmaktadır. Ayrıca, polimerlerin yapı, yük, yük şiddeti ve moleküler ağırlıkları değişmekte ve bu yüzden çeşitli çamur tipleri için uygun olabilmektedirler.

Novak ve O'Brien (1975), kimyasal çamurların şartlandırılmasında Polimerlerin ve çamur özelliklerinin; polimer seçimi ve doz ihtiyacı üzerine etkilerini incelemiş ve değerlendirmiştir. Bu inceleme ve değerlendirme çalışmalarında polimer ve çamurlara ait dikkate alınan özellikler aşağıdaki gibi olmaktadır:

a) Çamur Özellikleri:

1. Tip (Alüm, kireç, demir veya kombinasyonu)
2. pH
3. K.M. yüzdesi
4. Özgül direnç
5. Filtre Kek Katısı (A.K.M.)
6. Sıkıştırılabilirlik

b) Polielektrolit (Polimer) Özellikleri

1. Moleküler ağırlık
2. Yük (Anyonik, katyonik, noniyonik)
3. Yük dağılımı
4. Polimer kimyası

Farklı çamur tipleri üzerine polimer etkisini ölçmek üzere çalışmalar yapılmış ve her bir çamura ait özgül direnç, polimer dozunun fonksiyonu olarak tespit edilmiş ve özgül direnç hızlı bir şekilde azalmıştır.

Novak ve O'Brien, şartlandırılacak olan çamur tipinin; polimer doz ihtiyacını ve minimum özgül direncin elde edilebilirliğini etkilediğini bulmuşlardır. Çamurların çoğunda, min. özgül direncin elde edilmesi öncelikle çamurun başlangıçtaki özgül direncine bağlı olmaktadır. Aynı zamanda, polimerle şartlandırmanın, özgül direnç deneyi ile ölçülebilen katı madde konsantrasyonuna etkisi de incelenmiştir. Birkaç saha ve pilot tesis çalışması; polimerle şartlandırmanın filtre edilmiş çamurun (filtratın) katı madde konsantrasyonunu artırılabilirliğini göstermiştir. Bu çalışmadan elde edilen veriler, polimer ilâvesinin filtre kekindeki katı maddeyi (AKM) çok az artırdığını göstermiştir.

Çamurun sıkıştırılabilirliğindeki değişimler de polimerle şartlandırılmış bir kaç çamur tipi için ölçülmüştür. Polimer ilâvesiyle, sıkıştırılabilirlik katsayısının önemli ölçüde arttığını görülmüştür.

Genel olarak, Novak ve O'Brien kimyasal çamur üzerine polimer etkisinin özgül direnci düşürdüğünü filtre kekindeki katı madde konsantrasyonunu çok az yükselttiğini ve çamur sıkıştırılabilirliğini artırdığını bulmuşlardır. Polimer özelliklerinin çamur susuzlaştırma üzerine etkisini araştıran çalışmalardan elde edilen verilere dayanılarak, aşağıdaki sonuçlar verilmiştir.

1- Polimerlerin moleküler ağırlıkları arttıkça, polimer doz ihtiyaçları azalmıştır. 1×10^6 'dan daha düşük moleküler ağırlıklarda polimerler kimyasal çamur şartlandırmasında etkisiz olmuşlardır. Genel bir kural olarak, polimerin moleküler ağırlığı arttıkça, ihtiyacı azalmıştır.

2- Polimerler çamurun pH değerlerine göre değişik sonuçlar vermişlerdir. Noniyonik ve hafif kuvvette anyonik polimerler pH 6 ile 8.5 arasında iyi sonuçlar

vermişlerdir. Yüksek kuvvette anyonikler 8.5'tan daha yukarı pH değerlerinde iyi sonuçlar vermişlerdir. Katyonik polimerler ise en iyi sonucu çamurun nötr ile çok az asidik olduğu durumlarda vermiştir.

Zamanın önemli bir kısmı için bekletilen kimyasal çamurlar, bekletilmemiş ham çamurlardan farklı özellikler göstermektedirler. Bu çamurlar organik madde içerdikleri zaman; bekletme, özgül dirençte bir artışa ve çamur üst suyunda bulanıklılığa sebep olmaktadır.

Uzun süreli depolamanın polimer ihtiyacı üzerine etkilerini tespit etmek için, Higgensville'den alınan çamur örnekleri laboratuvarda oda sıcaklığında 3 ay bekletilmiştir. Daha sonra çamur aynı polimerler kullanılarak şartlandırılmıştır. Sonuç olarak, polimer ihtiyacındaki artış kabul edilemeyecek derecede olmuştur.

Novak ve Haugan (1980) tarafından yapılan bir araştırma katyonik polimerle aktif çamurun susuzlaştırılabilirliğinin ıslahına ait mekanizmanın daha iyi anlaşılmasını sağlamayı amaçlamıştır. Flok yüzey modeline dayanılarak, polimer dozunun ve karıştırmanın çamur susuzlaştırma ve flok stabilitesi üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar bir pilot ölçekli filtre preste geliştirilmiş ve test edilmiştir.

Sonuçlara göre, aktif çamur şartlandırıcısı olarak ilâve edilen katyonik polimerlerin öncelikle biyokolloidleri nötralize ettiği görülmüştür. Karıştırma işlemine ait verilerden; karıştırma hızı artırıldıkça, flok yüzeyinden kopan biyokolloidleri nötralize etmek için katyonik polimer ihtiyacının da arttığı sonucuna varılmıştır.

Yavaş karıştırılmış çamur için gerekli optimum doz miktarı hızlı karıştırılmış çamur için gerekli miktarın 1/3'ü kadar olmuştur.

Katyonik polimerler düşük karıştırma hızlarında ilave edildiği zaman aktif çamur için ihtiyaç duyulan katyonik polimer ihtiyacının katı madde konsantrasyonundan hemen hemen bağımsız olduğu görülmüştür. Katı madde konsantrasyonuna karşı bu duyarsızlığın; katyonik çamur şartlandırıcılarının, adsorbe edilmemiş anyonik biyokolloidlerle veya bunların supernatant fraksiyonuyla reaksiyona girmesinden dolayı meydana geldiği düşünülmektedir.

Karıştırma ve polimer ihtiyacı ile ilgili daha fazla bilgi; farklı karıştırma süresi ve karıştırma şiddetinde küçük ve büyük molekül ağırlıklı polimerler kullanılarak (Praestol 185K, molekül ağırlığı 30000-50000 arasında; Praestol 444K, molekül ağırlığı $1-3 \times 10^6$ arasında) elde edilmiştir. Sonuç olarak, karıştırma şiddetli olmadığı zaman polimer ihtiyacının düşük ve katı madde konsantrasyonundan bağımsız olduğu görülmüştür. Karıştırma enerjisi artışı ile biyokolloidlerin flock yüzeylerinden koparak serbest hale geçtiği, bu yüzden, kolloid yük nötralizasyonu için polimer ihtiyacının arttığı düşünülmektedir. Daha yüksek çamur katı madde konsantrasyonları, biyokolloidler için daha verimli bir kaynak teşkil etmekte ve daha şiddetli karıştırma altında, daha fazla polimer gerekmektedir.

Çamur stabilitesini test etmek için (burada söz konusu stabilite şartlandırma bitimindeki stabilite olmaktadır) çamur örnekleri uygun karıştırma koşullarında optimum polimer dozla şartlandırılmışlardır. Daha sonra çamurun bir kısmı sakin bir ortamda beklemeye bırakılmış, diğer kısmı ise ilk şartlandırma hızına benzer şekilde tekrar karıştırılmıştır. Bu çalışmada polimer molekül ağırlıklarının önemli olup olmadığını tespit etmek için

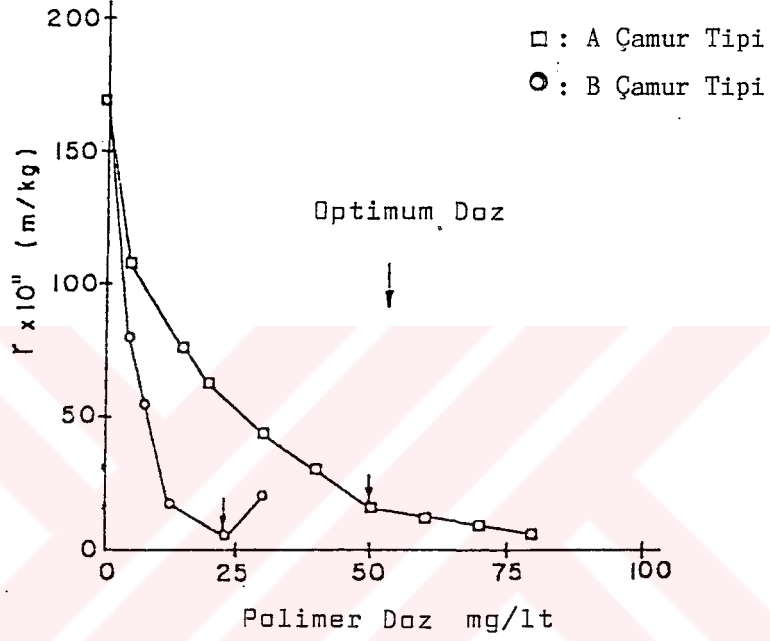
Praestol 444K ve Praestol 185K polimerlerinin her ikisi birden kullanılmıştır. Sonuç olarak, şiddetli karıştırma ile şartlandırılmış çamurun, yavaş karıştırma ile şartlandırılmış çamurdan daha stabil olduğu görülmüştür. Şartlandırmadan sonra ikinci kez karıştırma; 50 devir/dk hız ile karıştırılarak şartlandırılmış olan çamurların hepsinde kötü sonuç vermiştir. 1000 devir(dk hızla karıştırılarak şartlandırılmış olan çamurlar için temel farklılık yüksek ve düşük moleküler ağırlıklı polimerler arasında gözlenmiştir. bu çamurların ikinci kez 300 devir/dk hızla karıştırılması halinde 444K polimeri ile 185K polimerinden daha stabil çamur elde edilmiştir.

Novak ve O'Brien (1975)'in optimum polimer dozu tanımı için yaptığı çalışmalarda, net minimum filtrasyon süresi, optimum dozu tayin etmiştir. İyi tanımlı bir minimum filtrasyon süresi elde edilememesi, fakat sürenin belli bir değere ulaştıktan sonra düşmeye çok yavaş bir şekilde devam etmesi halinde; optimum doz olarak, sürenin çok az değiştiği noktadan bir önceki noktaya karşı gelen kimyasal madde miktarı alınmıştır Şekil 4.1.

Aktif çamurların başlangıçtaki özgül dirençlerinin, toplam katı madde muhtevalarının ve pH değerlerinin de optimum doz tayininde çok büyük önem taşıdığı yapılan çalışmalarla gösterilmiştir (Sarıkaya, 1993). Aynı tip katyonik polimerle yapılan bu çalışmalarda artan pH ve TKM değerleri ile birlikte optimum doz ihtiyacının da arttığı görülmüştür.

O'Brien (1977) , değişik tipteki katyonik polimerlerin aktif çamurun şartlandırılmasında optimum doz miktarına etkilerini incelemiş ve bu incelemelerde optimum dozun miktarı polimer molekül ağırlığına bağlı olarak değişmiş, yüksek molekül ağırlıklı polimer daha düşük optimum doz gerektirmiştir.

Sıcaklığın optimum doz üzerine etkisi araştırılmış ve çamur sıcaklığının 10°C - 40°C arasında olması halinde optimum dozun sıcaklıktan fazla etkilenmediği görülmüştür.



ŞEKİL 4.1. Optimum Polimer Doz Tayini (Novak, 1975).

4.2. Donma-Çözülme Yöntemi ile Şartlandırma

Su ve atıksu çamurlarının dondurulup çözölmeye bırakıldıktan sonra hızla suyunu verdiği uzun bir zamandır bilinmekteydi. 1960'lı yıllarda çamurların kimyasal şartlandırılmasına karşı donma-çözölme prosesini geliştirmek için büyük bir hareketlenme görölmüş ve çok geçmeden buz kristalleri oluşumunun katı maddeleri ve kolloidleri içermemesi için, çamur yavaş yavaş dondurulduğu zaman; donma, çözölme prosesinin olumlu etkileri ortaya çıkmıştır. Çamurun tamamen dondurulmasının da etkin bir susuzlaştırma sağladığı görölmüştür. Nitekim çamurun derin bir lagünde kısmen

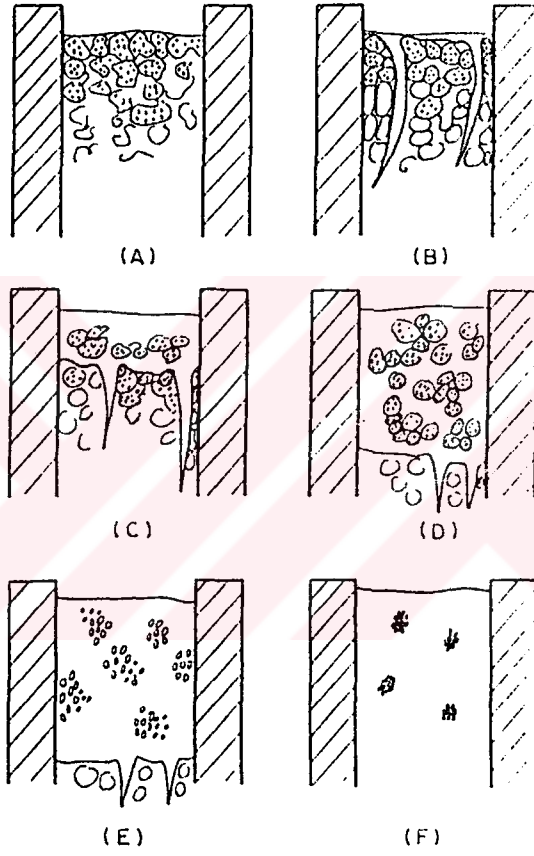
dondurulması iyi sonuçlar vermemiştir. En iyi sonucu elde etmek için çamur tabakalar halinde dondurulmalıdır (Vesilind, 1988).

Çamurun donma mekanizmasını açıklamak amacıyla bir çok çalışma yapılmıştır. Taber (1930) ilk kez katı partiküllerin yüzeyinde kapiler su denilen ince bir tabakanın varlığından söz etmiş ve Corte (1962) partiküllerin bu ince su tabakasına kaydırıldığını ileri sürmüştür. Hoekstra (1967) , donmanın su moleküllerini bu ince tabadakan ayırdığını ve ayrılan su moleküllerinin sürekli olarak buz kristallerini oluşturduğunu düşünmüştür. Donma hızı; kapiler su moleküllerinin kristalizasyonunun buz tabakalar haline dönüşmesinden daha hızlı olmasını sağlayacak büyüklükte olursa, oluşan buz tabaka içinde partiküller de tutulur. Donma-çözülme, prosesinin en çok alüm çamuru gibi inorganik çamurlar üzerinde etkili olduğu görülmüştür (Baskerville, 1971).

Clements (1950) ve Cheng (1970)'da yaptıkları çalışmalarda donma-çözülme prosesinin susuzlaştırılabilirlik üzerine olumlu etkisinin, ancak yavaş donma hızı ile çamurun tamamen donması sağlandığı zaman ortaya çıktığını göstermişlerdir. Ayrıca Wisconsin'de donma-çözülme prosesinin çamurun susuzlaştırılabilirliği üzerine etkisini araştırmak için vakum filtrelerle yapılan çalışmalar, donma hızının ve donma süresinin çok büyük önem taşıdığını göstermiştir. Donma süresinin daha uzun donma hızının daha düşük olması ve çamurun uzun süre depolanmadan hemen donmaya alınması susuzlaştırılabilirliği olumlu yönde etkilemiştir. Katz (1970) , yavaş donmanın son derece etkili olduğunu göstermiştir. Deneysel çalışmalar sonucu; yüksek katı madde konsantrasyonuna sahip çamurlar dondurulduğu zaman, düzensiz buz kristallerinin, flokların arasından geçerek serbest su moleküllerine ulaşmaya çalıştığı ve aşağı doğru ilerleyerek katı partiküllerin ayrı ayrı küçük kümeler

oluşturmasını sağlayacak şekilde onları ittiği görülmüştür (Martel , 1990). Bu modele göre flokları çevreleyen serbest su donduğu zaman flokların içindeki su molekülleri açığa çıkmakta ve partikülleri biraraya getirmek üzere onları iterek yeni buz kristalleri oluşturmaktadır. Su moleküllerinin bu şekilde açığa çıkması ve yeni bir kristal oluşturması ile floklara basınç uygulanmakta ve katı maddelerin birleşmesi sağlanmakta; donma tamamlandığı zaman partiküller ayrı ayrı kümeler şeklinde biraraya gelmiş olmaktadır, Şekil 4.2. Yapılan bir çok çalışma kolloid partiküllerin partikül kümeciklerinin içine kolaylıkla itildiğini; daha büyük partiküllerin hareket ettirilmeksizin buz tabaka içinde kaldığını göstermiştir.

Vesilind (1990) , yaptığı çalışmalarda donma hızı ve son sıcaklığın donma-çözülme prosesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır . Son sıcaklığın etkisini araştırırken dört numune üzerinde çalışmış ve numunelerin donma hızlarını eşit tutarak son donma sıcaklıklarını değiştirmiştir . Sonuçlara göre azalan son donma sıcaklığı ile susuzlaştırılabilirliğin arttığı görülmüştür. Aktif çamur yaklaşık olarak -30°C 'de en iyi sonucu vermiştir.



ŞEKİL 4.2. Donma Süreci (Vesilind , 1990).

Donma hızının etkisini tayin etmek için numuneler farklı donma derecelerinde ve farklı donma hızlarında dondurulduktan sonra 24 saat çözölmeye bırakılarak susuzlaştırılabilirlikleri ölçölmüştür. Sonuçlara göre en iyi susuzlaştırılabilirlik daha az soğuk ortamda ve daha düşük donma hızlarında dondurulan numunelerde meydana gelmiştir.

Sonuç olarak, daha düşük donma sıcaklıkları ve daha uzun donma süreleri; daha düşük donma hızları donma-çözölme prosesinin çamurun susuzlaştırılabilirliği üzerine olumlu etkide bulunmasını sağlamıştır.

Donma-Çözölme prosesi ile çamur susuzlaştırılabilirliğinin iyileştirilmesine ait uygulama çalışmaları, yeni bir susuzlaştırma birimi olan Donma Yataklarının geliştirilmesini sağlamıştır. Bu yeni birim soğuk bölgelerde çamur kurutma yatağının yerini tutmaktadır (Martel, 1989).

Hanover; New Hampshire, Amerika Birleşik Devletleri Ordusuna ait Soğuk Bölgeler Araştırma ve Mühendislik Laboratuvarında yapılan pilot tesis çalışmaları; donma yataklarının, su arıtma tesislerinden kaynaklanan alüm çamurları ile aerobik ve anaerobik olarak çürütölmüş atıksu çamurlarının su muhtevasını etkin bir şekilde azalttığını göstermiştir. Tablo 4.1'de gösterildiği gibi üç tip çamurun katı madde muhtevasını % 20'den daha fazla bir değere yükseltmiş ve çamuru sadece bir kürek ve el arabası ile uzaklaştırılabilecek duruma getirmiştir.

Donma Yatakları en fazla alüm çamurları üzerinde etkili olmuştur. Katı madde muhtevasını %05'ten %82'ye kadar yükseltmiştir. Bu su muhtevasında %99 azalma demektir. Kalan katılar kahvetelvesine benzer şekilde bir granöler yapı göstermiştir. Tane boyut analizleri bu malzemenin ortalama 0,5 mm.'lik büyüklöğe sahip olduğunu ve üniformluk katsayısının 4,6 olduğunu göstermiştir.

Hidrolik iletkenlik; geçirgenliği yüksek olan topraklara benzer şekilde 50,4 cm/saat olarak ölçölmüştür (Martel, 1991).

Bu yüzden çamurun yatakta bırakılması ile drenajın bozulmayacağı açıkça görölmektedir. Kolon çalışmaları, donma yataklarının, çamur uzaklaştırılmadan önce 10 yıl veya daha fazla süre ile işletilebileceğini göstermektedir. Çözölme süresince erimişsuyun kalite ölçümleri yapılmamıştır. Bununla beraber, pompalama süresince renk ve asılı madde içermeyen çok temiz bir sıvı olduğu gözlenmiştir.

TABLO 4.1. CRREL Pilot Tesis Çamur Susuzlaştırma Performansı (Martel, 1991).

Yıl	Çamur Tipi	Tabaka Sayısı	Donmuş Çamurun Toplam Derinliği (cm)	Baş.Ortalama K.M muhteva- sı (%)	Sonkatı M.Muhtev. (%)
1987	Anaerobik Çü- tölümüş çamur	6	58	6.7	39,3
1988	Anaerobik çü- rütölümüş Çamur	15	114	5.4	-
1989	Aerobik çürü- tölümüş çamur	12	89	1.1	24,5
1990	Alüm çamuru	18	99	0,5	82,0

Atıksu çamurları da donma yatakları ile susuzlaştırılmışlardır fakat katı madde muhtevası daha çok kurutma yatağı ile susuzlaştırılmış çamurlara benzer şekilde olmuştur. Bu çamurların çözölmesi tamamlanır tamamlanmaz uzaklaştırılması uygundur ; daha fazla susuzlaştırılması kurutma ile gerçekleştirilir. Çözölme prosesi süresince koku problemi olmamıştır. Çözölen çamurlar soğuk olduğu için koku problemi ortaya çıkmamış olabilir. Kalan çamurlar bir el arabası yardımıyla kolayca uzaklaştırılabilmıştır.

Yataktan kaynaklanan erimiş suların kalitesi yaklaşık olarak ham atıksuyun kalitesine eşdeğer bulunmuştur. Bu sonuç her iki çamur tipi için de geçerlidir.

1988 yılı işletme mevsimi süresince alınan tekil numunenin Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) 301 mg/L, toplam askıda katı madde (TAKM) 110 mg/L, Bulanıklık 85 NTU ve pH = 7,6 olarak ölçülmüştür. 1989 yılı işletme süresince ortalama BOİ, TAKM bulanıklık ve pH, sırayla 333 mg/Lt, 96 mg/Lt, 116 NTU ve 6.9 olarak ölçülmüştür. Gerçek boyuttaki tesiste bu kuvvetli atıksu arıtma tesisinin girişine geri gönderilecektir.

Laboratuvar ve pilot tesis çalışmalarının başarılı olmasından dolayı, gerçek boyutta bir donma yatağı Fort McCoy, Wisconsin'de inşa edilmiştir. Bu yatak 20 m. uzunluğunda, 10 m. genişliğinde olmakta ve kapasitesi 214 m³ olmaktadır. Yatak 1990'da 71453 dolara inşa edilmiştir. 1990-1991 kış mevsimi süresince toplam 1,0 m. yüksekliğinde anaerobik olarak çürütülmüş çamur kalınlıkları 5 ilâ 10 cm. arasında değişen 12 tabaka halinde dondurulmuştur. Mayıs Ay'ında çamurlar tamamen çözülmüş ve drene edilmiştir. Sadece 5 ilâ 8 cm.'lik bir çamur kalmıştır. bu çamurun katı madde muhtevası % 78 olmuştur. Başlangıçtaki katı madde muhtevası ise sadece % 4,7 idi, buna göre, donma yatağı çamurdan % 94 oranında su gidermiştir. Operatörler bu sonuçtan oldukça memnun kalmışlar ve bu sebeple bir başka donma yatağı inşa etmek için plan hazırlamışlardır.

Donma yataklarında dondurulacak olan çamurun derinliğine ait bir limitin olup olmadığını araştıran çalışmalar yapılmıştır (Martel, 1985). Çeşitli derinliklerde ve eşit donma noktalarında dondurulan üç tip çamur örneğinin suyunu verme özellikleri incelenmiştir. Su arıtma çamuru, Aerobik olarak çürütülmüş atıksu çamuru ve anaerobik olarak çürütülmüş çamur örneklerinin hepsi büyük derinliklerde kolaylıkla suyunu vermişlerdir.

Bunlardan aerobik olarak çürütülmüş çamurun katı madde muhtevası, suyu alındıktan sonra % 16.6 olarak tespit edilmiş, dolayısıyla biraz daha susuzlaştırılmak üzere yatakta bir kaç hafta bekletilmesi gerekmiştir.

Pilot ölçeğe yapılan çalışmalardan ise aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

a) Erime suları, çözülme süresince mümkün olduğunca çabuk drene edilmeli veya anaerobik koşullardan dolayı oluşan koku problemine bir çözüm bulunmalıdır.

b) Gerçek boyutlardaki donma yatağı, erime sularının toplanacağı bir çukuru da kapsamalı ve yan duvarlar boyunca, çözülmenin başladığı ve erime sularının çoğunun toplandığı yerden taban drenajı yapılmalıdır.

c) Erime sularının etkin giderimi için yatak tabanına 2-3 inç (5-8 cm) kalınlığında bir kum tabakası serilmelidir. Bu kum tabakası susuzlaştırılmış çamurla birlikte uzaklaştırılacağı için her yıl yenilenmelidir.

Pilot tesis çalışmaları aynı zamanda, bölge iklim koşullarına göre donma ve çözülme dizayn derinliklerini tahmin etmek üzere geliştirilmiş olan modellemeleri de onaylamıştır. Örneğin, çok soğuk iklimlerde çözülebilecek olan çamurdan daha fazla çamur dondurulabileceği için, tasarımda çözülme derinliği esas alınmalıdır. Genel olarak donma modellemesi sıcak bölgeler için derinlik tahmininde kullanılmakta; çözülme modellemesi ise soğuk bölgeler için kullanılmaktadır.

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi ile çalışan evsel atıksu arıtma tesisine ait son çökeltme tankından alınan aktif çamur numuneleri katyonik polimerle şartlandırılmış ve donma-çözülme prosesinden geçirilmiştir. Bu işlemlerden sonra her bir çamur numunesine ait optimum doz ve özgül direnç değerleri Buchner hunisi düzeneği yardımıyla tayin edilmiştir.

Ham çamur, optimum dozda şartlandırılmış çamur ve donma-çözülme işlemine tabi tutulmuş çamur örnekleri, Laboratuvar ölçeğinde hazırlanmış olan bir donma yatağından süzölmüştür. Süzölme sırasında; zamana karşı, süzülen hacim not edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar yardımıyla donma-çözülme ile şartlandırılmış çamura ait değerler; hiç bir işlem görmemiş ham çamura ve kimyasal madde ile şartlandırılmış çamura ait değerlerle mukayese edilerek; donma-çözülme prosesinin aktif çamurun susuzlaştırılabilirliği üzerine etkisi belirlenmiştir.

5.1. Deneysel Yöntemler ve Esaslar

5.1.1. Kimyasal Şartlandırma ve Optimum Doz Tayini

Çamur şartlandırıcı ve koagülant olarak organik polimerlerin kullanımı ve bu maddelere olan talep önemli ölçüde artmaktadır. Fakat bu kimyasal maddeler çamur susuzlaştırma ünitelerinde bilinçli bir şekilde kullanılamamaktadırlar. Polimer dozu ihtiyacı ve işletme konularının yeterince anlaşılamaması; şartlandırmadan önce ve sonraki çamur özelliklerinin iyi tanımlanamamasına ve polielektrolit özellikleri hakkında bilgi yetersizliğine sebep olmaktadır.

Günümüzde polimer tip ve dozunun seçiminde deneme-yanılma yöntemleri kullanılmakta ve bir çamur örneği için elde edilen sonuçlar diğer çamur tipleri için hatta aynı çamur tipinin özellikleri değiştiği zaman dahi kullanılamamaktadır.

Bu çalışmada optimum polimer doz tayininde Novak ve O'Brien (1975) metodu tâkip edilmiştir. Net minimum filtrasyon süresi, optimum dozu belirlemiştir. Farklı polimer dozlarının ilâve edildiği çamur örneklerinin özgül dirençlerinin tayininde Buchner Hunisi Düzeneği kullanılmıştır.

5.1.1.1. Polimer Hazırlama ve İlâve Etme

Şartlandırıcı olarak Superflok C 420 katyonik polimerin % 02'lik çözeltisi kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalarda katyonik polimerlerin % 005 ile % 01'lik çözeltilerinin iyi tanımlı bir optimum doz sonucu vermediği görülmüştür.

Katyonik polimer çözeltisi, kullanılmadan önce yirmidört saat oda sıcaklığında bekletilmiştir.

Bu çalışmada 600 ml. hacimli erlenlere 300 ml ve 200 ml. hacimlerinde çamur örnekleri konulmuştur. Uygun polimer ilâveleri yapıldıktan sonra bu çamur örnekleri konvensiyonel Jar-Test cihazı kullanılarak karıştırılmıştır. Karıştırma hız ve süreleri sırasıyla 100 devir/dk. hızda 30 sn. ve 40 devir /dk hızda 90 sn. olarak seçilmiştir. bu karıştırma hız ve süreleri aktif çamur şartlandırması için optimum hız ve süreler olmaktadır (Sarıkaya , 1993).

5.1.1.2. Çamur Örneklerinin Özellikleri

Bütün deneylerde aktif çamur örnekleri kullanılmış ve bu örneklerle ait pH değerleri aynı olup 7,0 olarak ölçülmüştür. Kullanılan dört adet aktif çamur numunesinin toplam ve askıda katı madde konsantrasyonları ile başlangıçtaki özgül dirençleri farklı değerler de olmuştur.

5.1.2. Serbest Filtrasyon

Aktif çamur örnekleri kendi halinde süzölmeye bırakılarak, zamana karşı filtre edilen hacim okumaları yapılmıştır. Bu deneyde, 8 cm. çapında 25 cm. yüksekliğinde pet şişeler kullanılmıştır. şişelerin tabanına 2-3 mm.'lik tel ızgara yerleştirilmiş ve bu tel ızgaranın üzerine 2,5 cm. yüksekliğinde 3 mm. çaplı çakıl malzeme, bu malzemenin üzerine ise 6 cm. yüksekliğinde ince kum tabaka serilmiştir. Tabandan drenajı sağlamak üzere küçük bir musluk ve ucuna hortum takılarak, süzölen sular 300 ml. hacimli erlenlerde toplanmıştır. Her deneyden sonra kum ve çakıl malzeme yenilenmiştir.

Bu çalışma oda sıcaklığında yapılmıştır. Dört çamur örneğine ait; ham çamur, optimum dozda kimyasal şartlandırılmış çamur ve dondurularak çözölmeye bırakılmış çamur tipleri özel olarak hazırlanmış olan laboratuvar ölçekli kum yataklarından ayrı ayrı süzölmüştür.

5.1.3. Donma-Çözölme Prosesi

Aktif çamur örneklerine ait 500 ml.'lik hacimler, -6°C'de bir hafta süre ile dondurulduktan sonra 24 saat çözölmeye bırakılmıştır. Çözöldükten sonra çamurdaki katı partiköllerin kendi aralarında kümeler oluşturdıkları görölmüştür. Çamurlar çözöldükten sonra özgül direnç ve serbest filtrasyon deneylerine tâbi tutulmuşlardır.

5.1.4. Özgül Direnç Ölçümleri

Çamurun filtrasyonunu poroz bir ortamdaki sıvı akımı esaslarına göre incelemek mümkündür. Böyle bir analiz ilk defa Darcy tarafından geliştirilmiştir.

Darcy Kanununa göre;

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P}{\mu} \cdot \frac{A \cdot K}{H} \dots\dots\dots 1$$

$$\frac{dV}{dt} = \text{Debi, } V : \text{Süzüntü hacmi, ml, } t : \text{Zaman, sn}$$

P : Basınç, N/m²

A : Alan, m²

μ : Viskozite, N.sn/m²

k : Permeabilite, m²

H : Filtre üzerindeki kek kalınlığı, m

olmaktadır.

Direnç R, Birim hacim direnci, m/m³

$$R = \frac{1}{k} \text{ şeklinde tanımlanır (Aral ,1980). Buna göre}$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P}{\mu} \cdot \frac{A}{H \cdot R} \dots\dots\dots 2$$

Filtrede direnç, filtre malzemesi ve kekin müşterek etkisi ile oluşur. Bu bakımdan,

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P}{\mu} \cdot \frac{A}{(H \cdot R + R_f)} \dots\dots\dots 3$$

R_f : Filtre malzemesi direnci, l/m

Filtre üzerindeki kek hacmi : H.A= v.V

Şeklinde yazılabilir. Burada v birim hacimdeki süzüntü başına biriken kek hacmini ifade eder.

$$H = \frac{v.V}{A} \dots\dots\dots 4$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P.A}{\mu.(R.\frac{v.V}{A}+R_f)} \dots\dots\dots 5$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P.A^2}{\mu(R.v.V+R_f.A)} \dots\dots\dots 6$$

W : Kek Ağırlığı/Süzüntü Hacmi veya yaklaşık olarak Askıda Katı Madde Konsantrasyonu, kg/m³

r : Özgül direnç veya birim ağırlık direnci, m/kg

olmak üzere: R.v=r.W yerine konursa:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P.A^2}{\mu(r.W.V+R_f.A)} \dots\dots\dots 7$$

şeklinde yazmak daha uygundur. Zaman boyunca basıncı sabit farzederek:

$$\int_0^t dt = \int_0^V \frac{\mu.W.r.V}{P.A^2} + \frac{R_f.\mu}{P.A} .dV \dots\dots\dots 8$$

$$t = \frac{\mu.W.r}{P.A^2} . \frac{V^2}{2} + \frac{R_f.\mu}{P.A} .V \dots\dots\dots 9$$

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu.W.r}{2.P.A^2} V + \frac{R_f.\mu}{P.A} \dots\dots\dots 10$$

Bu ifade $y=a+bx$ şeklindeki bir doğru denklemi gibidir;

$$b = \frac{\mu \cdot r \cdot W}{2P \cdot A^2}, \quad a = \frac{\mu \cdot R_f}{P \cdot A} \quad \text{şeklinde yazılabilir.}$$

Eğer değişik zamanlarda süzüntü hacmi bulunur ve süzüntü hacmi t/V değerlerine karşı noktalanırsa bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğimi "b" ile gösterilirse;

$$r = \frac{2 \cdot P \cdot A^2 \cdot b}{\mu \cdot W} \quad \text{şeklinde hesaplanır.}$$

Özgül direncin hesaplanması için gerekli bilgi Buchner hunisi deneyi ile toplanır.

Buchner hunisi üzerine yerleştirilen filtre kağıdı üzerine sabit hacimde çamur konur. $t=0$ anından itibaren vakum uygulanarak (veya basınç) süzme yapılır; değişik zamanlarda ki süzüntü hacmi kaydedilir.(Şekil 5.1).

Birimler ; $P = N/m^2$
 $A = m^2$
 $\mu = N \cdot sn/m^2$
 $W = kg/m^3$
 $r = m/kg$

Özgül direnç (r), sn^2/gr cinsinden verilirse, bu değeri m/kg cinsine çevirmek için yerçekimi ivmesi olan $9.81m/sn^2$ ve 10^3 gr/kg değerleri ile çarpılır.

$$r = (m/kg) = r (sn^2/gr) \times 9.81 m/sn^2 \times 10^3 gr/kg$$

w değeri yaklaşık olarak hamçamurun kg/m^3 cinsinden ifade edilen askıda katı kadde konsantrasyonuna eşit alınabilir veya daha hassas bir hesap için

$$w = \frac{C_k \cdot C_o}{C_k - C_o} \dots\dots\dots 11$$

eşitliği kullanılabilir. Burada,

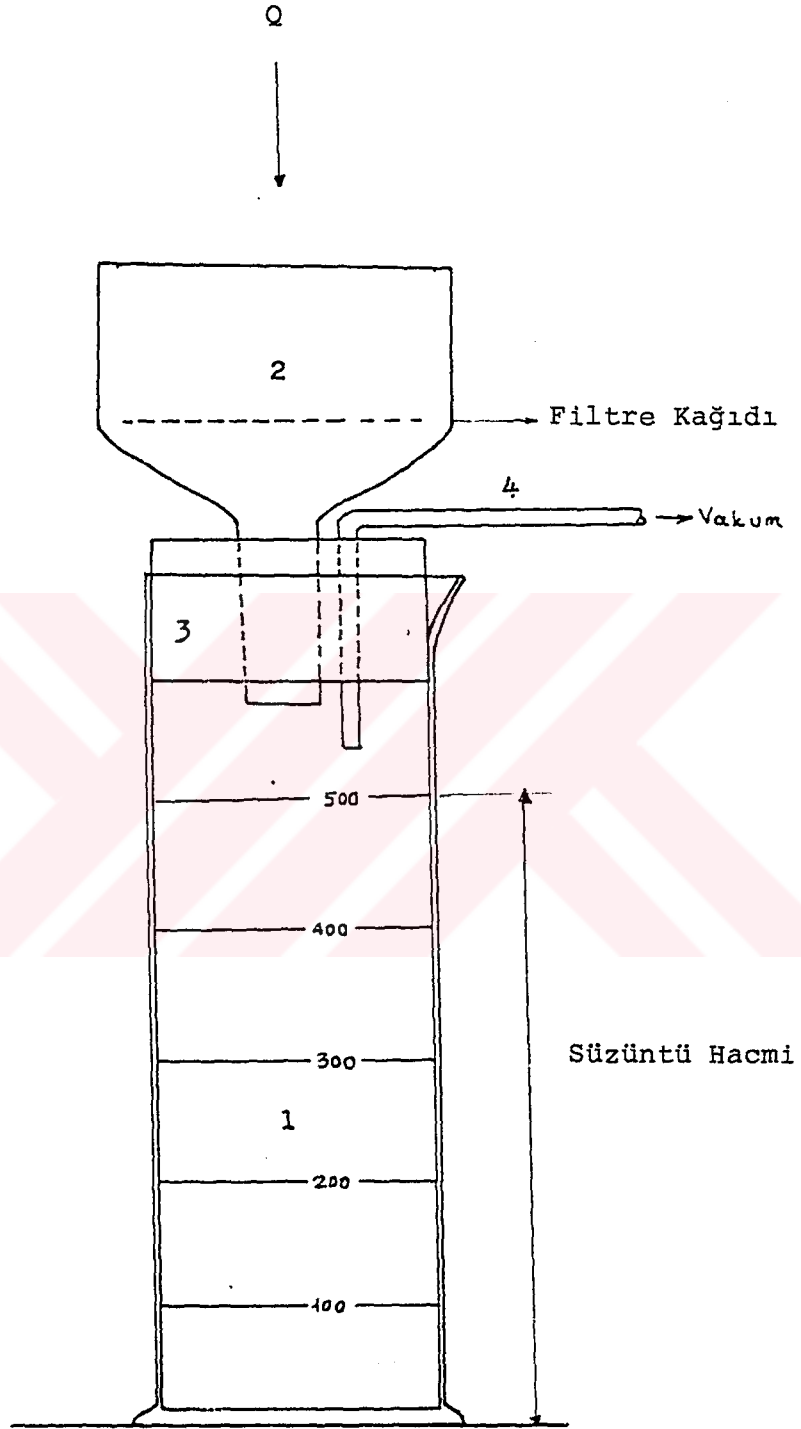
C_k : Kekteki katı madde konsantrasyonu, kg/m^3
 C_o : Hamçamur katı madde konsantrasyonu, kg/m^3

olmaktadır.

Tablo 5.1' de çeşitli çamur tiplerine ait özgül direnç değerleri verilmiştir.

TABLO 5.1. Çeşitli Çamur Tiplerine Ait Özgül Direnç Değerleri (Metcalf-Eddy, 1979) .

Çamur Cinsi	Özgül Direnç
	r m/kg
Primer	$1.5-5 \times 10^{14}$
Aktif Çamur	$1-10 \times 10^{13}$
Çürümüş+Kim.mad. Dozlanmış	$3-40 \times 10^{11}$



Şekil 5.1- Buchner Hunisi deney düzeni

- 1- 500 ml lik mezür
- 2- Buchner Hunisi
- 3- Lastik tıpa
- 4- Vakum borusu

5.2. Deney Sonuçları

5.2.1. Kimyasal Şartlandırma ve Optimum Doz Tayini

Evsel atıksu arıtma tesisi son çökeltme tankından farklı günlerde alınan dört adet çamur örneği üzerinde Super flok C 420 katyonik polimer tipinin %02'lik çözültisi kullanılarak Jar-test cihazında şartlandırma deneyleri yapılmıştır.

1 No.lu numuneye ait toplam katı madde değeri 6,78 Kg/m³ ve ham çamurun askıda katı madde değeri 5,95 kg/m³ olarak ölçülmüştür. Bu numuneden 300 ml.'lik hacimler alınarak 5 ayrı behere konmuştur. Her bir beherdeki çamurlara ilâve edilen polimer miktarları, sırasıyla 3,5 kg. kuru polimer/ton katı madde, 7.0 kg kuru polimer/ton katı madde, 10,5 kg. kuru polimer/ton katı madde 14 kg. kuru polimer/ton katı madde ve 17,5 kg. karu polimer/ton katı madde olmuştur. Yapılan özgül direnç deneyleri sonucunda bu numune için optimum doz değeri 10,5 kg K.P./Ton K.M. olarak tespit edilmiştir.

-

2 Nolu numuneye ait toplam katı madde değeri 11.67 kg/m³ ve ham çamurun askıda katı madde değeri 10.34 kg/m³ olarak ölçülmüştür. Bu numuneden 300 ml.'lik hacimler alınarak 7 ayrı behere konmuştur. Her bir beherdeki çamurlara ilâve edilen polimer miktarları, sırasıyla, 2 kg. Kuru Polimer/ton katı madde, 4 kg kuru polimer/ton katı madde, 6 kg kuru polimer/ton katı madde, 8 kg kuru polimer/ton katı madde, 10 kg. kuru polimer ton katı madde, 12 kg. kuru polimer / ton katı madde ve 14 kg. kuru polimer/ton katı madde olmuştur. Yapılan özgül direnç deneyleri sonucunda bu numune için optimum doz değeri 12 kg. K.P./Ton K.M olarak tayin edilmiştir.

3 No.lu numuneye ait toplam katı madde değeri 12,5 kg/m³ ve ham çamurun askıda katı madde değeri 11,69 kg/m³ olarak ölçülmüştür. bu numuneden alınan hacimler 5 ayrı behere konmuştur. Her bir beherdeki çamurlara ilâve edilen polimer miktarları, sırasıyla, 6 kg. kuru polimer/ton katı madde, 8 kg. kuru polimer/ton katı madde, 10 kg kuru polimer/ton katı madde, 12 kg. kuru polimer/ton katı madde, 13 kg kuru polimer/ton katı madde olmuştur. Yapılan özgül direnç deneyleri sonucunda bu numune için optimum doz değeri 10 kg. KP/Ton K.M. olarak tayin edilmiştir.

4 No.lu numuneye ait toplam katı madde değeri 12.57 kg/m³ ve ham çamurun askıda katı madde değeri 12.32 kg/m³ olarak ölçülmüştür. Bu numuneden alınan hacimler 4 ayrı behere konmuştur. Her bir beherdeki çamurlara ilâve edilen polimer miktarları, sırasıyla, 4 kg. kuru polimer/ton katı madde, 6 kg. kuru polimer/ton katı madde, 10 kg. kuru polimer/ton katı madde ve 12 kg. kuru polimer/ton katı madde olmuştur. Yapılan özgül direnç deneyleri sonucunda bu numune için optimum doz değeri 10 kg. K.P/Ton K.M. olarak tayin edilmiştir.

5.2.2. Özgül Direnç Deneyleri

Ham çamurun, katyonik polimerle şartlandırılmış çamurun ve donma çözülme işlemine tabi tutulmuş çamurun özgül direnç deneyleri Buchner Hunisi Deney Düzeneği ile tespit edilmiştir. Her bir numuneden alınan 100 ml.'lik hacimler, Buchner Hunisi üzerine yerleştirilen 12,5 cm. çaplı Whatman 1 filtre kağıtları üzerinden 0,5 Atmosferlik Vakum uygulanarak vakum kırılıncaya kadar filtre edilmiştir. Belli sürelerde filtre edilen hacimler okunmuştur. Numuneler, vakum uygulanmadan önce, iki dakika kendi halinde süzölmeye bırakılarak bu sürenin sonu sıfır zaman alınmıştır. Vakum uygulanmaya başladıktan sonra ilk 1 dk. içinde her 15 sn. bu sürenin sonundan

itibaren 4 dk.'nın sonuna kadar her 30 sn. ve bundans sonra, çamur tamamen süzülünceye kadar her 60 sn. için süzüntü hacimleri okunmuş ve not edilmiştir. Filtre kağıdı üzerinde oluşan çamur kekinin toplam katı madde miktarı ölçülmüştür.

Özgül direnç hesaplarında kullanılan değerler ve formül aşağıda verilmiştir:

$$P = \text{Vakum basıncı} = 0,5 \text{ Atm.} = 15 \text{ inc. Hg} = 4.905 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$\mu = \text{Viskozite} = 11 \times 10^{-4} \text{ Nsn/m}^2$$

$$W = \text{Askıda Katı Madde} = \text{Her bir numune için ayrı ayrı ölçülmüştür} \\ \text{Kg/m}^3.$$

$$A = \text{Filtre kağıdı Alanı} = 0,0123 \text{ m}^2$$

b = Eğim " t/V" değerleri "V" değerlerine karşı işaretlenerek regresyon çalışmaları yardımıyla bir grafik çizilir. Bu grafikin eğimi "b" değerini verir.

r = Özgül direnç = Her bir numune için ayrı ayrı hesaplanan değer.

$$r = \frac{2PbA^2}{\mu \cdot W} \text{ formülü ile hesaplanmıştır.}$$

1 No.1u numune için ölçülen askıda katı madde değerleri (W);

$$\text{a) Ham Çamur} : 5.95 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{b) 3.5 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur} : 5.97 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{c) 7.0 Kg.K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur} : 5.997 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{d) 10.5 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur} : 6.02 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{e) 14 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur} : 6.04 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{f) 17.5 Kg K.P/Ton K.M Polimer ilâve edilmiş çamur} : 6.07 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{g) Donmuş-çözülmüş çamur} : 5.95 \text{ Kg/m}^3$$

2 No.lu numune için ölçülen askıda katı madde değerleri (W);

- a) Ham çamur : 10,34 Kg/m³
- b) 2 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur: 10.36 Kg/m³
- c) 4 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur: 10.39 Kg/m³
- d) 6 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur: 10.41 Kg/m³
- e) 8 Kg K.P/ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur: 10.43 Kg/m³
- f) 10 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur: 10.46 Kg/m³
- g) 12 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur: 10.48 Kg/m³
- h) 14 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur: 10.50 Kg/m³
- l) Donmuş-çözülmüş çamur : 10.34 Kg/m³

3 Nolu Numune için ölçülen askıda katı madde değerleri (W);

- a) Ham çamur : 11.69 Kg/m³
- b) 6 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur : 11.769 Kg/m³
- c) 8 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur : 11.79 Kg/m³
- d) 10 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur: 11.815 kg/m³
- e) 12 Kg.KP/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur : 11.84 Kg/m³
- f) 13 Kg K.P/Ton M.K polimer ilâve edilmiş çamur: 11.85 Kg/m³
- g) Donmuş-çözülmüş çamur : 11,69 Kg/m³

4 No.lu numune için ölçülen askıda katı madde değerleri (w);

- a) Ham çamur : 12.32 Kg/m³
- b) 6 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur : 12.37 Kg/m³
- c) 6 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur : 12.395 Kg/m³
- d) 10 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur : 12,45 Kg/m³
- e) 12 Kg K.P/Ton K.M polimer ilâve edilmiş çamur : 12.47 Kg/m³
- f) Donmuş - çözölmüş çamur : 12.32 Kg/m³

Ham çamurun, katyonik polimerle şartlandırılmış çamurların ve donma-çözölme işlemine tabi tutulmuş çamurların özgül direnç deneylerine ait tablo ve grafikler sırasıyla ekler kısmında verilmiştir. Ayrıca bu tablo ve grafikler yardımıyla hesaplanan özgül direnç değerlerini (r) ve eğimleri (b) içeren tablolar ile optimum doz tayininde kullanılan grafikler yine ekler kısmında toplu halde verilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; 1 No.lu numunenin toplam katı madde konsantrasyonu diğer numunelere oranla düşük olmasına rağmen (%0,678) başlangıçtaki özgül direnci çok yüksek olmuş (15×10^{-4} m/Kg) ve optimum polimer doz ihtiyacı 10.5 Kg K.P/Ton K.M olarak bulunmuştur. Bu çamur numunesine ait donmuş-çözölmüş çamur tipi için özgül direnç değeri ise $2.3 \times 10^{+14}$ m/Kg olarak bulunmuştur. Optimum doza karşı gelen özgül direnç değeri $6,8 \times 10^{13}$ m/Kg olmuştur.

2 No.lu numunenin toplam katı madde konsantrasyonu biraz daha yüksek tutulmuştur (%1.167). Bu numuneye ait başlangıçtaki özgül direnç değeri 7×10^{14} m/Kg optimum doz miktarı 12 Kg KP/Ton K.M ve bu optimum doza karşı gelen özgül direnç değeri 9.4×10^{13} m/Kg olarak bulunmuştur. Donmuş-çözölmüş çamur için bu değer 5.8×10^{14} m/Kg olmuştur.

3 Nolu numunenin toplam katı madde konsantrasyonu biraz daha yükseltilmiş ve %1,25 olarak tespit edilmiştir. Bu numunenin başlangıçtaki özgül direnç değeri $2,2 \times 10^{14}$ m/Kg, optimum doz miktarı 10 Kg K.P/Kg olarak bulunmuştur. Donmuş-çözülmüş çamur için bu değer $3,2 \times 10^{13}$ m/Kg olmuştur.

4 No.lu numunenin toplam katı madde konsantrasyonu, 3 No.lu numuneye çok yakın tutulmuş ve %1.257 olarak tespit edilmiştir. Bu numunenin başlangıçtaki özgül direnç değeri $2,7 \times 10^{14}$ m/Kg, optimum doz 10 Kg K.P/Ton K.M ve bu doza karşı gelen özgül direnç değeri $6,7 \times 10^{13}$ m/Kg olarak bulunmuştur. Donmuş-çözülmüş çamur için bu değer $7,9 \times 10^{13}$ m/Kg olmuştur.

Dört çamur numunesine ait, katyonik polimerle şartlandırılmış ve dondurularak çözölmeye bırakılmış çamur tipleri laboratuvar ölçekte hazırlanmış kum yataklardan süzülmüş ve hiçbir işleme tabi tutulmamış ham çamura oranla çok kısa sürede sularını vermişlerdir. Bu deneylere ait sonuçlar sırasıyla ekler kısmında verilmiş olan "Serbest Filtrasyon" Grafiklerinde gösterilmiştir.

İlk üç numune için 500 ml. hacimli çamur tipleri deneye tabi tutulmuştur. 4 No.lu numuneden alınan miktarlar ise bu deney için 250 ml. olmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre; 1 No.lu numuneye ait hiçbir işlem görmemiş çamur tipinin süzüntü hacmi ilk 95 dk. sonunda 180 ml. olmuş ve bundan sonra çok az artarak 215 dk. sonunda 200 ml. değerine ulaşmıştır. Bu çamur hacminin ilk 95 dk. sonunda % 36 oranında azalması demektir. Şartlandırılmış çamur tipi ise ilk 40/dk. sonunda suyunun büyük bir kısmını vermiş ve süzüntü hacmi bu süre sonunda 200 ml. olmuştur. 215 dk. sonunda bu değer 230 ml.'ye ulaşmıştır. Bu çamur tipi için hacim azalması ilk 45 dk. sonunda %40 olmuştur. Donmuş-Çözölmüş çamur tipine ait süzüntü hacmi ilk 10 dk. sonunda 177 ml.

olmuş bundan sonra çok az artmaya devam etmiştir. Bu çamurun hacim azalması ilk 45 dk. sonunda (195 ml.) %39 olmuştur.

2 No.lu numuneye ait şartlandırılmış çamur tipinin süzüntü hacmi ilk 45 dk. sonunda 170 ml. 135 dk. sonunda 200 ml. olmuştur. Bu değerden sonra sabit kalmıştır. 135 dk. sonunda hacim azalması % 40 olmuştur. Donmuş-çözülmüş çamur tipinin süzüntü hacmi ilk 10 dk. sonunda 175 ml. olmuş bundan sonra çok düşük bir artış göstererek 135 dk. sonunda 180 ml.'ye ulaşmıştır. Bu süre sonunda hacim azalması %36 olmuştur.

3 No.lu numuneye ait hiç bir işlem görmemiş ham çamur tipinin süzüntü hacmi ilk 60 dk. sonuna kadar çok az bir miktara ulaşmış (16 ml.) ancak bu dk.'dan sonra artış göstererek ilk 320 dk. sonunda 100 ml. değerine ulaşmış ve bu değerden sonra sabit kalmıştır. Bu süre sonunda hacim azalması % 20 olmuştur. Şartlandırılmış çamur tipinin süzüntü hacmi ilk 2 dk. sonunda 180 ml. 30 dk. sonunda 200 ml. olmuş bu değerden sonra fazla artmamıştır. Bu süre sonunda hacim azalması % 40 olmuştur. Donmuş-çözülmüş çamur tipinin süzüntü hacmi ilk 2 dk. sonunda 150 ml. ilk 30 dk. sonunda ise 180 ml. olmuştur. İlk 50 dk. içinde bu değer 200 ml. olmuş bundan sonra fazla artmamıştır. İlk 30 dk. sonunda hacim azalması % 36 olmuştur.

4 No.lu çamur numunesine ait hiç işlem görmemiş çamur tipi ilk 90 dk.'nın sonundan itibaren artış göstermiş 210 dk.'nın sonunda 26 ml.'ye ulaşmıştır. Hacim azalması bu süre sonunda % 10 olmuştur. Şartlandırılmış çamur tipinin süzüntü hacmi ilk 30 dk. sonunda 34ml. olmuş bundan sonra ilk 90 dk. sonuna kadar çok az artmış, bu süreden sonra yine hızlanarak 150 dk.'nın sonunda 70 ml. değerine ulaşmıştır. Bu süre sonunda hacim azalması % 28 olmuştur. Donmuş-çözülmüş çamur tipinin süzüntü hacmi ilk 80 dk. sonunda 40 ml. olmuş, bundan sonra düşük bir hızla artmaya devam ederek 150 dk. sonunda 45 ml. değerine ulaşmıştır.

Hacim azalması ilk 80 dk. sonunda % 16 ve 150 dk. sonunda % 18 olmuştur.

5.3. Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi

Buchner Hunisi Deney Düzeneği ve Laboratuvar ölçekli kum yatağı çalışmalarından elde edilen verilere dayanılarak şu sonuçlara varılmıştır:

1- Aktif çamurun katyonik polimerle şartlandırılmasında optimum doz miktarı çamurun toplam katı madde miktarına bağlı olduğu kadar, başlangıçtaki özgül direncine de bağlı olmuştur.

1 No.lu numune düşük bir katı madde muhtevasına sahip olmakla beraber başlangıçtaki özgül direnci çok yüksek olduğu için optimum doz ihtiyacı da yüksek olmuştur. Bu değerler sırasıyla % 0.678, 15×10^{14} m/Kg ve 10.5 Kg. K.P/Ton K.M olarak hesaplanmıştır. Donmuş-çözölmüş çamurun bu numune için özgül direnç değeri $2,3 \times 10^{14}$ m/Kg olup hiç işlem görmemiş çamura oranla son derece düşük bir değer göstermiştir. Bu sonuç donma-çözölme işleminin bu çamur numunesinin suyunu verme özelliğini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Ancak optimum dozla şartlandırma daha etkili olmuş ve özgül direnç değerini 6.8×10^{13} m/Kg değerine kadar düşürmüştür.

2 No.lu numunenin katı madde muhtevası daha yüksek olmakla beraber (%1,167), başlangıçtaki özgül direnç değeri 1 No.lu numuneden daha düşük olduğu için (7×10^{14} m/Kg), optimum doz ihtiyacı çok az bir artış göstererek 12 Kg KP/Ton KM ve bu değere karşı gelen özgül direnç değeri 9.4×10^{13} m/Kg olmuştur. Donmuş-Çözölmüş çamur için bu değer $5,8 \times 10^{14}$ m/Kg olmuştur. Bu değer başlangıçtaki özgül dirençle mukayese edildiğinde, donma,çözölme işlemi bu numune için de çamurun suyunu verme özelliğini iyileştirmiştir. Ancak optimum dozla şartlandırma daha etkili olmuştur.

3 No.lu numunenin katı madde muhtevası biraz daha yükseltilmekle beraber başlangıçtaki özgül direnç değeri 2 No.lu numuneden çok daha düşük olduğu tespit edilmiştir. (2.2×10^{14}). Bu sebeple katı madde muhtevsındaki çok az bir değişime karşın başlangıç özgül direncinin önemli miktarda değişimi ($1/3$ 'ü kadar) optimum doz ihtiyacını azaltarak 10 Kg KP/Ton KM olmasını sağlamıştır. Bu değere karşılık gelen özgül direnç değeri 4.4×10^{13} m/Kg olmuştur. Donmuş-çözölmüş çamur için bu değer 3.2×10^{13} m/Kg olmuştur. Bu numune için donma-çözölme işlemi, şürtlendirme işleminden daha etkin bir sonuç vermiştir. bunun sebebi, çamurun donma süresinin daha uzun tutulmuş olmasıdır (8 Gün).

4 No.lu numunenin katı madde muhtevası 3 No.lu numuneye çok yakın tutulmuş (%1,257) ve başlangıçtaki özgül dirençleri de birbirine çok yakın değerlere sahip olmuştur. (2.7×10^{13} m/Kg). Bu sebeple optimum doz ihtiyacı 3 No.lu numunenin optimum doz ihtiyacına eşit çıkmış ve 10 Kg KP/ Ton KM olmuştur. Buna karşı gelen özgül direnç değeri $6,7 \times 10^{13}$ m/Kg. olarak bulunmuştur. Dönmüş-çözölmüş çamur için bu değer, 7.9×10 m/Kg olmuştur. Bu numunenin donma süresi ilk 2 numune ile aynı olup "7" Gün'dür. Bu numune için de donma-çözölme işlemi çamurun suyunu verme özelliğini olumlu yönde etkilemiş fakat şartlandırma daha etkili olmuştur.

2- Katı madde muhtevaları birbirine yakın olan 2,3 ve 4 No.lu numunelerin optimum doza karşı gelen minimum özgül direnç değerleri ve başlangıç özgül direnç değerleri incelendiği zaman (sırasıyla; 7×10^{14} ve 9.4×10^{13} m/Kg; 2.2×10^{14} ve 4.4×10^{13} m/Kg; 2.7×10^{14} ve 6.7×10^{13} m/Kg), minimum özgül direncin elde edilebilirliğinin başlangıçtaki özgül dirençle ilişkili olduğu görölmüştür.

3- Buchner Hunisi deney düzeneği ile elde edilen sonuçları, laboratuvar ölçekli kum yatağı ile süzme işleminden elde edilen sonuçlar da desteklemiştir.

3 No.lu numune daha uzun süre dondurulduğu için donmuş-çözölmüş çamurun şartlandırılmış çamurdan (ilk 120 dk. sonunda) daha iyi sonuç verdiği görölmüşdür. Diğer numuneler için ise donmuş-çözölmüş çamur hiç işlem görmemiş çamura göre çok daha kısa sürede suyunu vermiş, fakat şartlandırılmış çamurla daha iyi sonuç elde edilmiştir.

4- Donmuş-çözölmüş çamurun en büyük etkisi katı madde muhtevası az olan 1 No.lu çamur numunesi ile daha uzun süre dondurulan 3 No.lu numunesi üzerine olmuştur. Katı madde konsantrasyonu arttıkça partiköller arasındaki mesafe azalır, itme kuvveti artar ve donma etkisiyle partiköllerin hareket ederek kümeler halinde daha büyük parçacıklar oluşturmaları güçleşir. Bu sebeple en etkin sonuç daha küçük boyutlu, daha düşük konsantrasyona sahip olan aktif çamur örneklerinde elde edilmiştir.

3 No.lu numunenin katı madde konsantrasyonu yüksek olmakla beraber donma süresi uzun tutulduğu için donma-çözölme prosesi bu numune üzerinde çok daha etkili olmuştur.

Çalışmalardan elde edilen sonuçlar Tablo 5.2 'de gösterilmiştir.

TABLO. 5.2. Kimyasal Madde ile Şartlandırılmış ve Donma-Çözülme İşlemine Tabi Tutulmuş Çamur Örneklerine Ait Deney Sonuçları

Ölçülen Parametreler	Çamur Örnekleri			
	I	II	III	IV
TKM, kg/m ³	6.78	11,67	12,5	12,57
AKM ^a , kg/m ³	5.95	10,34	11,69	12,32
AKM ^b , kg/m ³	6.02	10,48	11,81	12,45
AKM ^c , kg/m ³	5,95	10,34	11,69	12,32
r ^d , m/kg	15x10 ¹⁴	7x10 ¹⁴	2,2x10 ¹⁴	2,7x10 ¹⁴
r ^e , m/kg	6,8x10 ¹³	9.4x10 ¹³	4.4x10 ¹³	6.7x10 ¹³
r ^f , m/kg	2,3x10 ¹⁴	5.8x10 ¹⁴	-	7.9x10 ¹³
r ^g , m/kg	-	-	3.2x10 ¹³	-
Opt.Doç, kg K.P/Ton. K.M	10.5	12	10	10

a : Hamçamur için tayin edilen değer,

b : Optimum polimer dozu ilavesinden sonra tayin edilen değer,

c : Donma-çözülme işleminden sonra tayin edilen değer,

d : Başlangıçtaki özgül direnç değeri (hamçamura ait değer)

e : Optimum polimer dozuna karşılık gelen özgül direnç değeri,

f : 7 gün dondurulduktan sonra 24 saat çözölmeye bırakılan çamurun özgül direnç değeri,

g : 8 gün dondurulduktan sonra 24 saat çözölmeye bırakılan çamurun özgül direnç değeri.

K.P:Kuru polimer

K.M:Ton katı madde

BÖLÜM 6. DONMA YATAKLARININ BOYUTLANDIRILMASI

6.1. Tasarım Esasları

Çamur susuzlaştırma, bir çok su ve atıksu arıtma tesisleri için son derece önemli bir problem olmaktadır. Bu problem özellikle soğuk bölgelerde ulaşım güçlüğü ve sert iklim sebebiyle önem taşımaktadır. İlgili ekipman ve yedek parçaların temin edilmesinin güçlüğü ve yetişmiş eleman eksikliği sebebiyle, genellikle mekanik susuzlaştırma metodları istenmemektedir. Doğal bir susuzlaştırma metodu olan "Çamur Kurutma Yatağı" ise yaz mevsimi için uygun olmaktadır. Çamurların susuzlaştırılması için son derece basit ve uygun bir metod olan donma yatakları, doğal donma-çözülme süreçlerini kullanmaktadır.

Donma-Çözülme prosesinin çamur susuzlaştırılabilirliği üzerine olumlu etkileri çok iyi bilinmesine rağmen pratikte geniş bir uygulama alanı olmamıştır. Bununla beraber Kuzey'deki bazı tesislerde mevcut kurutma yatakları veya lagünler donma ve çözülmei doğal olarak temin edecek şekilde modifiye edilmişlerdir.

Doğal donma-çözülme ile çamurun etkin bir şekilde susuzlaştırılması için donma yatağı aşağıdaki özellikleri içermelidir:

1- Çamur yatağa tek bir kalın çamur tabakası şeklinde değil, ince tabakalar halinde serilmelidir.

2- İçine kar ve yağmur girişini önlemek için yatağın üzeri örtülmelidir. Bu durum, yatak bütün bir kiş mevsimi süresince kullanılacağı zaman çok büyük önem taşır. Açık donma yatağının kapasitesi; üzerinde biriken karın donmayı geciktirmesinden dolayı daha düşüktür.

3- Yatak kenarları, serbest hava sirkülasyonuna izin verecek şekilde açık bırakılmalıdır. Bununla beraber, yatak girişinden kar sürüklenmesini önlemek için bir yarım duvar veya pancurlu duvar tavsiye edilmektedir. Yatak çatısı, solar radyasyonun bahar aylarında zlmeye ve çamur kurutmaya yardım edebilmesi için transparan yapılmış olmalıdır. Düşük Güneş açısı ve çatıda kar birikimi ihtimali sebebiyle kiş mevsimi için solar radyasyon girişi ihmal edilebilir.

Esas olarak donma yatağı yeraltısuyunun kirlenmesini önlemek için sızdırmazlığı sağlanmış olan ve yeraltına inşa edilen betonarme yapıdan ibarettir. Çamurun uzaklaştırılması için araç girişine izin verecek şekilde, yatağın giriş kısmına bir eğim verilir. Bu eğim aynı zamanda giren çamurun yatakta düzgün olarak dağılmasını da sağlamaktadır. Yatağın ıkış ucu, zlme süresince çamur suyunu almak için bir çıkış yapısı ya da dren vanalarıyla donatılır. Yatak tabanına, sznt suyunun drenajını sağlamak için ızgara veya kum döşenir. amursuyu ve sznt suyu bir çukurda toplanır ve tesis girişine pompalanır.

Kış ayları süresince, operatör çamurları yatağa tabakalar halinde verir. Her tabaka, bir önceki tabaka donar donmaz yatağa serilir. Bu uygulama bir termostat yardımıyla elle veya otomatik olarak yapılabilir. Kış mevsiminin sonunda, biriken donmuş çamur tabakaları çözülmeye başlar. Normal şartlar altında çözülme yukarıdan aşağı doğru gerçekleşir. Çamur suyunun çoğu yan duvar ile donmuş çamur arasında açılan delik ya da savaktan drene edilerek uzaklaştırılır. Çözülme tamamlandığı zaman geriye kalan sıvılar tabandaki ızgara ya da kumdan geçirilerek drene edilir ve uzaklaştırılır. Gerekirse, kalan katı maddeler istenilen katı madde muhtevasına ulaşıncaya kadar kurutulmak üzere yatakta bırakılır. Daha sonra operatör uygun bir taşıma aracı ile çamuru uzaklaştırır.

Çamur dondurma yatağı çamur susuzlaştırma metodu olarak tekbaşına veya kurutma yatağı gibi diğer metodlarla birlikte kullanılabilir. Eğer tek başına kullanılacaksa, yaz ayları süresince çamuru biriktirmek için bir depo gerekli olacaktır. Bu depo, eğer kapasite yeterli ise bir lagün, tank hatta digester olabilir. Diğer susuzlaştırma metodlarından biriyle birlikte kullanılacaksa, yatak sadece kış ayları süresince oluşacak çamur için boyutlandırılır. Uygun iklim bölgelerinde donma yatakları ile çamur kurutma yatakları kombinasyonları cazip olmaktadır.

Çamurun bu metodla susuzlaştırılması, diğer mekanik yöntemlere göre çok daha ekonomik olmaktadır. Çünkü donma ve çözülme doğal yollarla gerçekleşmektedir. Ayrıca kimyasal şartlandırma ihtiyacı da yoktur. Donma yatağının inşaat maliyeti kurutma yatağı ile mukayese edilmelidir, çünkü her iki yatağın yapıları birbirine benzerdir. Bununla beraber donma yatağının işletme ve bakım giderleri kurutma yatağına göre daha azdır, çünkü çamur; donma yatağından mekanik olarak yılda sadece bir kez uzaklaştırılacaktır.

6.1.1. Yatak Derinliğinin Tahminine Ait Modeller

Donma yatağının kapasitesi, donma ve çözülme mevsimleri süresince donacak ve çözülecek olan çamurun derinliğine bağlıdır. Çok soğuk iklimlerde dondurulabilen çamur yüksekliği, çözülebilen çamur yüksekliğinden daha fazladır. Bu durumda çözülme derinliği kısıtlayıcı faktör olacaktır ve tasarım için bu derinlik kullanılmalıdır. Daha ılıman iklimlerde, tam tersi durum meydana gelecek ve donma derinliği tasarım için sınırlayıcı kriter olacaktır. Bu derinliklerin tahmininde kullanılan modeller, bir ısı-denge yaklaşımı kullanılarak geliştirilmiştir.

Donma tasarım derinliği, donma mevsimi süresince dondurulabilen bütün tabakaların toplamına eşit olacaktır. Solar radyasyonun donma üzerine etkisi ihmal edilerek, donma için tasarım derinliği (D_f) aşağıdaki eşitlikten tahmin edilebilmektedir (Martel, 1989) .

$$D_f = \frac{P_f(T_f - \bar{T}_{af})}{\rho_f \cdot L \left[\frac{1}{h_c} + \frac{E}{2K_{fs}} \right]} \dots\dots\dots, m \quad (1) \text{ Burada;}$$

P_f : Donma periyodu, saat

T_f : Donma sıcaklığı, °C

$\bar{T}_{af}$: Donma süresince ortalama hava sıcaklığı, °C

ρ_f : Dondurulacak çamurun Yoğunluğu, Kg/m³

L : Gizli kaynaşma ısısı, Watt.saat/Kg.

h_c : Konveksiyon sabiti, Watt/m².°C

E : Çamur tabakasının kalınlığı, m

K_{fs} : Dondurulacak çamurun iletkenlik katsayısı, Watt/m. °C

I No.lu eşitlikle ilgili incelemeler, konveksiyonun ilk ısı kaybı mekanizması olduğunu göstermektedir. Bu mekanizma konveksiyon ($1/h_c$) ve iletkenlik ($E/2K_{fs}$) terimlerine ait nisbî büyüklüklerin mukayesesi ile tanımlanabilir. Tipik K_{fs} , h_c ve E değerleri sırasıyla; $2,21 \text{ Watt/m}^{\circ}\text{C}$, $7,5 \text{ Watt/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ve $0,08 \text{ m}$. alınarak bulunan konveksiyon değeri ($0,1333$) iletkenlik değerinin ($0,0181$) hemen hemen 10 katı kadar büyük olmaktadır. Bunun anlamı; verilen bir hava sıcaklığı için; donma süresince ortalama rüzgar hızı, donma hızını kontrol etmektedir.

Baharda, donmuş çamur kütlelerinin çözülmesi donma yatağının duvarları boyunca yüzeyden başlar. Çözülmenin devamı süresince katılar; bir yalıtım etkisine sebep olan donmuş çamur üstünde birikecektir. Bu yüzden, yatağın tabanındaki çamur, üstteki çamura göre daha uzun sürede çözülecektir. Ayrıca, çamur koyu renkli olduğu için solar radyasyonu absorblayacak ve güneşli günlerde hızla ısısı artacaktır. Bu ilave ısı, yüzey sıcaklığını artıracak ve çözülme prosesi hızlanacaktır. Çözülme sürecinde supernatantın çoğunun giderildiği farzedilerek çözülecek olan çamurun toplam derinliğini (Y) tahmin etmek için aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır (Martel, 1989).

$$Y = \left[\left(\frac{K_{ss}}{\theta h_c} \right)^2 + \frac{2K_{ss} P_{th}}{\theta \beta} \right]^{1/2} - \frac{K_{ss}}{\theta h_c} \dots\dots\dots (2)$$

Burada; $\beta = \rho_f L / (\bar{T}_{at} - T_f + \alpha \bar{I} / h_c)$

K_{ss} = Çamurun termal iletkenliği, $\text{Watt/m}^{\circ}\text{C}$

θ = Çökelmiş çamurun, çözülen çamur birim derinliği başına fraksiyonu, Boyutsuz

P_{th} = Çözülme periyodu, saat

$\bar{T}_{at}$ = Çözülme süresince ortalama hava sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$

α = Çamurun solar absorbansı, Boyutsuz

τ = Çatı malzemesinin geçirgenliği, Boyutsuz

$\bar{I}$ = Çözülme süresince kritik güneş radyasyonu, Watt/m²

Eşitlik 1 ve 2'deki her bir parametrenin önerilen değerleri Tablo 6.1'de verilmiştir. Çamurun bazı termal ve fiziksel özelliklerinin su ve buza eşit olduğu farzedilebilir, çünkü çoğu çamurun başlıca bileşeni su olmaktadır.

Pilot tesis çalışmalarından elde edilen ilk sonuçlar; Gerçek çözülme derinliğinin 2 No.lu eşitlik ile tahmin edilen değerden % 10 daha büyük olduğuna işaret etmektedir (Martel, .1989).

TABLO: 6.1.1. 1 ve 2 Eğitimliğindeki Parametrelerle Alt Tahmini Değerler (Vesilind, 1989).

Parametre	Parametre Değeri	Açıklama
ρ_f	917 Kg/m ³	Yaklaşık olarak buz yoğunluğuna eğit kabul edilir.
E	0.08 m	Düzgün bir dağılım için mın. tabaka kalınlığı 0.05 m.dir. Max. değer yoktur; fakat E art-tıkça doruma hızı azalır.
	0.34	Anaerobik olarak çürütülmüş çamur
θ	0.15	Aerobik olarak çürütülmüş çamur
	0.07	Su arıtma çamuru
K_{fs}	2.21 Watt/m. ² .°C	Yaklaşık olarak buzun termaliletkenliğine eğit kabul edilir.
K_{sa}	0.35 Watt/m. ² .°C	Vesilind ve Martel (1989) tarafından Yapılan ölçümlere göre belirlenir.
L	93 Watt.Snat/Kg.	Yaklaşık olarak suyun mevcut gizli ısıasına eğit alınır.
α	0.9	Çamura benzer rengi olan kuraklık sonucu çallemig yerin absorbanasına eğit alınır.
T_f	0°C	Laboratuvar ölçümleri ile belirlenir.
τ	0.9	Fiber takviyeli polyeatların geçirgenliğine alt üreticilerin literatürün de belirlilen değer
h_c	7.5 Watt/m. ² .°C	Orazi ölçümleri ile Belirlenir.
T_{af}, T_{at}	Yere göre değişir	En yakın meteorolojî istasyonundan alınır.
$\bar{T}$	Yere göre değişir	
P_f, P_{th}	Yere göre değişir	En yakın meteorolojî istasyonundan alınır.

6.2. Tasarım Örneği

Aylar	Sıcaklık °C	Kritik Güneş Radyasyonu cal/cm ² Gün	Kritik Güneş Radyasyonu Watt/m ²
Ocak	-10.1	180.43	87.438
Şubat	- 8.6	252.02	122.131
Mart	-4.3	326.14	158.05
Nisan	2.6	374.86	181.66
Mayıs	7.8	410.16	198.77
Haziran	11.7	484.94	235.01
Temmuz	15.6	489.31	237.12
Ağustos	15.5	450.20	218.17
Eylül	11.0	364.25	176.52
Ekim	4.6	252.64	122.43
Kasım	-1.0	172.37	83.53
Aralık	-7.0	141.54	68.59

$$* \text{ Değişim faktörü} = (\text{cal/cm}^2 \text{ gün} \times \frac{10^4 \times 4.187}{86400}) = \text{Watt/m}^2$$
$$0.48461$$

$$P_f = \text{Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart}$$
$$\begin{matrix} 30 & 31 & 31 & 28 & 31 \\ & & & & = 151 \text{ Gün} \\ & & & & = 3624 \text{ Saat} \end{matrix}$$

$$P_{th} = 214 \text{ Gün} = 5136 \text{ Saat}$$

$$T_{af} = \frac{-1 -7 -10.1 -8.6 - 4.3}{5} = - \frac{31}{5} = - 6.2 \text{ °C}$$

$$T_{at} = \frac{2.6 + 7.8 + 11.7 + 15.6 + 15.5 + 11.0 + 4.6}{7}$$
$$= \frac{68.8}{7} = 9.83 \text{ °C}$$

$$I = \frac{181.66 + 198.77 + 235.01 + 237.12 + 218.17 + 176.52 + 122.43}{7}$$
$$= \frac{1369.68}{7} = 195.67 \text{ Watt/m}^2$$

6.2.1. Donma Modeli

$$D_f = \frac{P_f (T_f - T_{af})}{\rho_f L \left(\frac{1}{h_c} + \frac{E}{2K_{fs}} \right)}$$

$$T_f = 0^{\circ}\text{C}$$

$$T_{af} = -6.2^{\circ}\text{C}$$

$$P_f = 3624 \text{ saat}$$

$$\rho_f = 917 \text{ kg/m}^3$$

$$L = 93 \text{ watt-saat/kg}$$

$$h_c = 7.5 \text{ watt/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$E = 0.08 \text{ m}$$

$$K_{fs} = 2.21 \text{ watt/m}^{\circ}\text{C}$$

$$D_f = \frac{3624 \text{ saat } (0 + 6.2)^{\circ}\text{C}}{917 \text{ kg/m}^3 \times 93 \frac{\text{watt-saat}}{\text{kg}} \left(\frac{1 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{7.5 \text{ watt}} + \frac{0.08 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{2 \times 2.21 \text{ watt}} \right)}$$

$$T_f = 0^{\circ}\text{C}$$

$$D_f = 1.74 \text{ m}$$

6.2.2. Çözülme Modeli :

$$y = \left[\left(\frac{K_{ss}}{\theta h_c} \right)^2 + \frac{2K_{ss} P_{th}}{\theta \beta} \right]^{1/2} - \frac{K_{ss}}{\theta h_c}$$

$$K_{ss} = 0.35 \text{ watt/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\theta = \text{Aerobik olarak çürütülmüş çamur için : 0.15}$$

$$\text{Bizim örneğimiz için : 0.1}$$

$$h_c = 7.5 \text{ watt/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\beta = \frac{\rho_f L}{T_{at} - T_f + \frac{\alpha \tau I}{h_c}} = \frac{917 \text{ kg/m}^3 \times 93 \text{ watt-saat/kg}}{9.83^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C} + \frac{0.9 \times 0.9 \times 195.67 \text{ watt/m}^2}{7.5 \text{ watt/m}^2\text{C}}}$$

$$\beta = 2754,34 \text{ watt-saat/m}^3.^\circ\text{C}$$

$$\rho_f = 917 \text{ kg/m}^3$$

$$L = 93 \text{ watt-saat/kg}$$

$$T_{at} = 9.83^\circ\text{C}$$

$$T_f = 0^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 0.9$$

$$\tau = 0.9$$

$$I = 195.67 \text{ watt/m}^2$$

$$P_{th} = 5136 \text{ saat}$$

$$Y = \left[\left(\frac{0.35 \frac{\text{watt}}{\text{m}^\circ\text{C}}}{0.1 \times 7.5 \frac{\text{watt}}{\text{m}^\circ\text{C}}} \right)^2 + \frac{2 \times 0.35 \frac{\text{watt}}{\text{m}^\circ\text{C}} \times 5136 \text{ saat}^{1/2}}{0.1 \times 2754.34 \frac{\text{watt-saat}}{\text{m}^3.^\circ\text{C}}} \right] - \left[\frac{0.35 \frac{\text{watt}}{\text{m}^\circ\text{C}}}{0.1 \times 7.5 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2.^\circ\text{C}}} \right]$$

$$Y = 3.18 \text{ m,}$$

1.74 m < 3.18 m ; Tasarım derinliği olarak donma derinliği alınmalıdır.

6.2.3 Boyutlandırma

$$N = 24000 \text{ Kişi}$$

$$q = 150 \text{ lt/K.G}$$

$$\alpha_a = 0.7 \quad \text{atık su katsayısı}$$

$$Q_{\text{evsel}} = 24000 \times 150 \times 0.7 = 2520 \text{ m}^3/\text{G}$$

$$P_x = (S_o - S_e) \cdot Q \cdot Y' ; \quad Y' = \frac{Y}{1 + K_d \theta_c}$$

$$P_x = (350 - 20) \cdot 10^{-3} \times 2520 \times 0,24 \\ = 200 \text{ Kg/Gün}$$

Son çökeltme tankı çıkışı katı madde konsantrasyonu = % 1

$$Q_w = \frac{200 \text{ Kg/Gün}}{0.01 \times 1,020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 10^3} = 19.6 \text{ m}^3/\text{Gün}$$

$$\text{Yoğunlaştırıcıya giren Debi} = Q_w = 19.6 \text{ m}^3/\text{Gün}$$

Yoğunlaştırıcı çıkışı katı madde konsantrasyonu : % 4

$$Q_{DY} = \frac{200 \text{ kg/G}}{1.020 \times 0.04 \times 10^3} = 4.9 \text{ m}^3/\text{Gün} \quad \text{--- 1 günde yatağa gelen debi}$$

$$h = 1.74 \text{ m.}$$

$$Q = 4.9 \text{ m}^3/\text{Gün}$$

$$\rho_g = 1,02 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{Çamurun özgül ağırlığı}$$

$$A = \frac{4.9 \times 365}{1.74} = 1028 \text{ m}^2$$

Seçilen değerler

$$B = 3.0 \text{ m.}$$

x 33 adet yatak var.

$$L = 10.5 \text{ m.}$$

Dren Sularını toplama çukurunun boyutları: $B = 0.4 \text{ m.}$
 $L = 0.4 \text{ m.}$
 $h = 0.625 \text{ m.}$

olarak seçilmiştir.

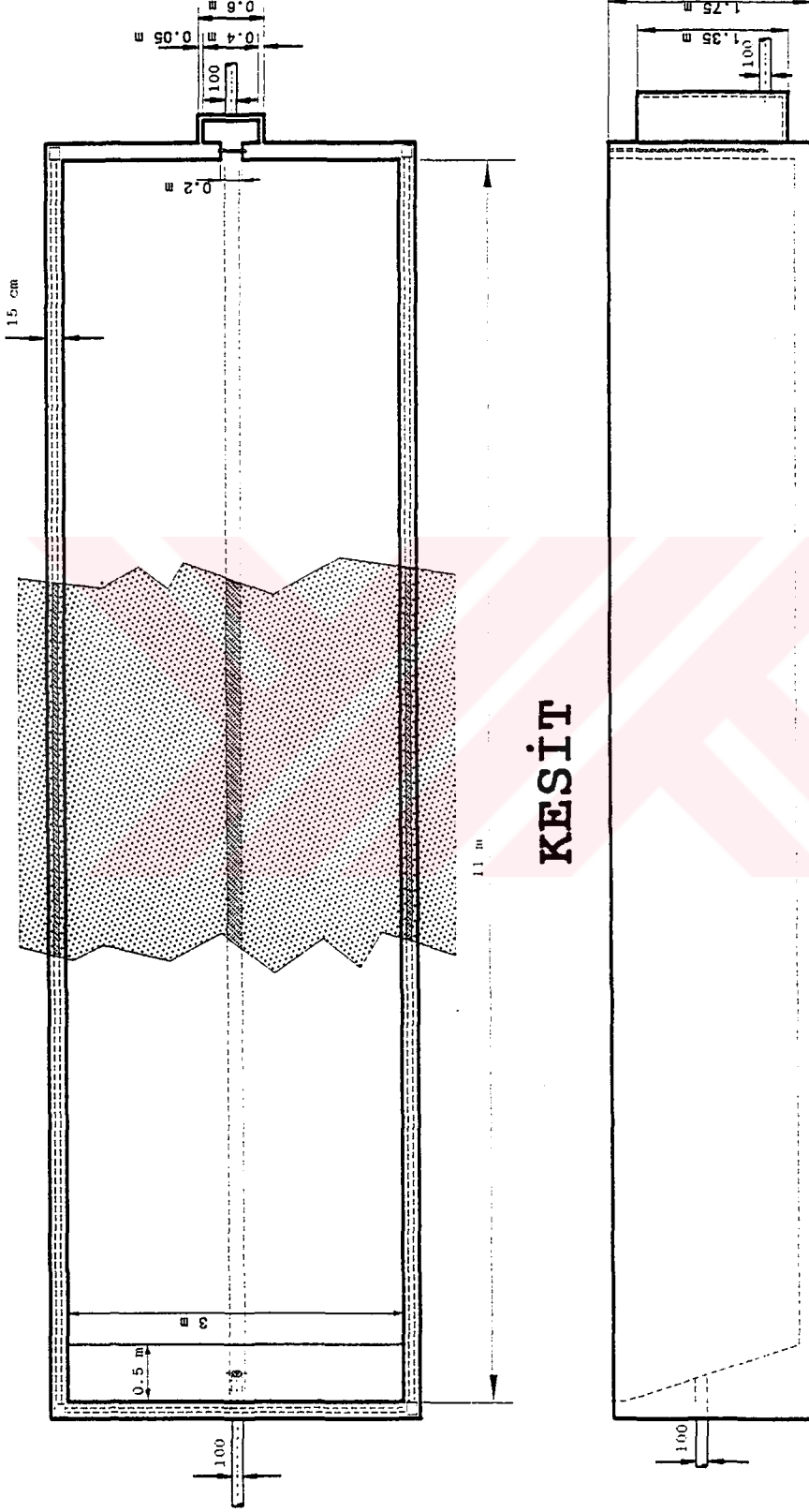
Sadece Donma Yatağı : 1028 m^2

Donma Yatağı + Kurutma Yatağı : $434 + 856 = 1290 \text{ m}^2$

Sadece Kurutma Yatağı : 1460 m^2

Kurutma yatağı alan hesapları, katı madde yükleme hızı 50 Kg/m^2 alınarak yapılmıştır (Martel , 1989).

Şekil 7.1'de Sarıkamış için boyutlandırılan donma yatağına ait plân ve kesit verilmiştir.



Şekil 7.1 Sarıkamış örneğine ait Çamur Donna Yatağı Plân ve Kesiti. ÖLÇEK 1:50

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Donma çözülmenin aktif çamurun susuzlaştırılabilirliği üzerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, üç aktif çamur örneğinden alınan belli hacimler -6°C sıcaklıkta 7 gün, 1 aktif çamur örneğinden alınan belli hacim ise -6°C sıcaklıkta 8 gün dondurulduktan sonra 24 saat çözölmeye bırakılmıştır.

Geriye kalan çamur örnekleri üzerinde Super Flok C420 Katyonik polimer tipi ile şartlandırma deneyleri yapılmış ve optimum doz miktarları tayin edilmiştir.

Buchner Hunisi Deneyinden elde edilen veriler yardımıyla; hiçbir işlem görmemiş, optimum dozla şartlandırılmış ve donma-çözölme işlemine tabi tutulmuş çamur örneklerine ait özgül direnç değerleri tespit edilmiş ve bu değerler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Özgül direnç değerleri hesaplandıktan sonra bu çamurlar laboratuvar ölçekte hazırlanmış olan kum yataklarından süzölmüş ve zamana karşı süzöntü hacimleri not edilmiştir.

Elde edilen deney sonuçları birbirlerini desteklemiş ve daha önce yapılan çalışmalarla uyum sağlamıştır.

Çalışmalardan elde edilen sonuçlar ana hatları ile aşağıda özetlenmiştir.

7.1.1. Şartlandırılmış Çamur Örnekleri

Aktif çamurun katyonik polimerle şartlandırılmasında optimum doz miktarı; çamurun toplam katı madde miktarına bağlı olduğu kadar, başlangıçtaki özgül direncine de bağlı olmuştur.

1 No.lu çamur örneği düşük bir katı madde muhtevasına sahip olmakla beraber başlangıçtaki özgül direnci çok yüksek olduğu için optimum doz ihtiyacı da yüksek olmuştur. Bu değerler sırasıyla; %0.678, 15×10^{14} m/Kg, 10.5 Kg Kuru Polimer/Ton Katı Madde olarak hesaplanmıştır. Optimum doz miktarına karşı gelen özgül direnç değeri ise 6.8×10^{13} m/Kg olarak bulunmuştur.

2 No.lu çamur örneğinin katı madde muhtevası daha yüksek olmakla beraber, başlangıçtaki özgül direnç değeri 1 No.lu numuneden daha düşük olduğu için optimum doz ihtiyacı çok az bir artış göstermiştir. Bu değerler sırasıyla; %1.167, 7×10^{14} m/Kg. ve 12 Kg. Kuru Polimer/Ton Katı Madde olarak tespit edilmiştir. Optimum doz miktarına karşı gelen özgül direnç değeri ise 9.4×10^{13} m/Kg olmuştur.

3 Nolu çamur örneğinin katı madde muhtevası biraz daha yükseltilmiş, ancak başlangıçtaki özgül direnç değerinin ilk iki numuneye oranla çok daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sebeple toplam katı madde muhtevasındaki az da olsa bir artışa rağmen optimum doz ihtiyacı, 2 No.lu numuneden daha düşük olmuştur. Bu değerler sırasıyla; %1.25, 2.2×10^{14} m/Kg ve 10 Kg Kuru Polimer/Ton Katı Madde olarak bulunmuştur. Optimum doz miktarına karşı gelen özgül direnç değeri 4.4×10^{13} m/Kg olarak hesaplanmıştır.

4 No.lu çamur örneğinin katı madde muhtevası 3 No.lu örneğe çok yakın tutulmuş ve bu iki çamur örneğinin özgül direnç değerlerinin de birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu sebeple 4 No.lu çamur örneğinin optimum

doz ihtiyacı 3 No.lu çamur örneğine ait optimum doz ihtiyacı ile aynı olmuştur. 4 No.lu çamur örneğine ait değerler sırasıyla; toplam katı madde %1,257, başlangıçtaki özgül direnç değeri 2.7×10^{14} m/Kg ve optimum doz ihtiyacı 10 Kg Kuru Polimer/Ton Katı Madde olarak bulunmuştur. Optimum doz miktarına karşı gelen özgül direnç değeri 6.7×10^{13} m/Kg olmuştur.

Katı madde muhtevaları birbirine yakın olan 2,3 ve 4 No.lu çamur örneklerinin optimum doz miktarlarına karşı gelen özgül direnç değerleri ve başlangıçtaki özgül direnç değerleri incelendiği zaman; minimum özgül direncin elde edilebilirliğinin, başlangıçtaki özgül dirençle ilişkili olduğu görülmüştür. Buna göre başlangıçtaki özgül direnç değeri yüksek olduğu zaman elde edilen minimum özgül direnç değeri de yüksek olmuştur.

7.1.2. Donma-Çözülme İle Şartlandırılmış Çamur Örnekleri

Donma-çözülme ile şartlandırma aktif çamurun susuzlaştırılabilirliğini olumlu yönde etkilemiş ve özgül direnç değerinde önemli bir azalma sağlamıştır. Donma süresi 7 gün olan çamur örneklerinin özgül direnç değerleri; 1 No.lu örnek için 2.4×10^{14} m/Kg, 2 No.lu örnek için 5.8×10^{14} m/kg ve 4 No.lu örnek için 7.9×10^{13} m/Kg olarak bulunmuştur. Bu değerler aynı çamur örneklerinin optimum doz miktarlarına karşı gelen özgül direnç değerlerinden daha yüksek olmuştur. Bu sonuçlardan anlaşılabacağı gibi kimyasal şartlandırmanın, bu üç çamur örneği için daha etkili olduğu görülmüştür.

Ancak donma süresi bir gün artırılarak 8 güne çıkarıldığı zaman donma-çözülmenin kimyasal madde ile şartlandırmaya oranla daha düşük bir özgül direnç değeri verdiği dolayısıyla daha etkin olduğu görülmüştür. 3 No.lu çamur örneğine ait bu değerler; donmuş-çözülmüş çamur için 3.2×10^{13} m/Kg ve kimyasal

şartlandırılmış şamur ięin 4.4×10^{13} m/Kg olarak bulunmuştur. Donma-ęözölme ile şartlandırma toplam katı madde muhtevası dűřük olan 1 No.lu şamur örneği üzerinde 2 ve 4 No.lu şamur örneklerine oranla çok daha etkili olmuştur. Bunun sebebi, katı madde konsantrasyonunun artmasıyla partiküller arasındaki mesafenin azalarak, itme kuvvetinin artmasıdır. Bunun sonucu olarak donma etkisiyle partiküllerin birbirine doğru hareket etmesi ve birleşerek daha büyük paręacıklar oluşturması güçleşir.

Buchner Hunisi deney düzeneęi ile elde edilen sonuçları, laboratuvar ölçekli kum yataklarından süzme sonucu elde edilen veriler de desteklemiřtir. 3 No.lu řamur örneęi daha uzun süre dondurulduęu ięin, donmuř ęözölmű řamurun, katyonik polimerle řartlandırılmıř řamurdan daha iyi sonuç verdięi görölműřtür. Dięer řamur örneklerinde ise donma ęözölme prosesi etkili olmuř fakat kimyasal řartlandırma iřlemi ile daha iyi sonuç elde edilmiřtir.

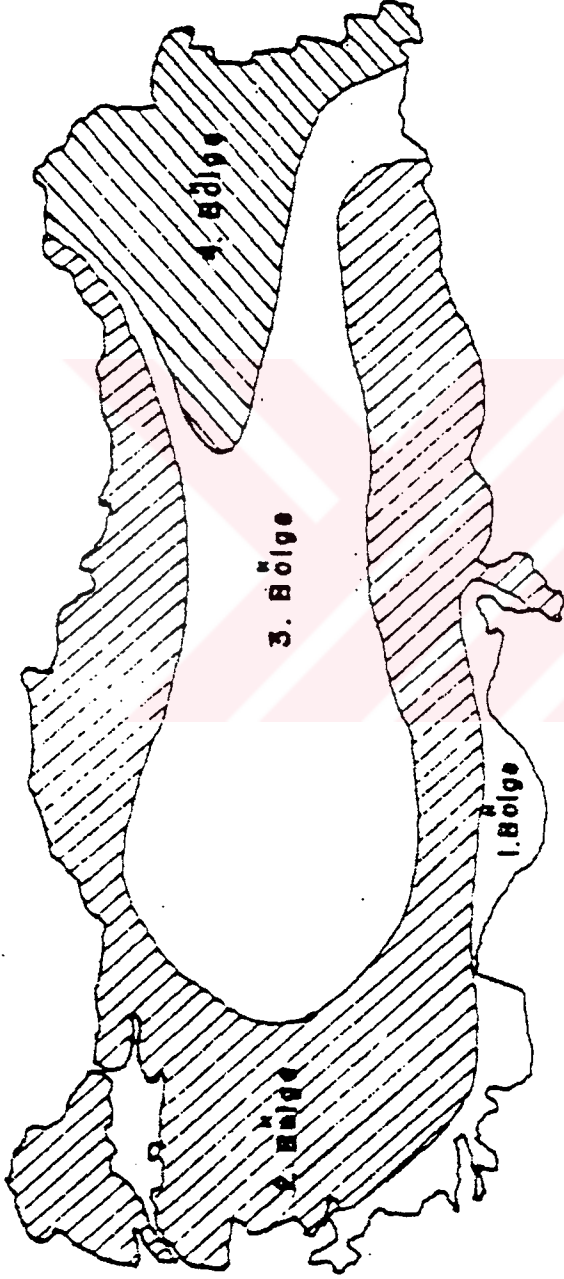
7.2. Öneriler

Donma-ęözölme ile şartlandırmanın bir uygulaması olan donma yatakları, özellikle soğuk bölgeler ięin son derece ekonomik ve işletilmesi kolay olmaktadır. Bu yataklarda; donma ve ęözölme süreçleri, doğal yolla meydana gelmekte ve eleman ihtiyacı diğer yöntemlere oranla çok daha az olmaktadır. Ayrıca mekanik yöntemlere göre işletme ve bakım masraflarıda dűřük olmaktadır.

Donma yatakları çamurun susuzlaştırılması için tek başına bir yöntem olarak veya kurutma yatakları gibi diğer yöntemlerle birlikte kullanılabilir. Tek başına kullanılması halinde çamurun yaz aylarında biriktirilmesi için bir depo gerekir. Bu depo bir lagün, tank ya da kapasitesinin yeterli olması halinde bir ęürütme ünitesi olabilir.

Ülkemiz için verilen örnekte susuzlaştırma birimi olarak sadece donma yatağının kullanılması halinde gerekli alan 1028 m² olmaktadır. Sadece kurutma yatağı kullanılırsa bu değer; Tipik katı madde yükleme hızı 50 Kg/m² alınarak 1460 m² bulunur. Her iki yatak birlikte kullanılırsa gerekli alan ihtiyacı 1290 m² (434 m² donma yatağı + 856 m² kurutma yatağı) olarak hesaplanır. Bu hesaplarda donma yatağına 151 gün, kurutma yatağına 214 gün çamur verildiği düşünülmüştür. Görüldüğü gibi en küçük alan ihtiyacı sadece donma yatağında olmaktadır. Bununla beraber yaz aylarında çamuru depolamak için bir tank vb. depoya ihtiyaç duyulacaktır. Daha etkin bir fayda-maliyet oranı için donma ve kurutma yatağının birlikte kullanılması en uygun alternatif olmaktadır.

Şekil 7.2'de oksidasyon havuzlarının projelendirilmeleri için hangi bölgelerin uygun olduğu araştırılırken havuz suyu sıcaklıklarına göre ülkemiz değişik iklim bölgelerine ayrılmıştır. Bir fikir vermek üzere su sıcaklıklarına bakıldığı zaman en soğuk bölge 4 No.lu bölge olmaktadır. Kış aylarının uzun sürdüğü bu bölge için donma yatakları veya kurutma yatağı ile kombinasyonları uygun olabilir.



	Havuz suyu sıcaklıkları (°C)	Kritik güneş radyasyonu (kal./cm ² /gün)	Yük / alan/gün (lb BOİ/hektar/gün)
1. Bölge	15	106	150
2. Bölge	10	61	100
3. Bölge	5	87	80
4. Bölge	Buzla kaplı	—	50

ŞEKİL 7.2. Bölgelerin İklim Özelliklerine Göre Ayrılması (Soyupak, 1975).

KAYNAKLAR

- ARAL, N., (1980), Tasfiye Tesislerinde Meydana Gelen Çamurların Katı Madde Oranlarının Artırılması, İ.T.Ü. İnşaat Fak. Lisans Tezi.
- BASKERVILLE, R.C., (1971), Freezing And Thawing as a Technique For Improving The Dewaterability of Aqueous Suspensions, Filt. Sep., Mar./Apr.,141.
- CHENG, C.Y., UPDERGRAFF, D.M., Ross, L.W., (1979), Sludge Dewatering by High-Rate Freezing at Small Temperature Differences, Envir. Sci. Technol., 4 (12), 1145, 1147.
- CLEMENTS ,G.S., STEPHENSON, R.J., REGAN, C.J., (1950), J.Inst. Sewage Purification, 4.318.
- CORTE, A.E., (1962), Vertical Migration of Particles in Front of a Moving Freezing Plane, J.Geophys. Res., 67 (3), 1085.
- HOEKSTRA,P., R.O., (1967), On The Mobility Of Water Molecules in The Transition Layer Between Ice And a Solid Surface, J. Colloid Interface Sci, 25(2), 166-173.
- KATZ, W.J., MASON- G.G., (1970), Freezing Methods Used to Condition Activated Sludge, Water Sewage Works, 117(4), 110.
- MARTEL, C.J.,(1989), Development and Design of Sludge Freezing Beds, J. Environmental Engineering, American Society of Civil Engineers, 115(4), 799-808.
- MARTEL,C,J.,(1991)Freezing Out Sludge, Civil Engineering Magazine, American Society of Civil Engineers, November, 64-65.
- MARTEL, C.J., DIENER, C.J., (1991), A Pilot-Scale Study of Alum Sludge Dewatering in a Freezing Bed, Journal, American Water Works Association, 82, 12, 51-55.
- METCALF & EDDY, (1979), Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse, McGraw-Hill Book Company.

- AL-MARSHOUD, S., (1989), Sludge Conditioning and Rational Analysis of Sludge Dewatering on Sand Bed, M.Sc. Thesis, Faculty of Engineering, King Abdulaziz Univ., Jeddah, Saudi Arabia.
- NOVAK, J.T., HAUGAN, B.E., (1980), Mechanisms and Methods for Polymer Conditioning of Activated Sludge, Jour. WPCF, Vol. 52, No.10, October.
- NOVAK, J.T., O'BRIEN, J.H., (1975), Polymer Conditioning of Chemical Sludges, Jour. Water Pollution Control Federation, Vol. 47, No, October.
- O'BRIEN, J.H., NOVAK, J.T., (1977), Effects of pH ve Mixing on Polymer Conditioning of Chemical Sludge, Jour AWWA, Vol. 69, Page 600, November.
- SARIKAYA, H.Z., AL-MARSHOUR, S., (1993), Improvement of Dewatering Characteristics of Aerobically Digested, Sludges, Water Science & Tch., W.Water Sludge Dewatering Vol.28, No. pp.47-53.
- SOYUPAK, S., (1975) Basit Pissu Tasfiye Metodları, Tercüme, Yayın No.14, Sf.132.
- TABER, S., (1930), The Mechanics of Frost Heaving, J.Geol., 58(4), 303.
- VESILIND, P.A., MARTEL, C.J., (1990), Freezing of Water and Wastewater Sludges, Journal of Environmental Engineering, American Society of Civil Engineers, 116(5), 854-862.

EKLER



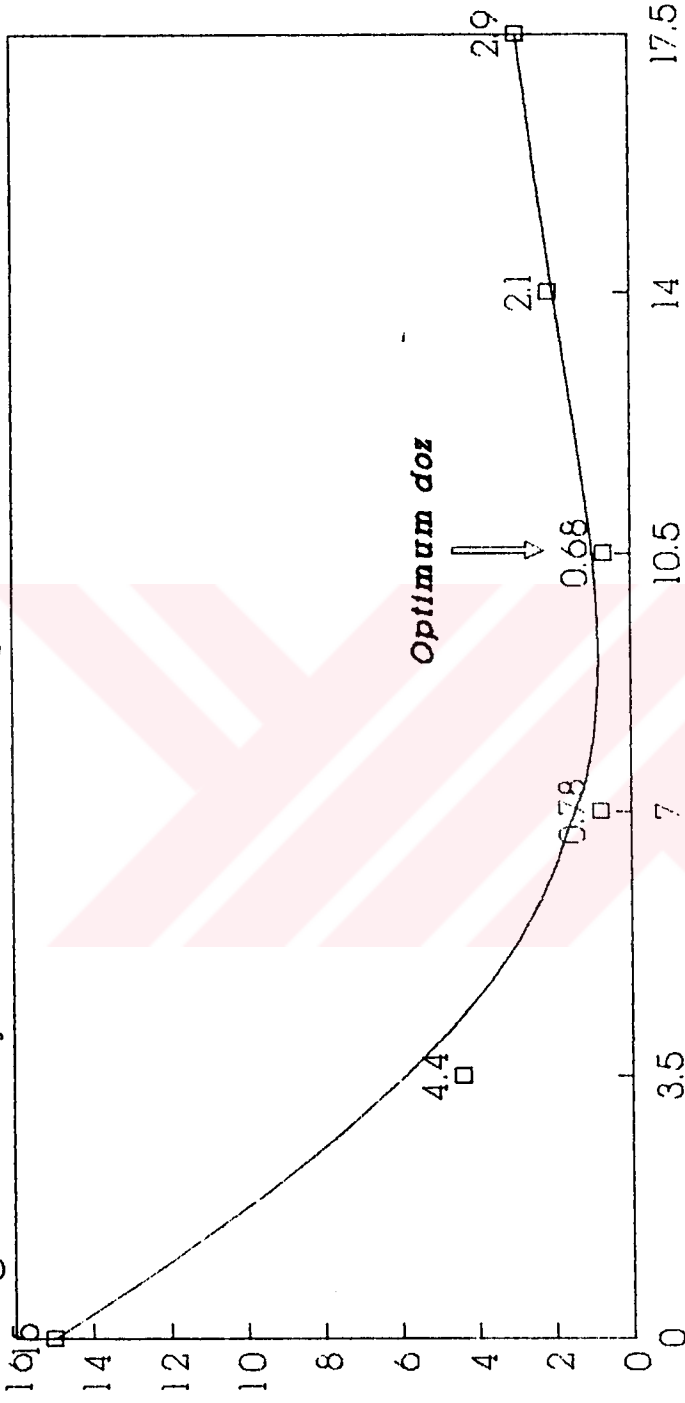
Tablo A.1 ÖZGÜL DİRENÇ TABLOSU

Çamur katılan Polielektrolit miktarı	N U M U N E N O. 1		N U M U N E N O. 2	
	Eğim sn/cm6	Çamurun özgül Direnç, m/kg	Eğim sn/cm6	Çamurun özgül Direnç, m/kg
Uygulanan Vakum = 4.905×10^4 N/m ²				
Ham Çamur	0.648029	1.5E+15	0.518254	7.0E+14
2 kg K.P./ ton K.M.	-	-	0.422343	5.7E+14
3.5 kg K.P./ ton K.M.	0.188304	4.4E+14	-	-
4 kg K.P./ ton K.M.	-	-	0.343771	4.6E+14
5 kg K.P./ ton K.M.	-	-	0.143464	1.9E+14
7 kg K.P./ ton K.M.	0.033729	7.8E+13	-	-
8 kg K.P./ ton K.M.	-	-	0.133165	1.8E+14
10 kg K.P./ ton K.M.	-	-	0.094227	1.2E+14
10.5 kg K.P./ ton K.M.	0.029423	6.8E+13	-	-
12 kg K.P./ ton K.M.	-	-	0.070956	9.4E+13
14 kg K.P./ ton K.M.	0.092807	2.1E+14	0.133545	1.8E+14
17.5 kg K.P./ ton K.M. Domus Çamur	0.127703 0.100698	2.9E+14 2.3E+14	- 0.435257	- 5.8E+14

K.M. = 11.67 kg/m³
AKM = 10.34 kg/m³
(Ham Çamur)

K.M. = 6.78 kg/m³
AKM = 5.96 kg/m³
(Ham Çamur)

Özgöl Direnç, r x E+14, m/kg

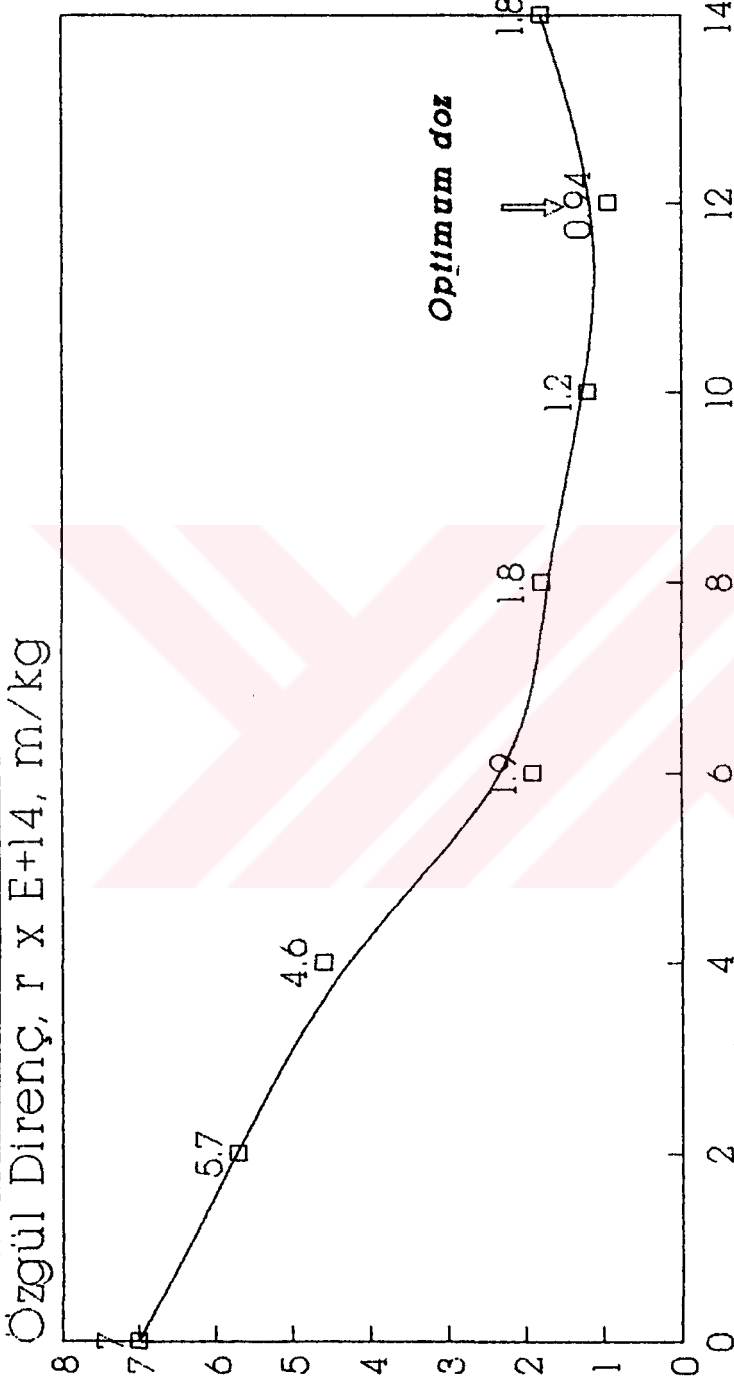


Polimer Doz, kg kuru polimer/ton K.M.

NUMUNE No.1

K.M. = .678 %

Şekil A.1 Optimum Polimer Doz Tayini



Polimer Doz, kg kuru polimer/ton K.M.

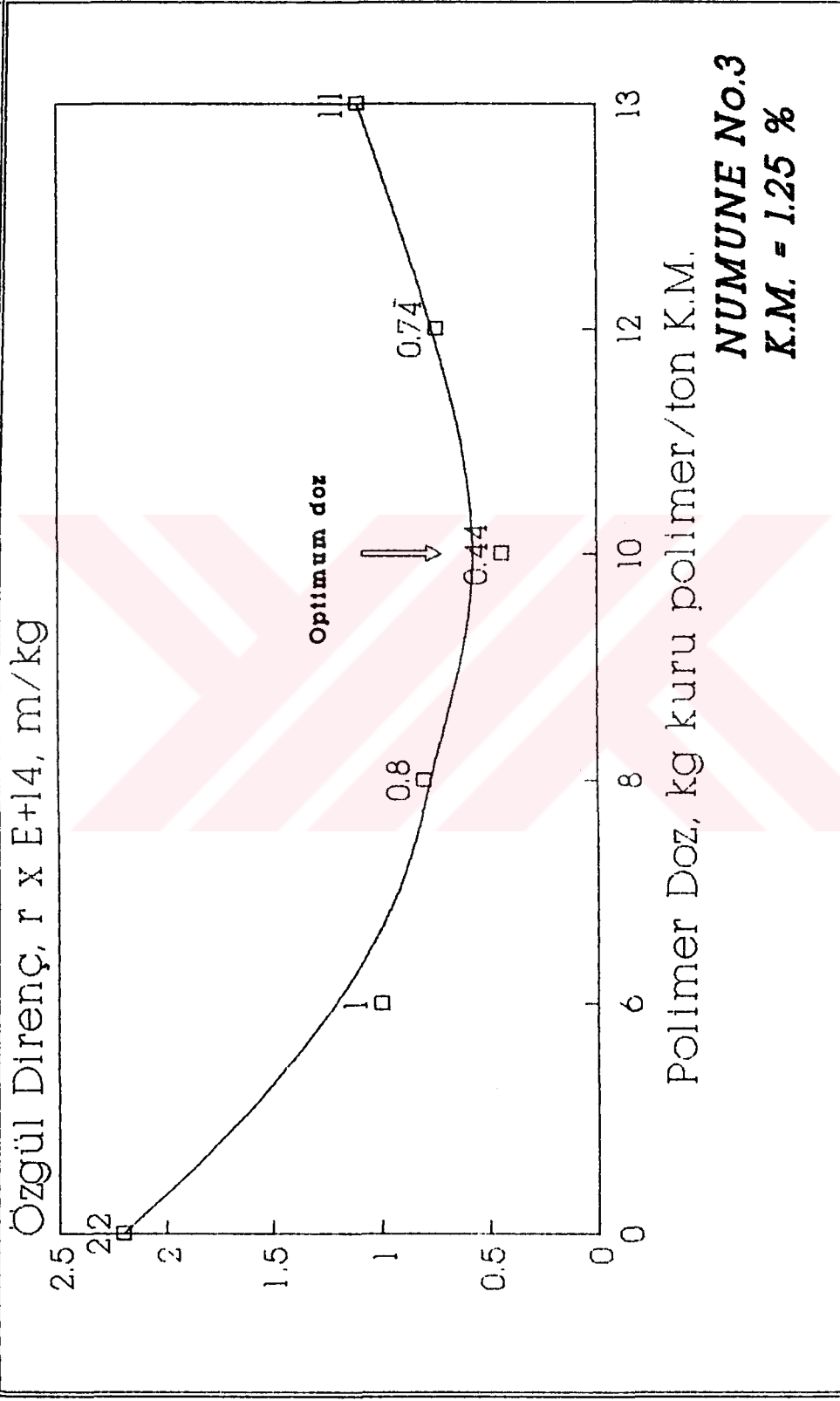
NUMUNE No.2
K.M. - 1.167 %

Şekil A.2 Optimum Polimer Doz Tayini

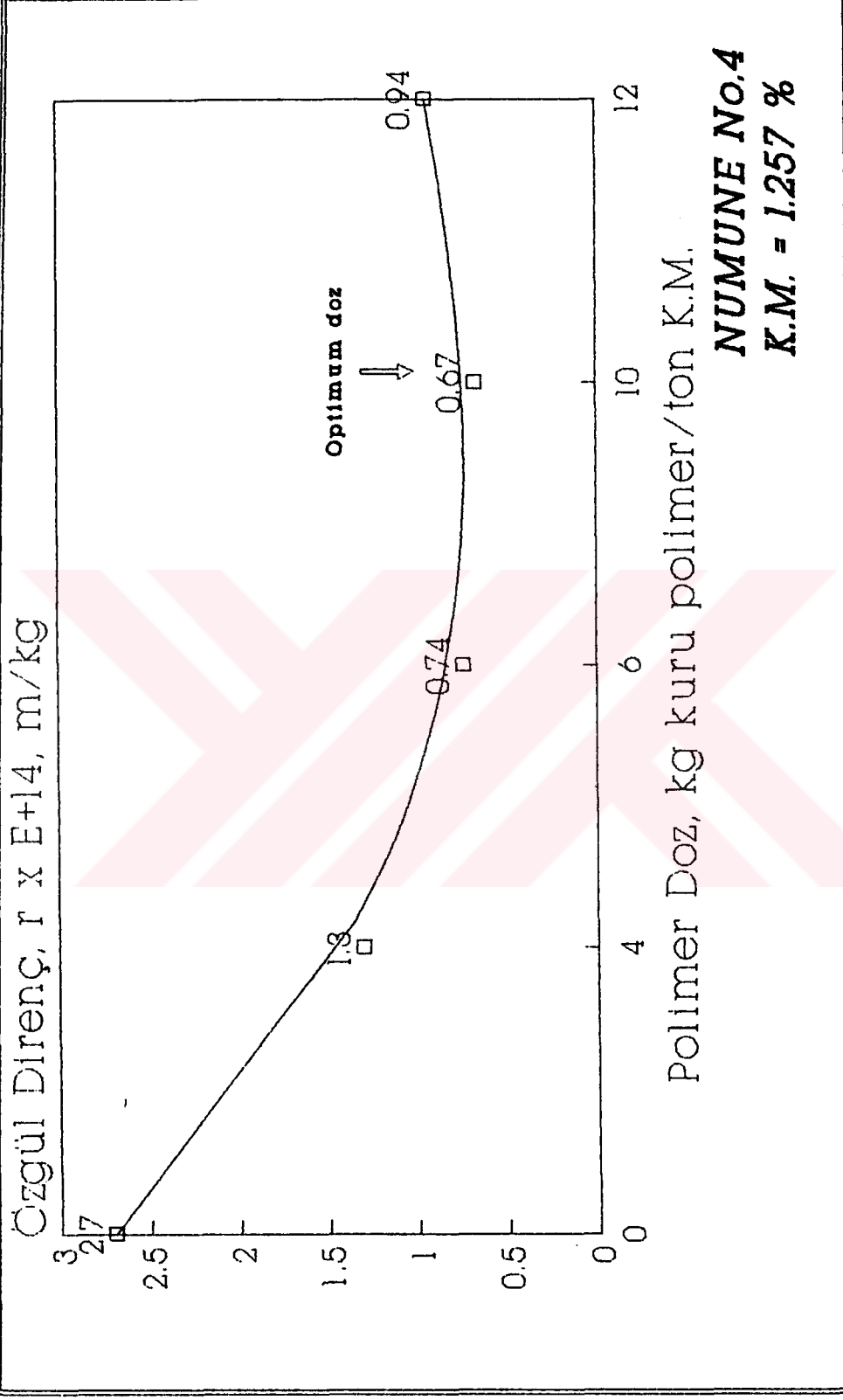
Tablo A.2 Özgöl Direng Tablosu

Uygulanan Vakum = $4.905 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

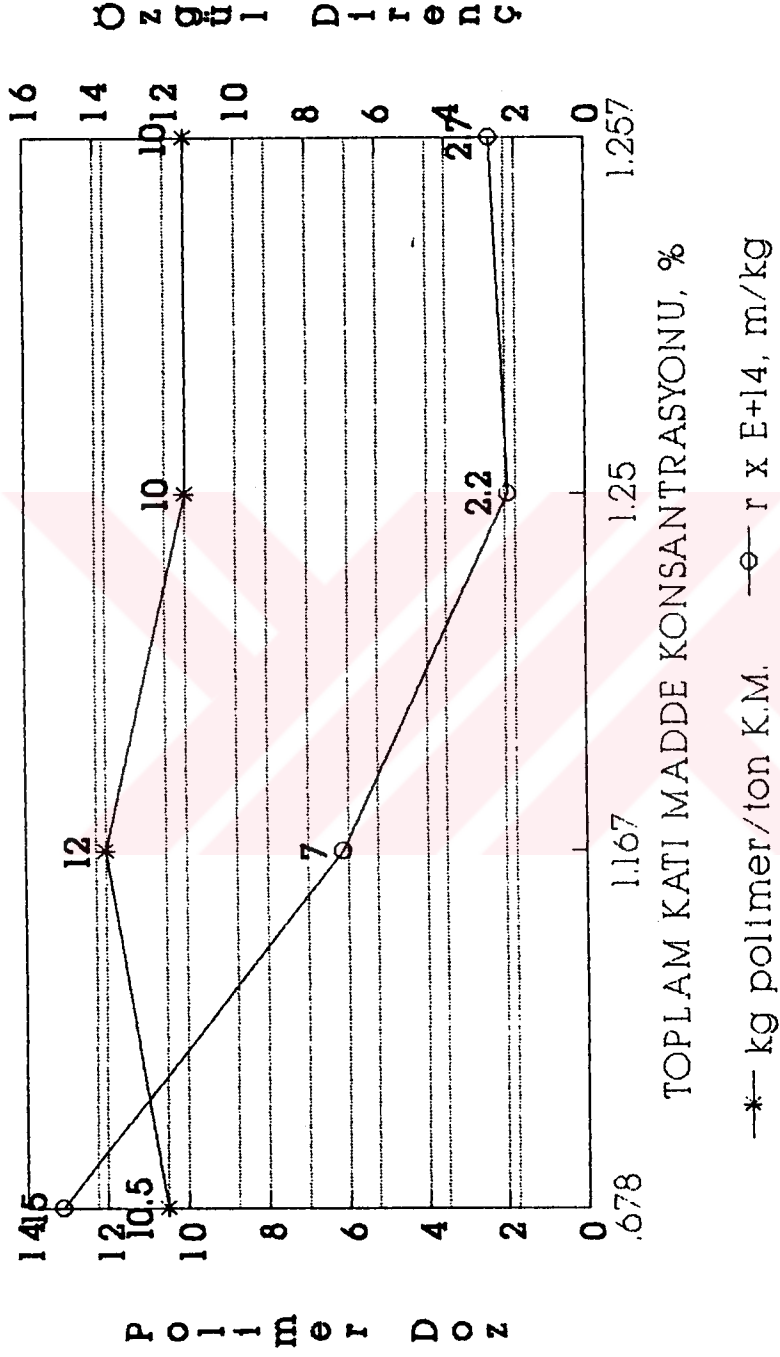
	N U M U N E N O. 3		N U M U N E N O. 4	
	K.M. =	kg/m ³ AKM = 12.5 11.69 kg/m ³ (Ham Çamur)	K.M. = 12.57 AKM = 12.32 kg/m ³ (Ham Çamur)	
Çamura katılan Polielektrolit miktarı	Egim sn/cm6	Çamurun özgöl Direnci, m/kg	Egim sn/cm6	Çamurun özgöl Direnci, m/kg
Ham Çamur	0.187455	2.2E+14	0.237336	2.7E+14
4 kg K.P./ ton K.M.	-	-	0.1116335	1.3E+14
6 kg K.P./ ton K.M.	0.088775	1.0E+14	0.066455	7.4E+13
8 kg K.P./ ton K.M.	0.068414	8.0E+13	-	-
10 kg K.P./ ton K.M.	0.037099	4.4E+13	0.060303	6.7E+13
12 kg K.P./ ton K.M.	0.063114	7.4E+13	0.084313	9.4E+13
13 kg K.P./ ton K.M.	0.090921	1.1E+14	-	-
Donmuş Çamur	0.026995	3.2E+13	0.070074	7.9E+13



Şekil A.3 Optimum Polimer Doz Tayini



Şekil A.4 Optimum Polimer Doz Tayini



Şekil B.1 Toplam Katı Madde'nin Ham Çamur Özgül Direnci ve Optimum Polimer Dozu ile Olan İlişkisi

Tablo C.1 Bunchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

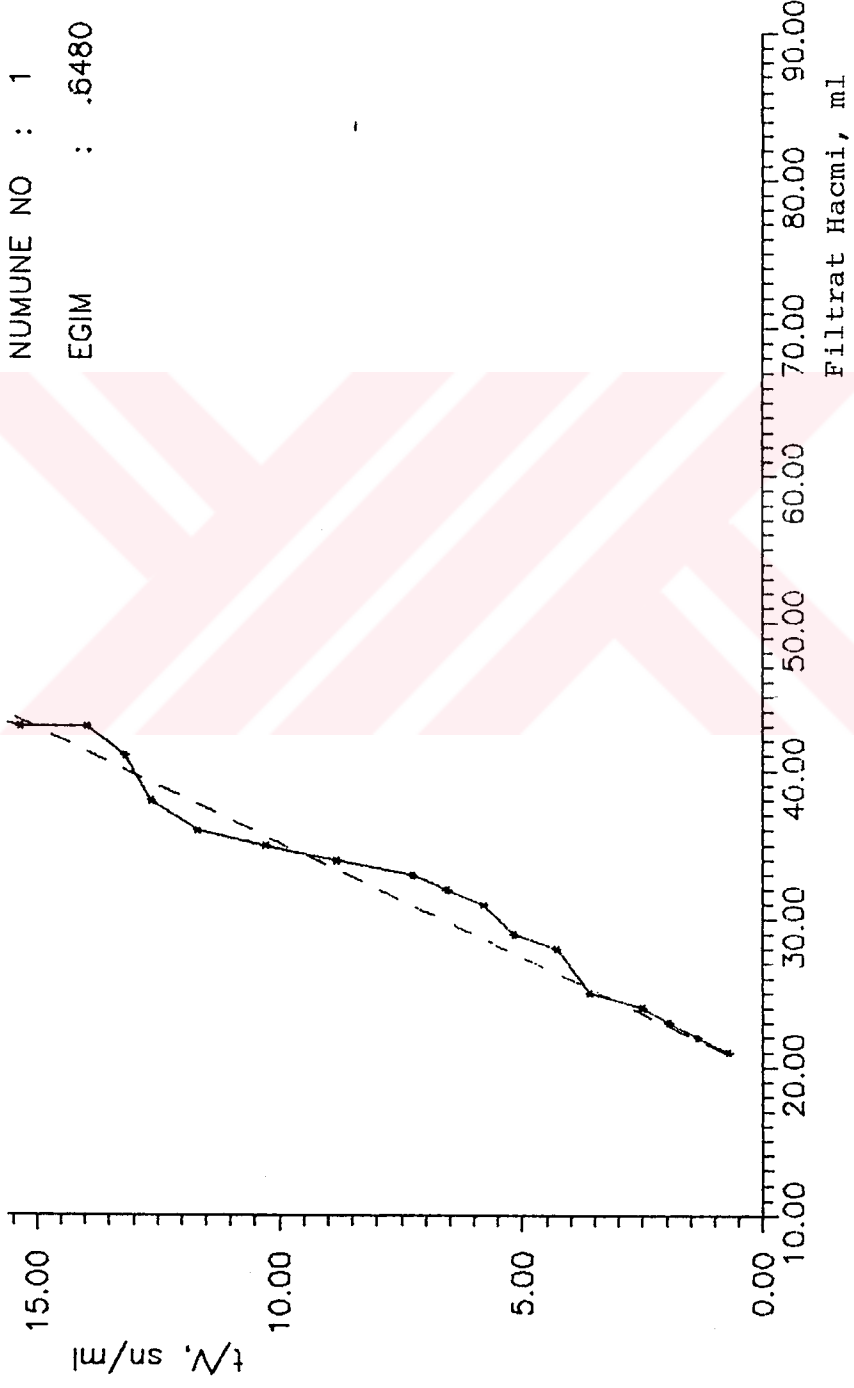
Numuno No = 1

T.K.M. = 6.78 kg/m ³		HAM ÇAMUR		t/V, sn/ml
Süre, dak	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan Süzüntü hacmi, ml		
-2	17	-		
0.25	38	21		0.714285
0.5	39	22		1.363636
0.75	40	23		1.956521
1	41	24		2.5
1.5	42	25		3.6
2	45	28		4.285714
2.5	46	29		5.172413
3	48	31		5.806451
3.5	49	32		6.5625
4	50	33		7.272727
5	51	34		8.823529
6	52	35		10.28571
7	53	36		11.66666
8	55	38		12.63157
9	58	41		13.17073
10	60	43		13.95348
11	60	43		15.34883
12	61	44		16.36363
13	62	45		17.33333
14	63	46		18.26086
15	64	47		19.14893
16	65	48		20
17	66	49		20.81632
18	68	51		21.17647
19	70	53		21.50943
20	71	54		22.22222
21	72	55		22.90909
22	72	55		24
23	73	56		24.64285
24	73	56		25.71428
25	75	58		25.86206
26	77	60		26

HAM CAMUR

NUMUNE NO : 1

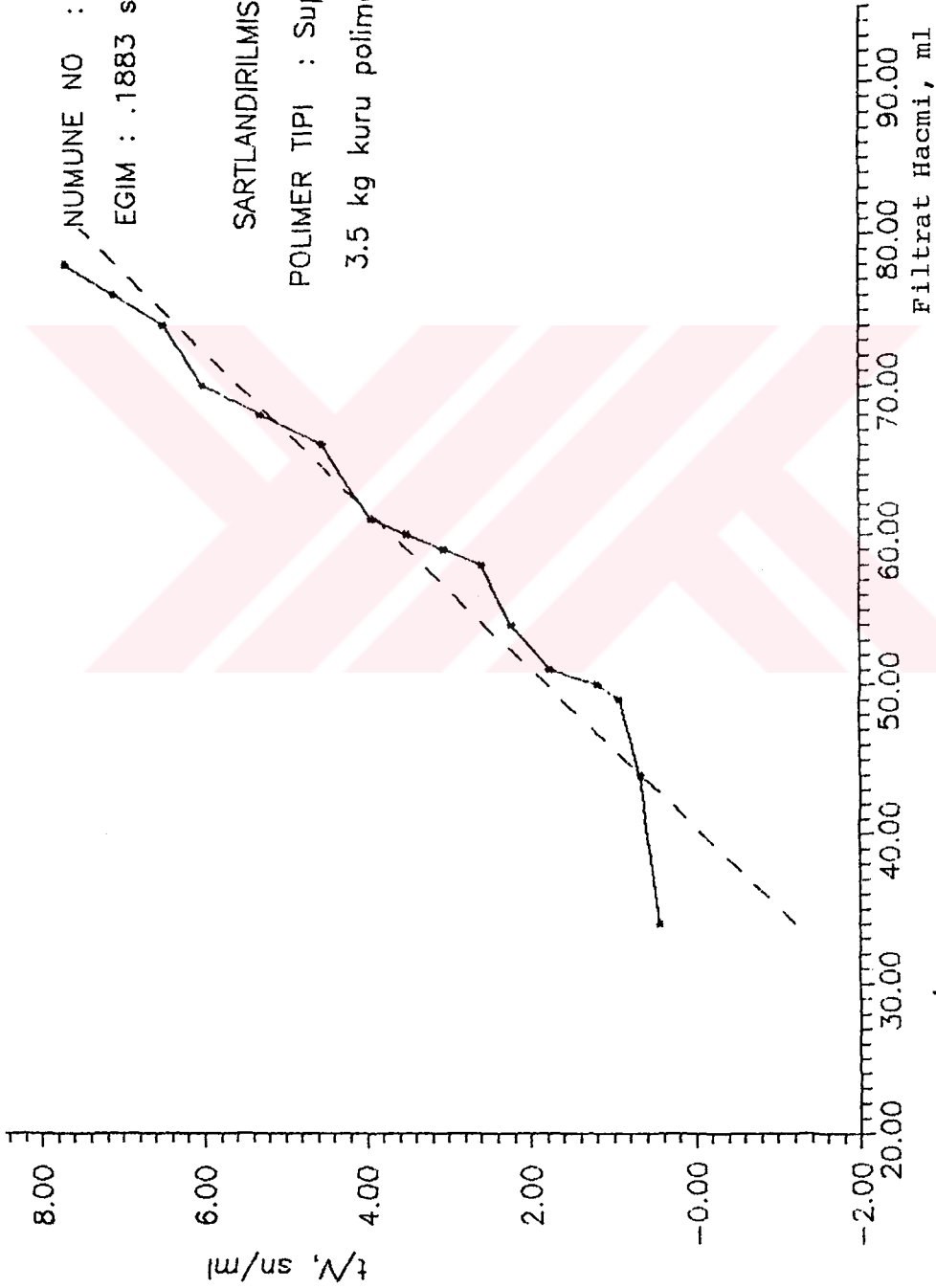
EGİM : .5480 sec/ml²



Şekil C.1 Özgöl Direnç Grafiği

Tablo C.2 Bunchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

S A R T L A N D I R I L M I S Ç A M U R					
Numune No = 1			7 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M		
T.K.M. = 6.78 kg/m ³			3.5 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M.		
Süre, dak	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/V, sn/ml	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml
-2	21	-		22	-
0.25	55	34	0.441176	81	59
0.5	65	44	0.681818	95	73
0.75	70	49	0.918367	98	76
1	71	50	1.2	99.5	77.5
1.5	72	51	1.764705	100	78
2	75	54	2.222222		
2.5	79	58	2.586206		
3	80	59	3.050847		
3.5	81	60	3.5		
4	82	61	3.934426		
5	87	66	4.545454		
6	89	68	5.294117		
7	91	70	6		
8	95	74	6.486486		
9	97	76	7.105263		
10	99	78	7.692307		



Şekil C.2 Özgöl Direnç Grafiği

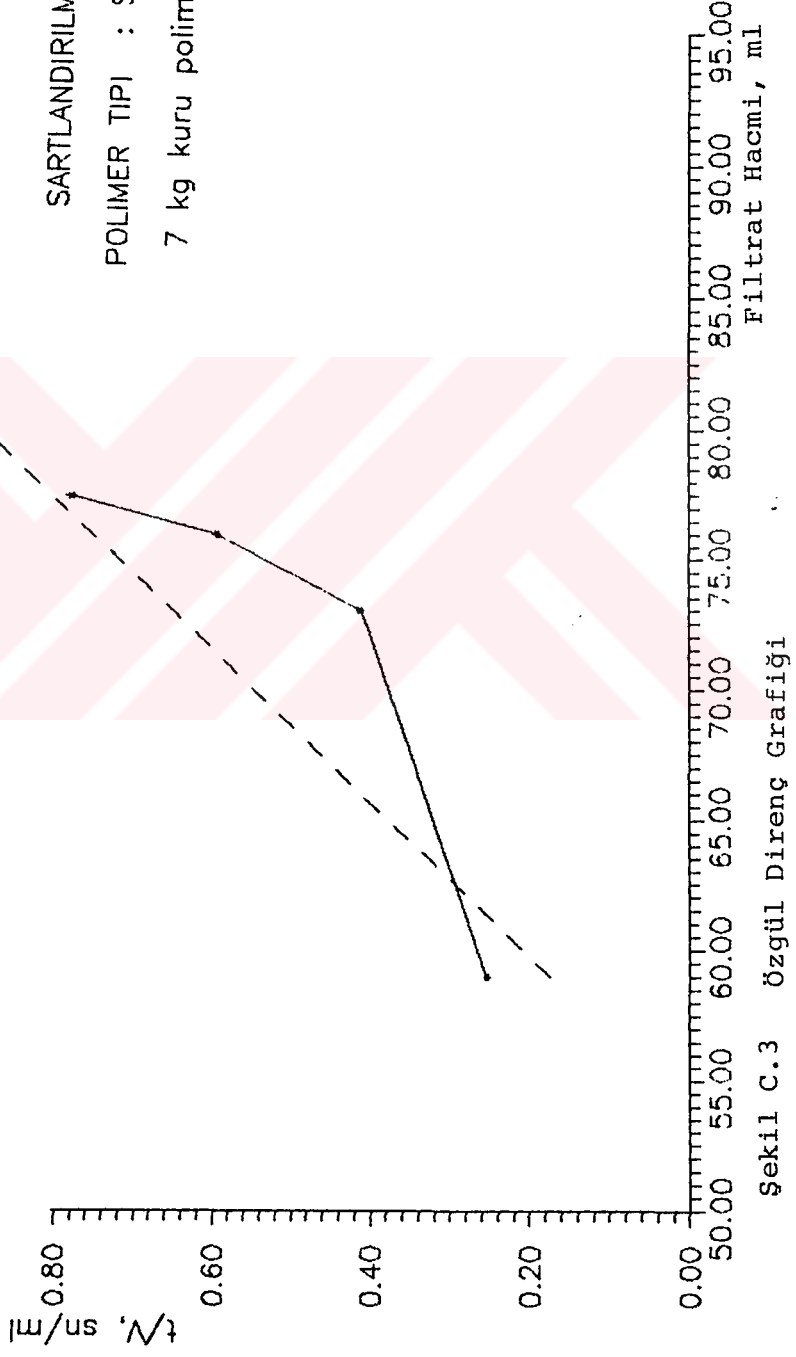
NUMUNE NO : 1

EGİM : 3.373×10^{-2}
sn/ml²

SARTLANDIRILMIŞ CAMUR

POLİMER TİPİ : Superfloc C420

7 kg kuru polimer / ton K.M.



Şekil C.3 Özgül Direnç Grafiği

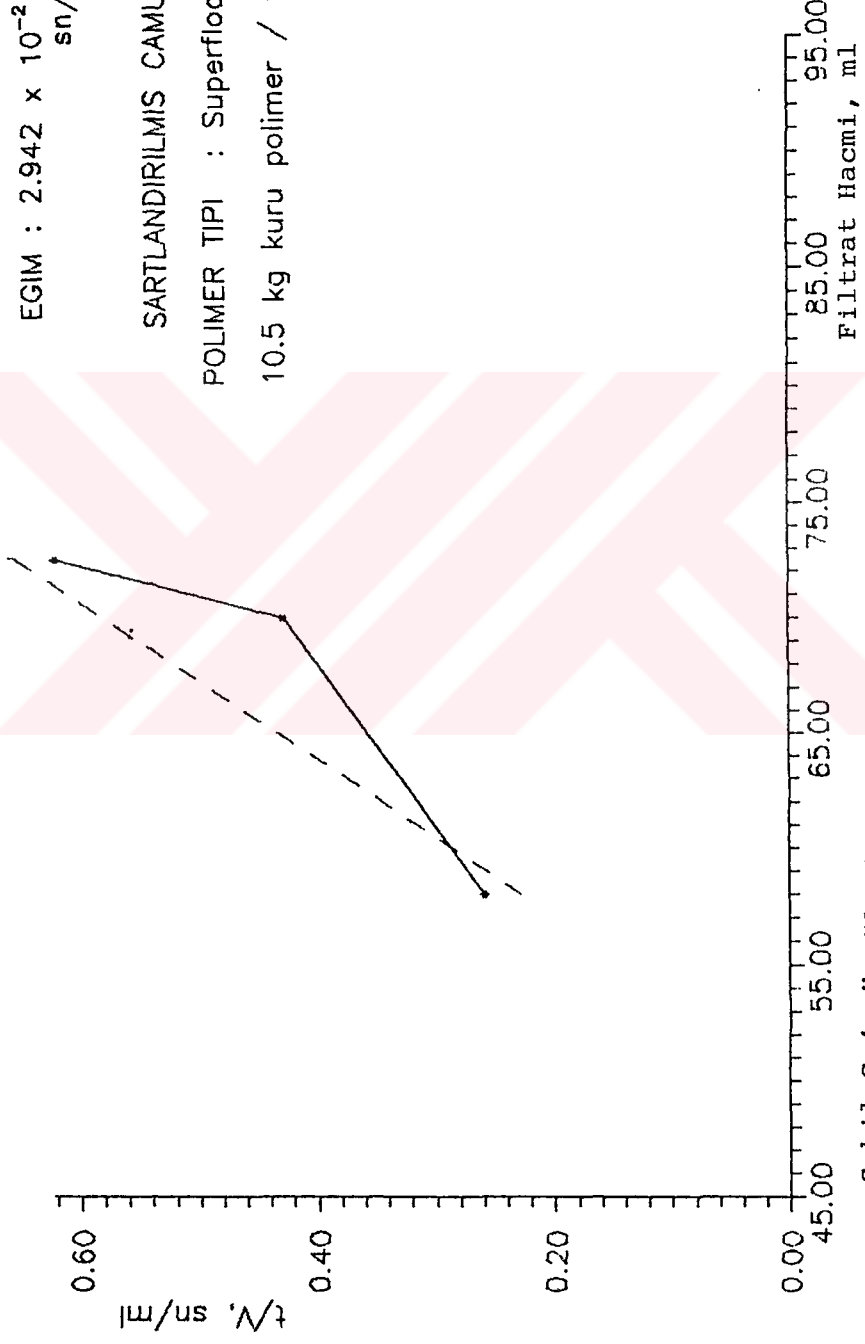
NUMUNE NO : 1

EGİM : 2.942×10^{-2}
sn/ml²

SARTLANDIRILMIŞ CAMUR

POLİMER TİPİ : Superfloc C420

10.5 kg kuru polimer / ton K.M



Şekil C.4 Özgül Direnç Grafiği

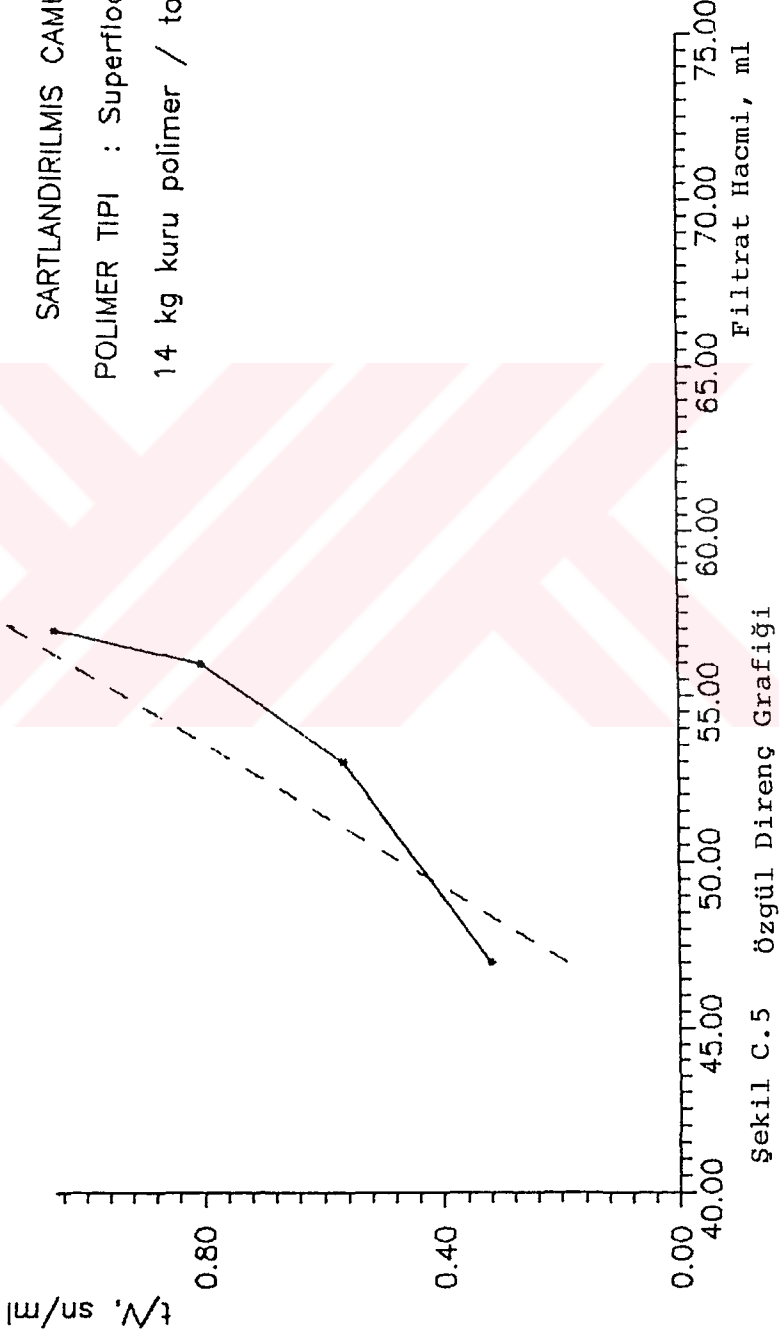
NUMUNE NO : 1

EGİM : 9.2808×10^{-2}
sn/ml²

SARTLANDIRILMIS CAMUR

POLİMER TİPİ : Superfloc C420

14 kg kuru polimer / ton K.M.



Şekil C.5 Özgöl Direnç Grafiği

Tablo C.4 Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 1

T.K.M. = 6.78 kg/m³

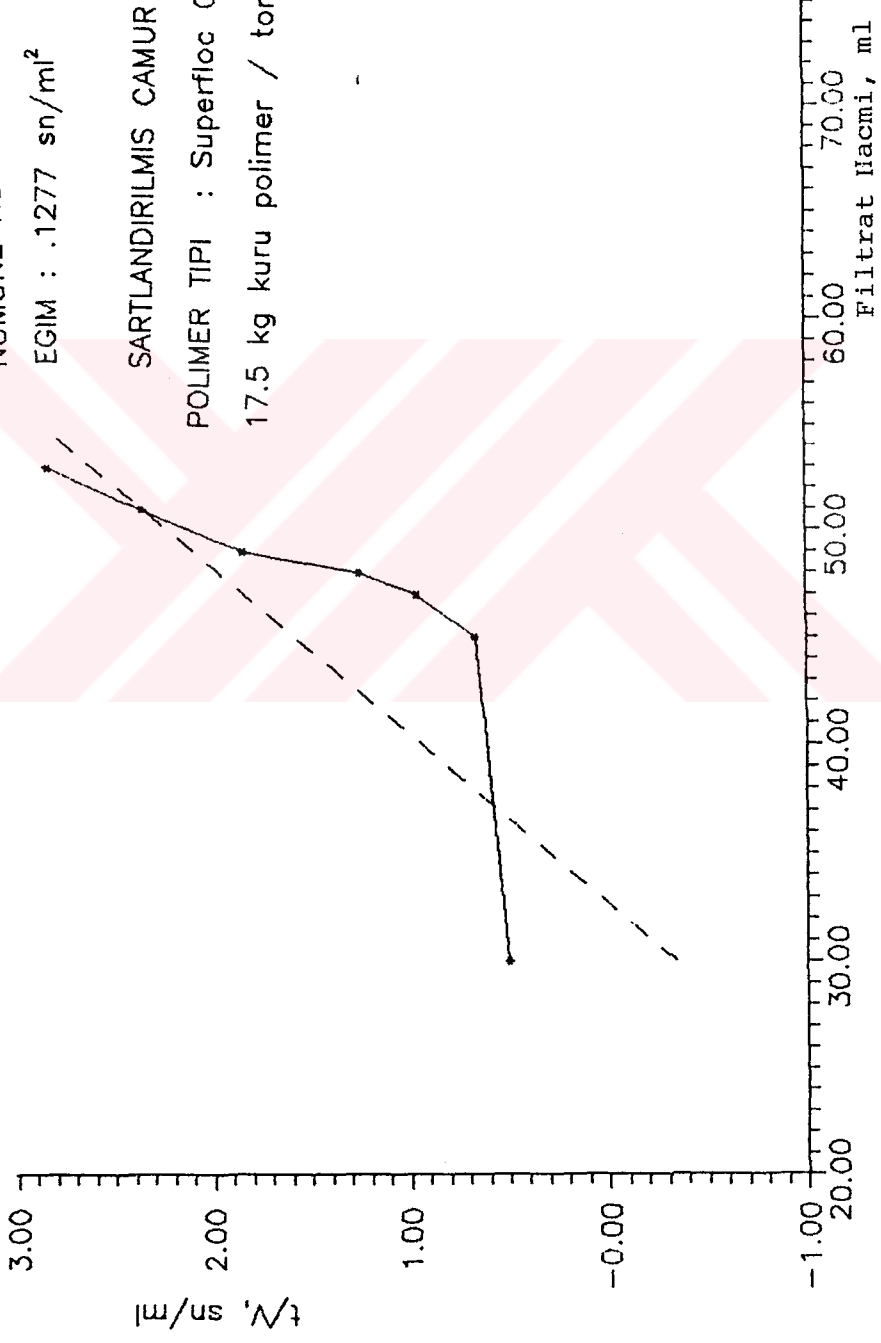
SARTLANDIRILMIŞ ÇAMUR

17.5 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M.

DONMUS, ÇÖZÜLMÜŞ
ÇAMUR

Süre, dak	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/V, sn/ml	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/V, sn/ml
-2	45	-		12	-	
0.25	75	30	0.5	50	38	0.394736
0.5	90	45	0.666666	65	53	0.566037
0.75	92	47	0.957446	72	60	0.75
1	93	48	1.25	78	66	0.909090
1.5	94	49	1.836734	80	68	1.323529
2	96	51	2.352941	85	73	1.643835
2.5	98	53	2.830188	88	76	1.973684
3	99	54	3.333333	90	78	2.307692
3.5	99.5	54.5	3.853211	91	79	2.658227
4				92	80	3
5				93	81	3.703703
6				97	85	4.235294
7				98	86	4.883720
8				99	87	5.517241

NUMUNE NO : 1
EGİM : .1277 sn/ml²
SARTLANDIRILMIŞ CAMUR
POLİMER TİPİ : Superfloc C420
17.5 kg kuru polimer / ton K.M.

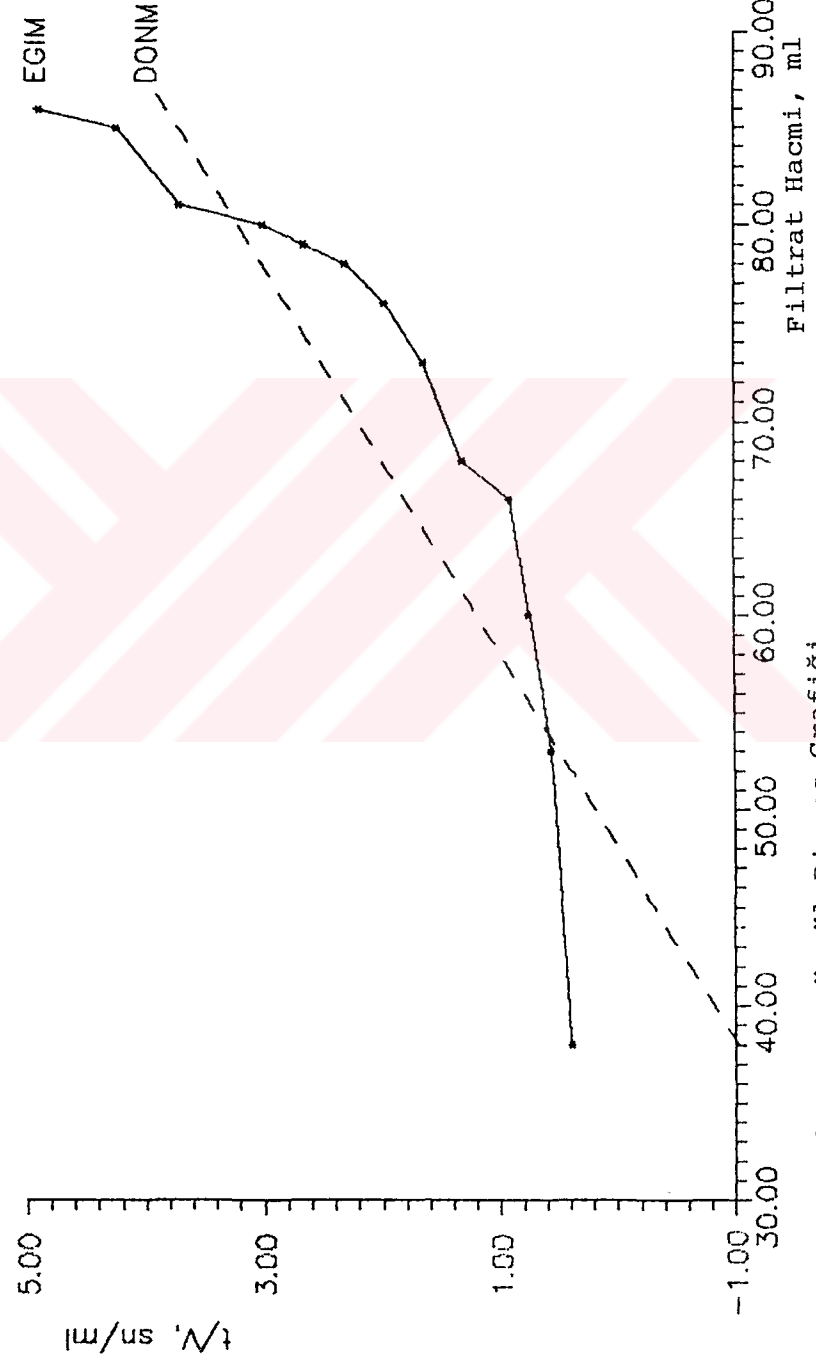


Şekil C.6 Özgöl Direnç Grafiği

NUMUNE NO : 1

EGİM : .1007 sn/ml²

DONMUS, COZULMUS
CAMUR



Şekil C.7 Özgöl Direnç Grafiği

Tablo C.5 Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 2

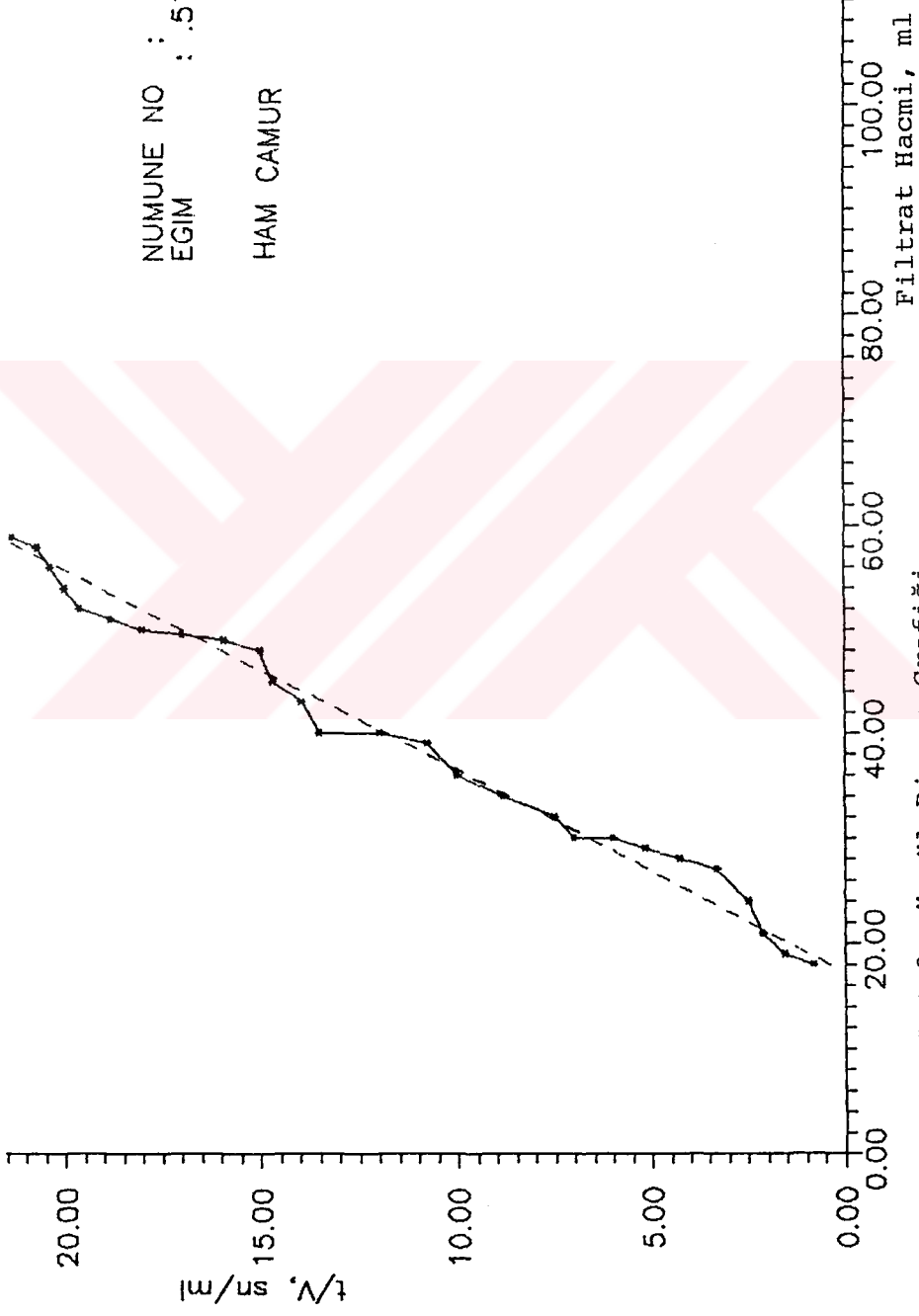
T.K.M. = 11.67 kg/m³

H A M Ç A M U R

Süre, dak	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan Süzüntü hacmi, ml	t/V, sn/ml
-2	10	-	
0.25	28	18	0.833333
0.5	29	19	1.578947
0.75	31	21	2.142857
1	34	24	2.5
1.5	37	27	3.333333
2	38	28	4.285714
2.5	39	29	5.172413
3	40	30	6
3.5	40	30	7
4	42	32	7.5
5	44	34	8.823529
6	46	36	10
7	49	39	10.76923
8	50	40	12
9	50	40	13.5
10	53	43	13.95348
11	55	45	14.66666
12	58	48	15
13	59	49	15.91836
14	59.5	49.5	16.96969
15	60	50	18
16	61	51	18.82352
17	62	52	19.61538
18	64	54	20
19	66	56	20.35714
20	68	58	20.68965
21	69	59	21.35593
22	69.5	59.5	22.18487
23	70	60	23
24	71	61	23.60655
25	72	62	24.19354

NUMUNE NO : 2
EGİM : .5183

HAM CAMUR



Şekil C.8 Özgöl Direnç Grafiği

Tablo C.6 Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 2

T.K.M. = 11.67 kg/m³

S A R T I L A N D I R I L M İ S Ç A M U R

2 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M.

4 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M.

Süre, dak	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/v, sn/ml	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/v, sn/ml
-2	10	-		12	-	
0.25	29	19	0.789473	31	19	0.789473
0.5	33	23	1.304347	38	26	1.153846
0.75	36	26	1.730769	42	30	1.5
1	38	28	2.142857	45	33	1.818181
1.5	40	30	3	49	37	2.432432
2	43	33	3.636363	52	40	3
2.5	45	35	4.285714	54	42	3.571428
3	48	38	4.736842	58	46	3.913043
3.5	49	39	5.384615	59	47	4.468085
4	50	40	6	59.5	47.5	5.052631
5	51	41	7.317073	60	48	6.25
6	53	43	8.372093	62	50	7.2
7	55.5	45.5	9.230769	65.5	53.5	7.850467
8	59	49	9.795918	68.5	56.5	8.495575
9	60	50	10.8	69	57	9.473684
10	60	50	12	69.5	57.5	10.43478
11	61	51	12.94117	70	58	11.37931
12	63	53	13.58490	71	59	12.20338
13	65	55	14.18181	73	61	12.78688
14	68	58	14.48275	75	63	13.33333
15	69	59	15.25423	77.5	65.5	13.74045

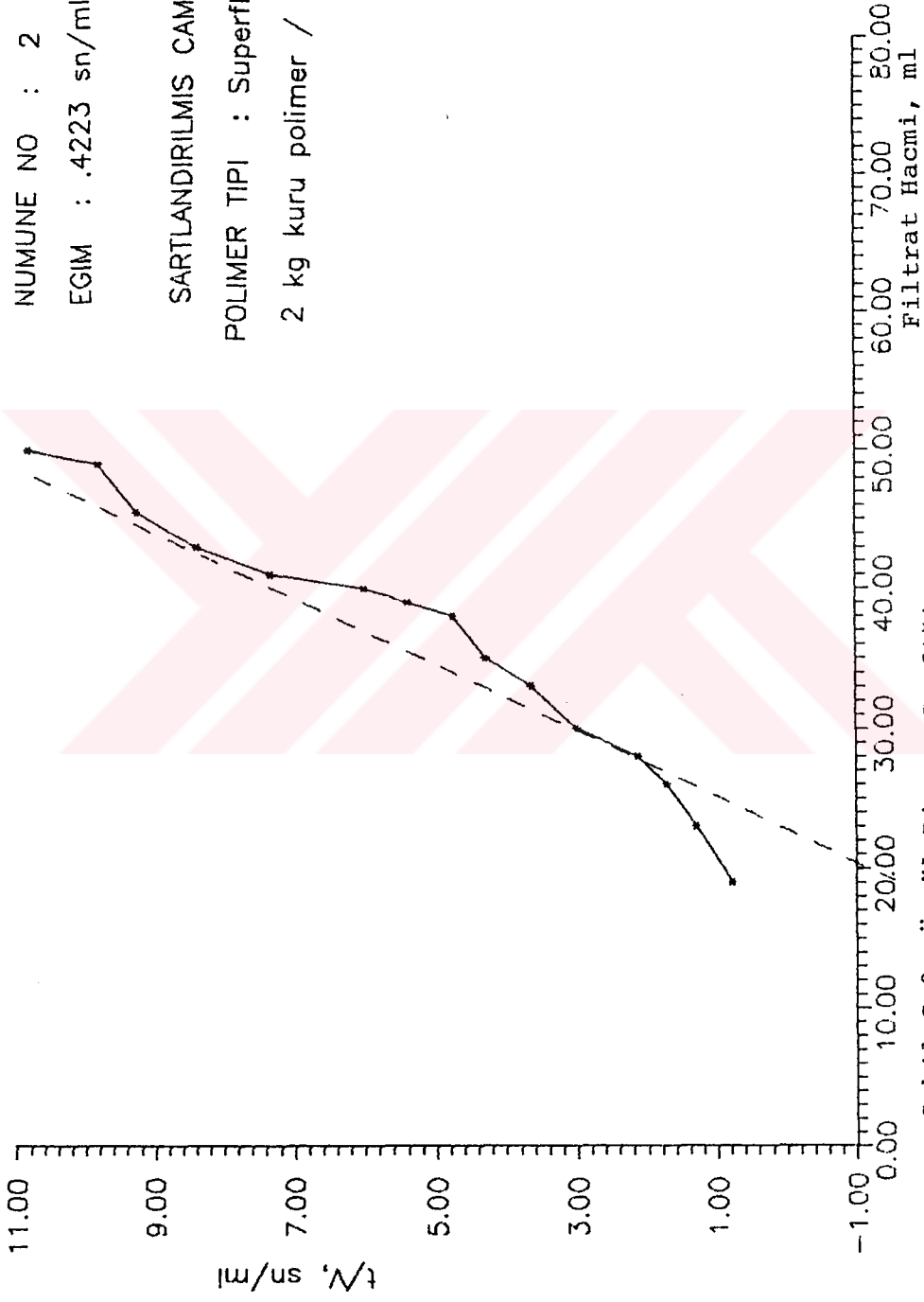
NUMUNE NO : 2

EGİM : .4223 sn/ml²

SARTLANDIRILMIŞ CAMUR

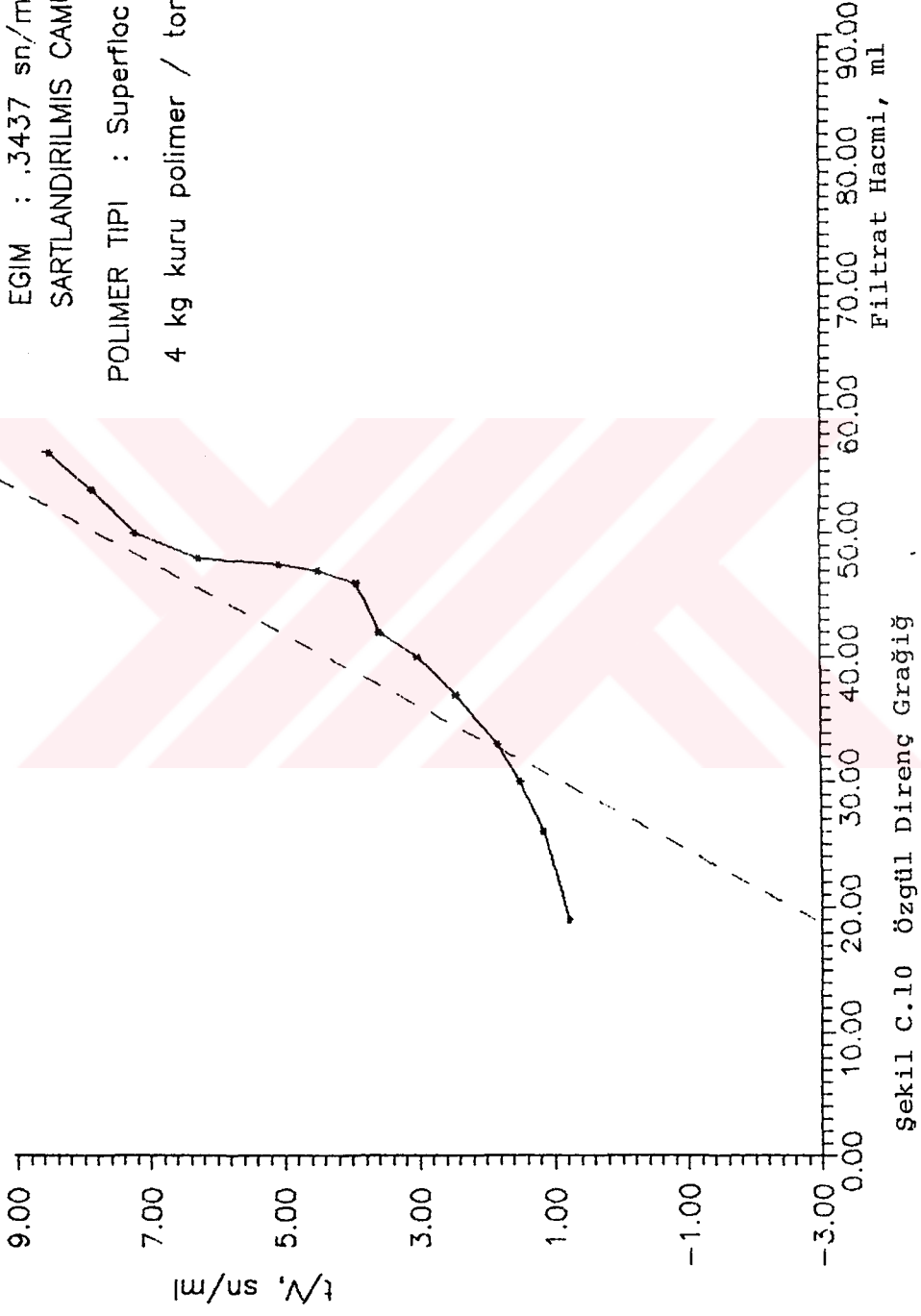
POLİMER TİPİ : Superfloc C420

2 kg kuru polimer / ton K.M.



Şekil C.9 Özgöl Direnç Grafiği

NUMUNE NO : 2
EGİM : .3437 sn/ml²
SARTLANDIRILMIŞ CAMUR
POLİMER TİPİ : Superfloc C420
4 kg kuru polimer / ton K.M.



Şekil C.10 Özgöl Direnç Grafiği

Tablo C.7 Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No= 2

T.K.M. = 11.67 kg/m³

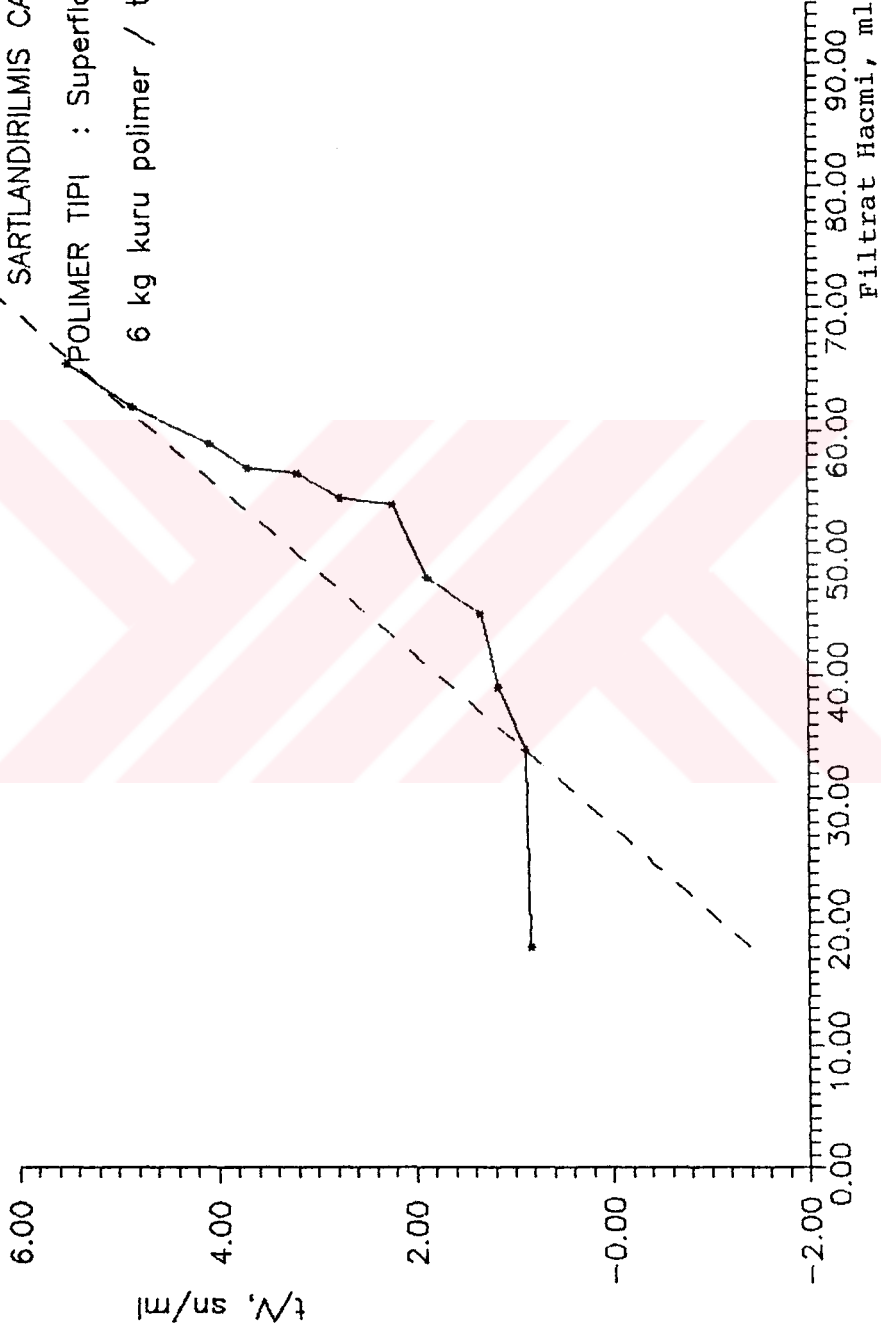
6 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M.

SARTLANDIRILMIŞ ÇAMUR

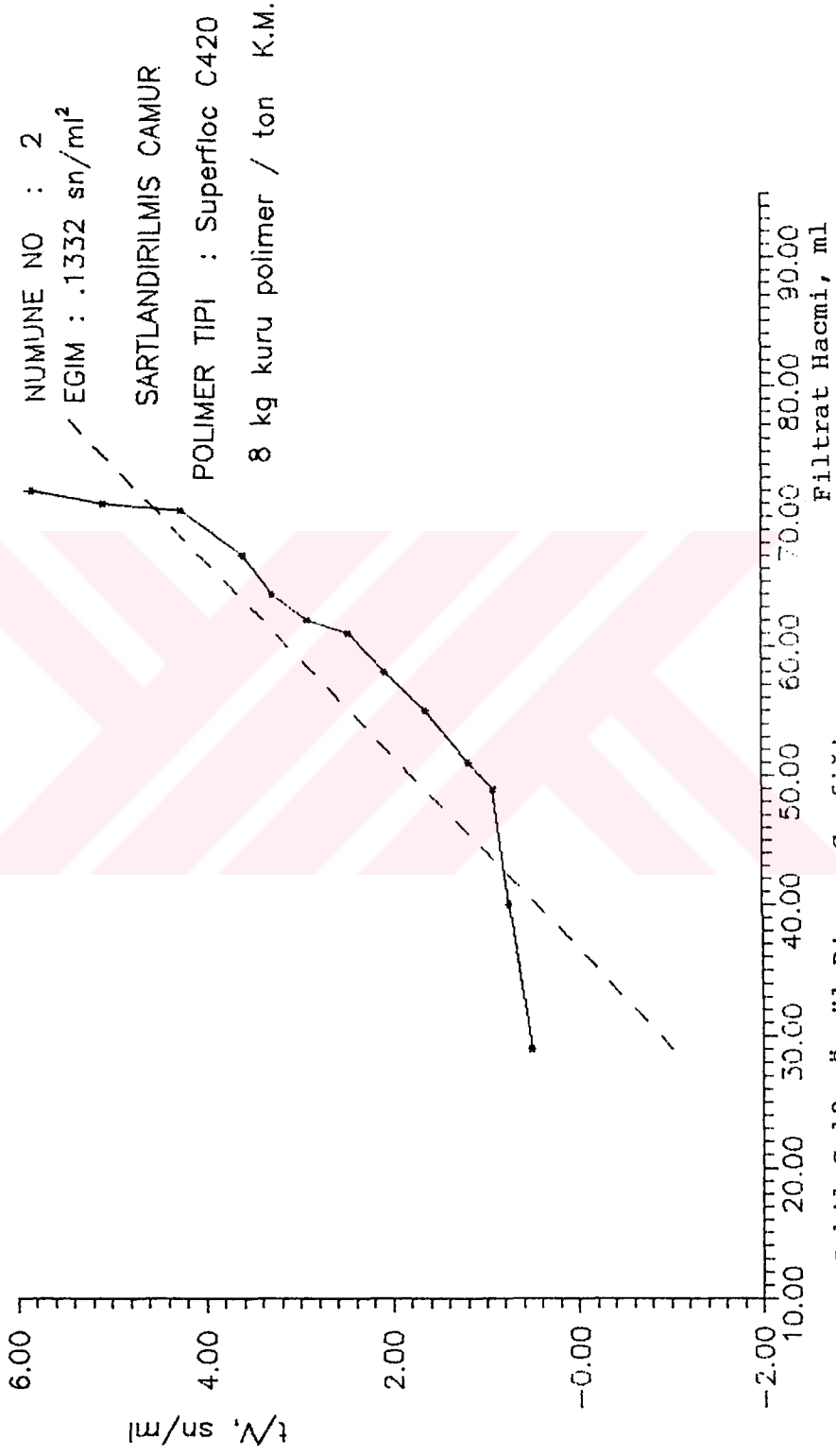
8 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M

Ölçü	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/v, sn/ml	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/v, sn/ml
-2	13	-		18	-	
0.25	31	18	0.833333	47	29	0.517241
0.5	47	34	0.882352	58	40	0.75
0.75	52	39	1.153846	67	49	0.918367
1	58	45	1.333333	69	51	1.176470
1.5	61	48	1.875	73	55	1.636363
2	67	54	2.222222	76	58	2.068965
2.5	67.5	54.5	2.752293	79	61	2.459016
3	69.5	56.5	3.185840	80	62	2.903225
3.5	70	57	3.684210	82	64	3.28125
4	72	59	4.067796	85	67	3.582089
5	75	62	4.898709	88.5	70.5	4.255319
6	78.5	65.5	5.496183	89	71	5.070422
7	79	66	6.363636	90	72	5.833333
8	79.5	66.5	7.218045	90	72	6.666666
9	80	67	8.059701			

NUMUNE NO : 2
EGİM : .1435 sn/ml²
SARTLANDIRILMIS CAMUR
POLİMER TİPİ : Superfloc C420
6 kg kuru polimer / ton K.M.



Şekil C.11 Özgöl Direnç Grafiği.



Şekil C.12 Özgül Direnç Grafiği

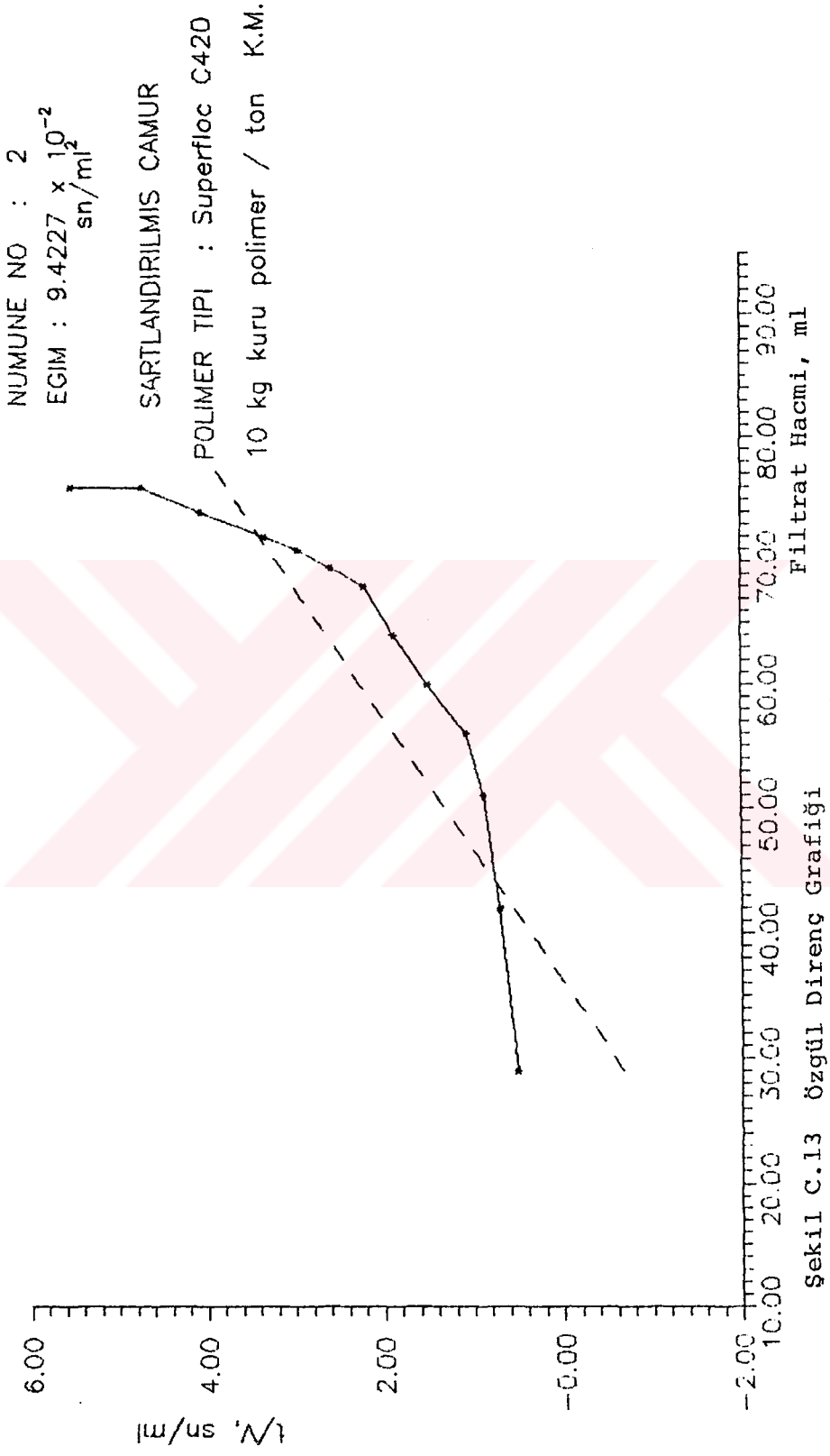
Tablo C.8 Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 2

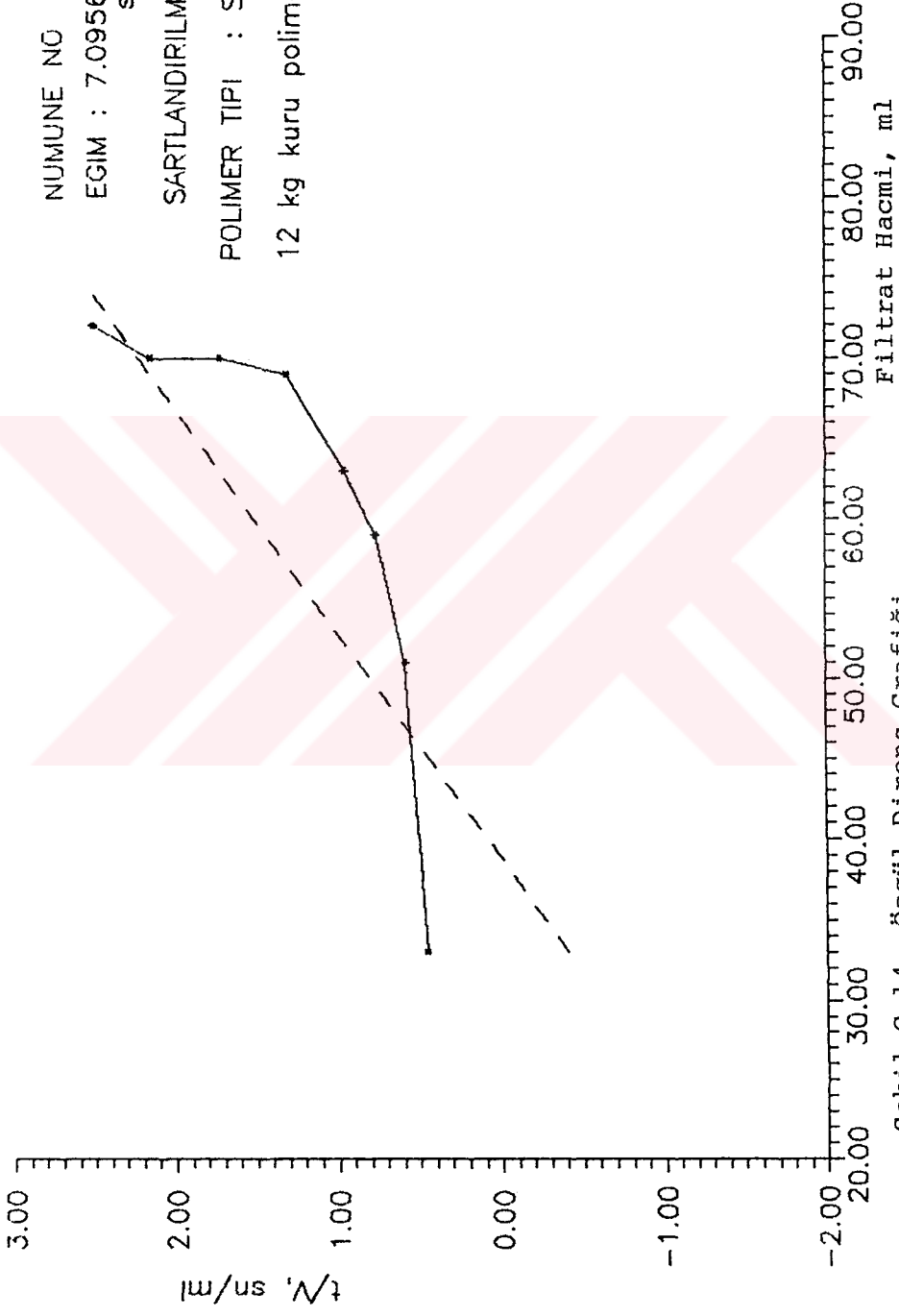
T.K.M. = 11.67 kg/m³

SARTLANDIRILMIŞ ÇAMUR

10 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M.				12 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M.			
Süre, dak	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/V, sn/ml	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/V, sn/ml	
-2	20	-		20	-		
0.25	49	29	0.517241	53	33	0.454545	
0.5	62	42	0.714285	71	51	0.588235	
0.75	71	51	0.882352	79	59	0.762711	
1	76	56	1.071428	83	63	0.952380	
1.5	80	60	1.5	89	69	1.304347	
2	84	64	1.875	90	70	1.714285	
2.5	88	68	2.205882	90	70	2.142857	
3	89.5	69.5	2.589928	92	72	2.5	
3.5	91	71	2.957746	92	72	2.916666	
4	92	72	3.333333	96	76	3.157894	
5	94	74	4.054054	98	78	3.846153	
6	96	76	4.736842				
7	96	76	5.526315				



Şekil C.13 Özgöl Direnç Grafiği



Şekil C.14 Özgöl Direnç Grafiği

NUMUNE NO : 2
EGİM : 7.0956×10^{-2}
sn/ml²
SARTLANDIRILMIŞ CAMUR
POLİMER TİPİ : Superfloc C420
12 kg kuru polimer / ton K.M.

Tablo C.9 Buchner Hunisi Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 2

T.K.M. = 11.67 kg/m³

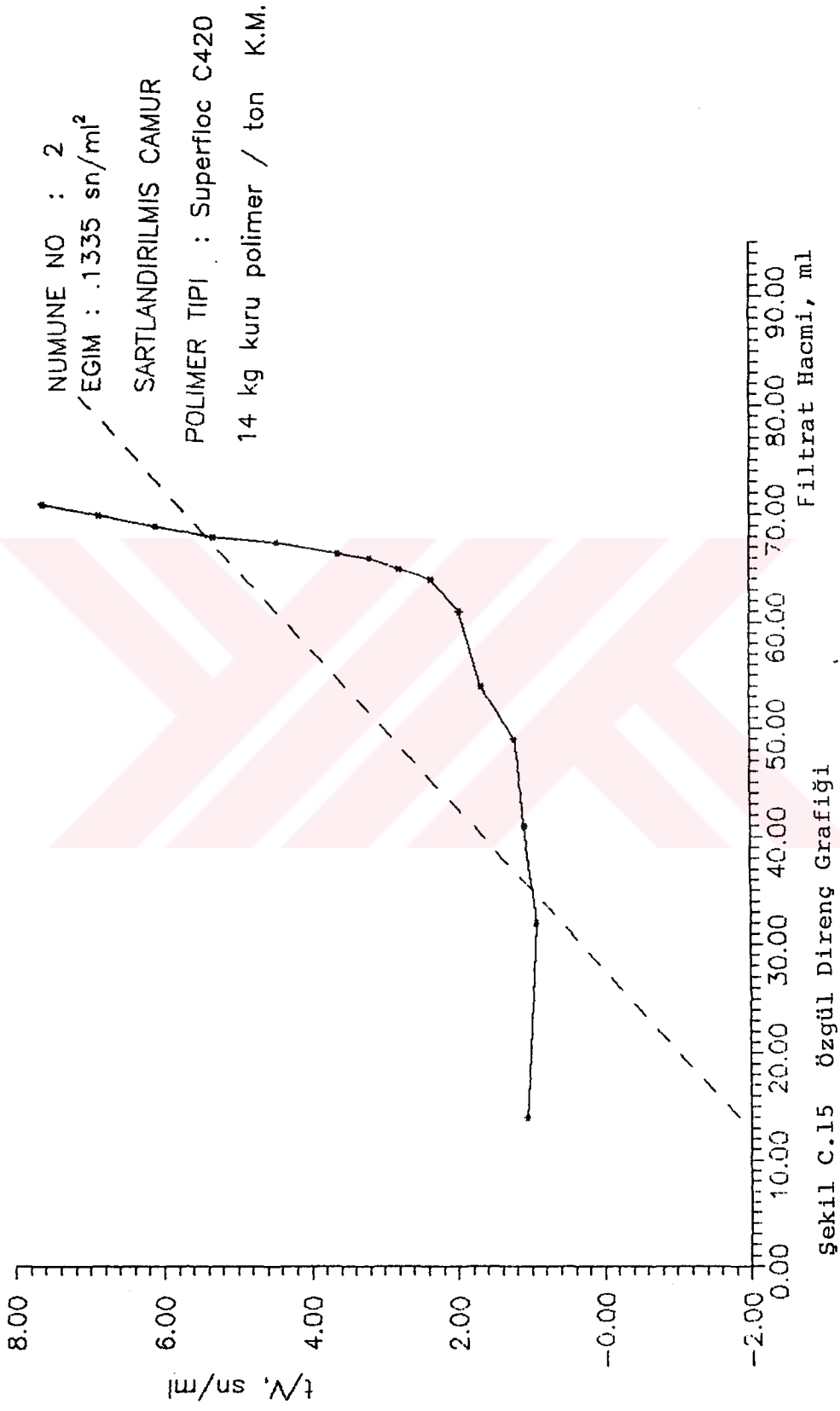
SARTLANDIRILMIŞ ÇAMUR

14 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M.

DONMUS, ÇÖZÜLMÜŞ

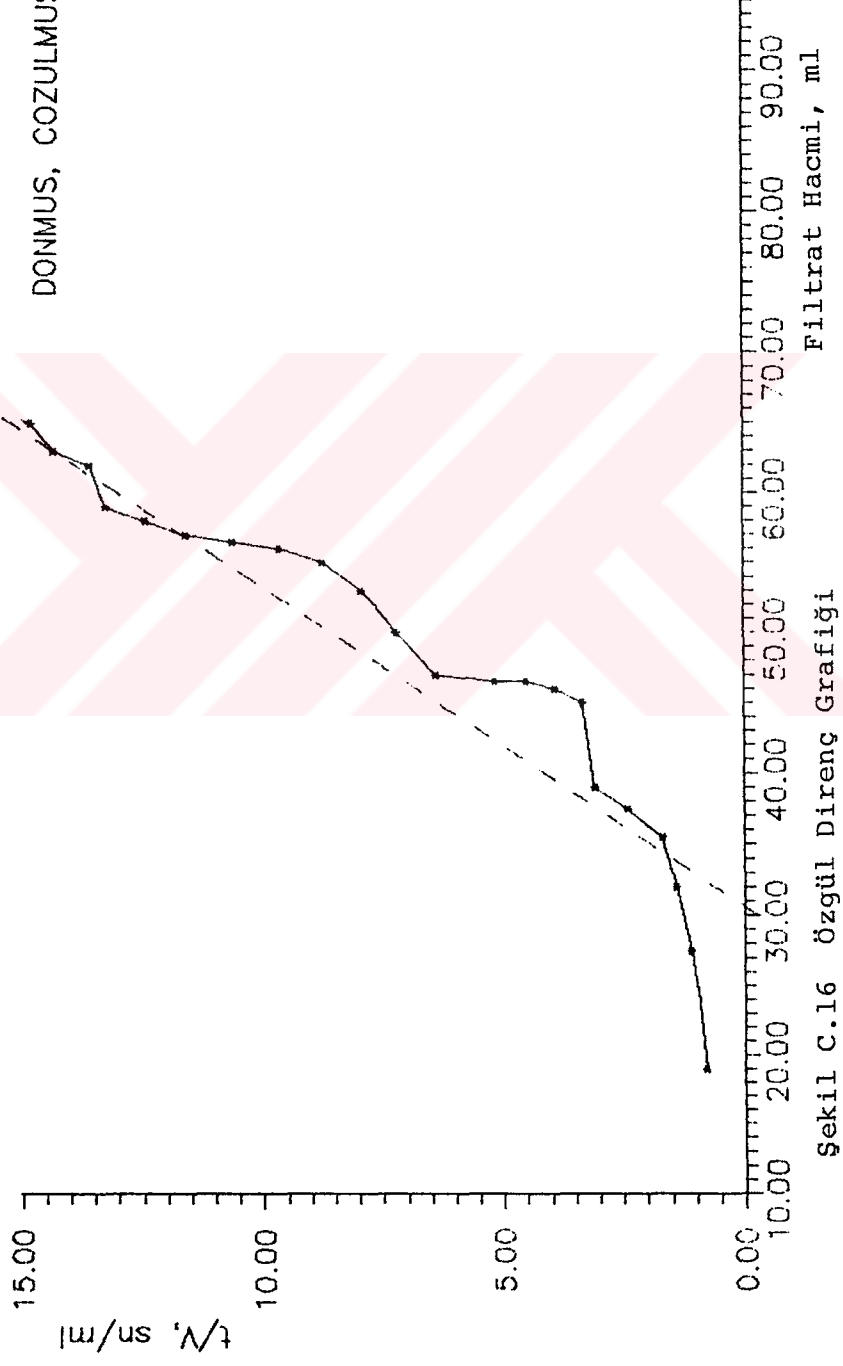
ÇAMUR

Süre, dak	Süzüntü Hecmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/V, sn/ml	Süzüntü Hecmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/V, sn/ml
-2	26	-		13	-	
0.25	40	14	1.071428	32	19	0.789473
0.5	58	32	0.9375	40.5	27.5	1.090909
0.75	67	41	1.097560	45	32	1.40625
1	75	49	1.224489	48.5	35.5	1.690140
1.5	80	54	1.666666	50.5	37.5	2.4
2	87	61	1.967213	52	39	3.076923
2.5	90	64	2.34375	52	45	3.933333
3	91	65	2.769230	59	46	3.913043
3.5	92	66	3.181818	59.5	46.5	4.516129
4	92.5	66.5	3.609022	59.5	46.5	5.161290
5	93.5	67.5	4.444444	60	47	6.382978
6	94	68	5.294117	63	50	7.2
7	95	69	6.086956	66	53	7.924528
8	96	70	6.857142	66	55	8.727272
9	97	71	7.605633	69	56	9.642857
10	98.5	72.5	8.275862	69.5	56.5	10.61946
11	99	73	9.041095	70	57	11.57894
12	99	73	9.863013	71	58	12.41379
13	99	73		72	59	13.22033
14				75	62	13.54838
15				76	63	14.28571
16				78	65	14.76923
17				79	66	15.45454
18				79	66	16.36363
19				80	67	17.01492
20				80.5	67.5	17.77777



NUMUNE NO : 2
EGİM : .440631 sn/ml²

DONMUS, COZULMUS CAMUR



Şekil C.16 Özgöl Direng Grafiğı

Tablo C.10 Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 3

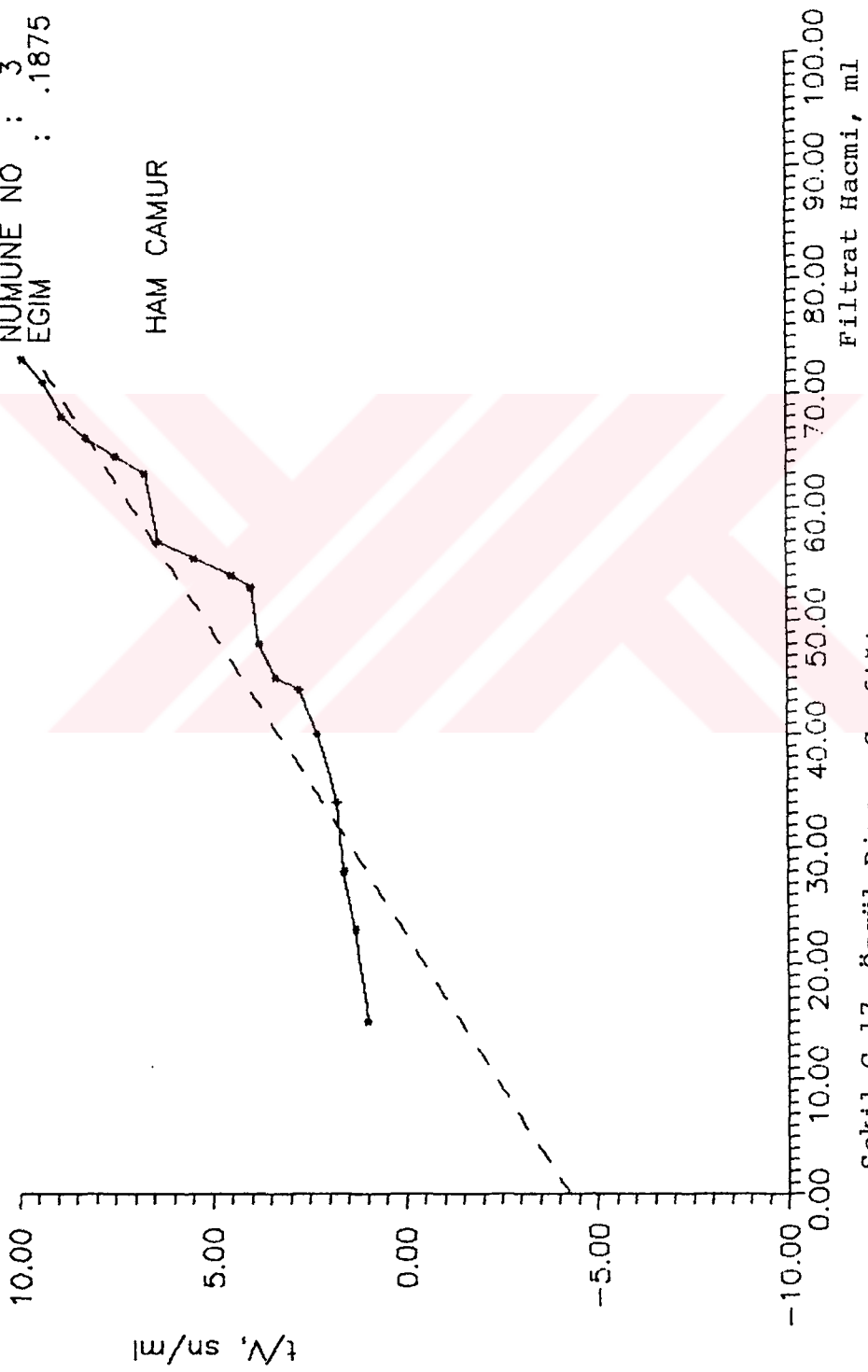
T.K.M. = 12,5 kg/m³

H A M Ç A M U R

Süre, dak	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan Süzüntü hacmi, ml	t/V, sn/ml
-2	15	-	
0.25	30	15	1
0.5	38	23	1.304347
0.75	43	28	1.607142
1	49	34	1.764705
1.5	55	40	2.25
2	59	44	2.727272
2.5	60	45	3.333333
3	63	48	3.75
3.5	68	53	3.962264
4	69	54	4.444444
5	70.5	55.5	5.405405
6	72	57	6.315789
7	78	63	6.666666
8	79.5	64.5	7.441860
9	81	66	8.181818
10	83	68	8.823529
11	86	71	9.295774
12	88	73	9.863013
13	89	74	10.54054
14	89.5	74.5	11.27516
15	90	75	12

NUMUNE NO : 3
EGİM : .1875 sec/ml²

HAM CAMUR



Şekil C.17 Özgöl Direnç Grafiği

Tablo C.11 Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 3

T.K.M. = 12.5 kg/m³

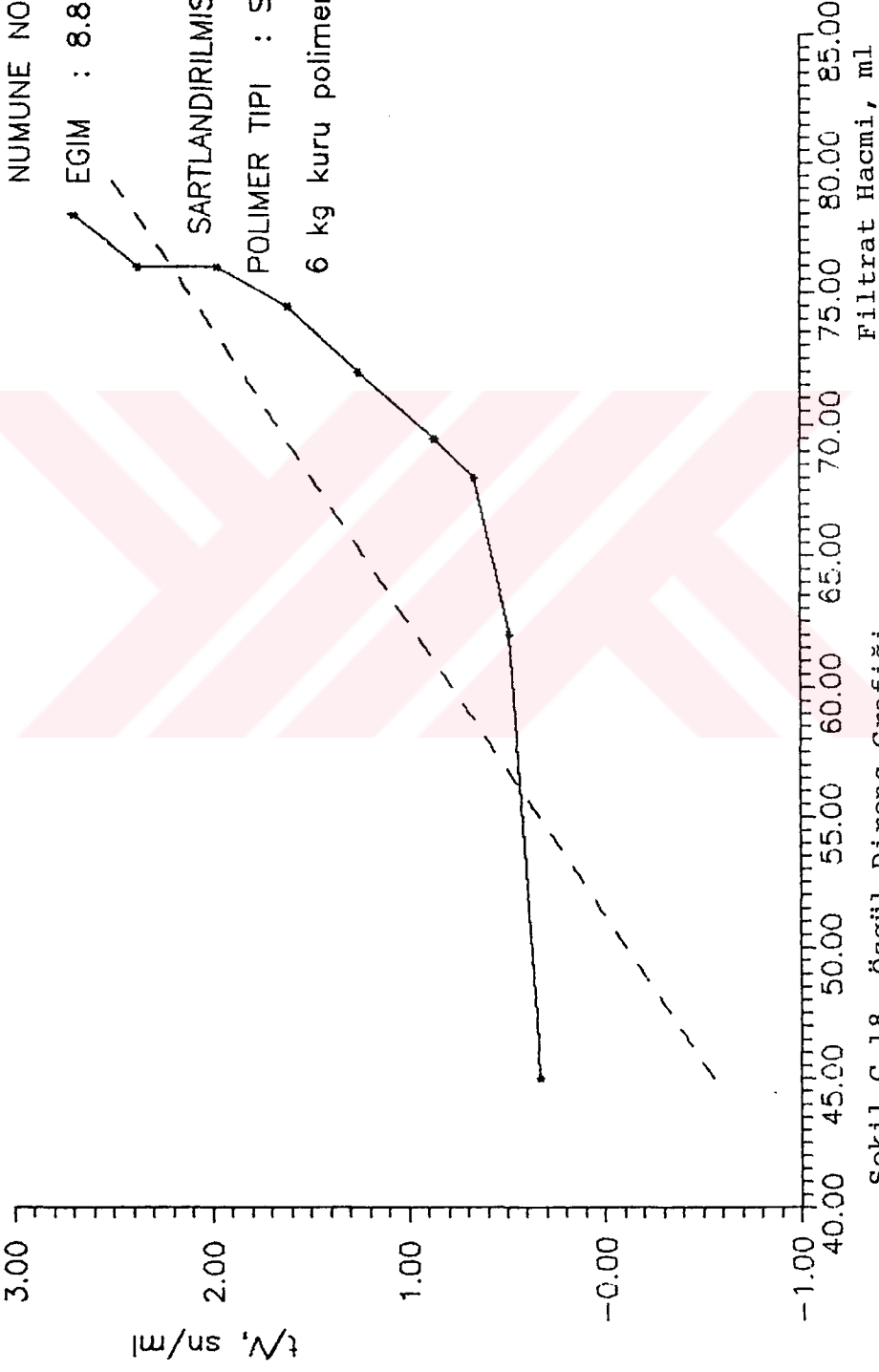
SARTLANDIRILMIŞ ÇAMUR

6 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M.

8 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M.

Süre, dak	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/V, sn/ml	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/V, sn/ml
-2	20	-		21	-	
0.25	65	45	0.333333	45	24	0.625
0.5	82	62	0.483870	62	41	0.731707
0.75	88	68	0.661764	72	51	0.882352
1	89.5	69.5	0.863309	78	57	1.052631
1.5	92	72	1.25	86	65	1.384615
2	94.5	74.5	1.610738	89.5	68.5	1.751824
2.5	96	76	1.973684	90	69	2.173913
3	96	76	2.368421	91	70	2.571428
3.5	98	78	2.692307	91.5	70.5	2.978723
4	98.5	78.5	3.057324	92	71	3.380281
5	99	79	3.797468	92.5	71.5	4.195804
6				92.5	71.5	5.034965

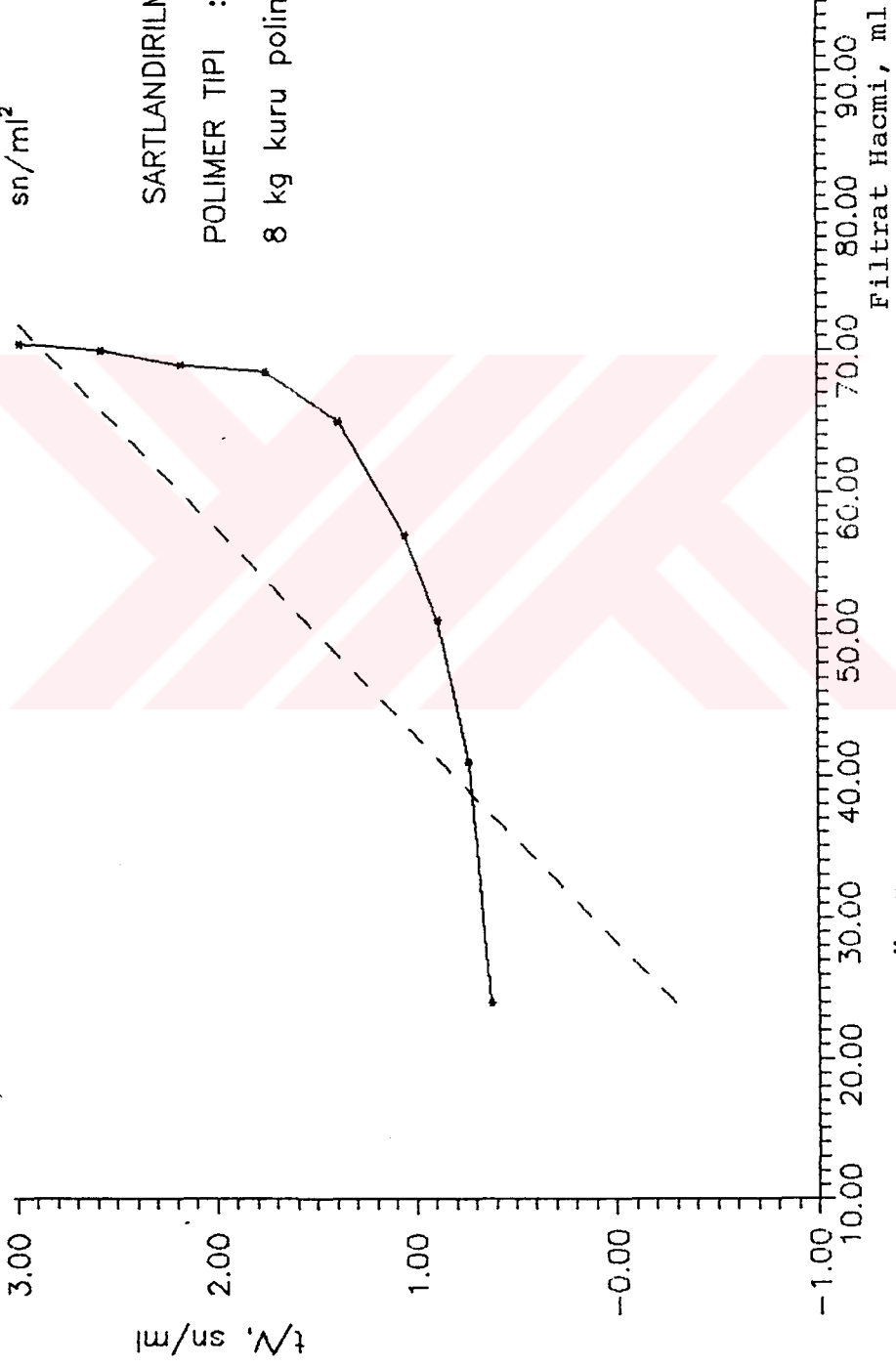
NUMUNE NO : 3
EGİM : 8.8775×10^{-2}
SARTLANDIRILMIŞ CAMUR
POLİMER TİPİ : Superfloc C420
6 kg kuru polimer / ton K.M.



Şekil C.18 Özgöl Direnç Grafiği

NUMUNE NO : 3
EĞİM₂ : 6.8414×10^{-2}
sn/ml²

SARTLANDIRILMIŞ CAMUR
POLİMER TİPİ : Superfloc C420
8 kg kuru polimer / ton K.M.



Şekil C.19 Özgöl Direnç Grafiği

Tablo C.12 Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 3

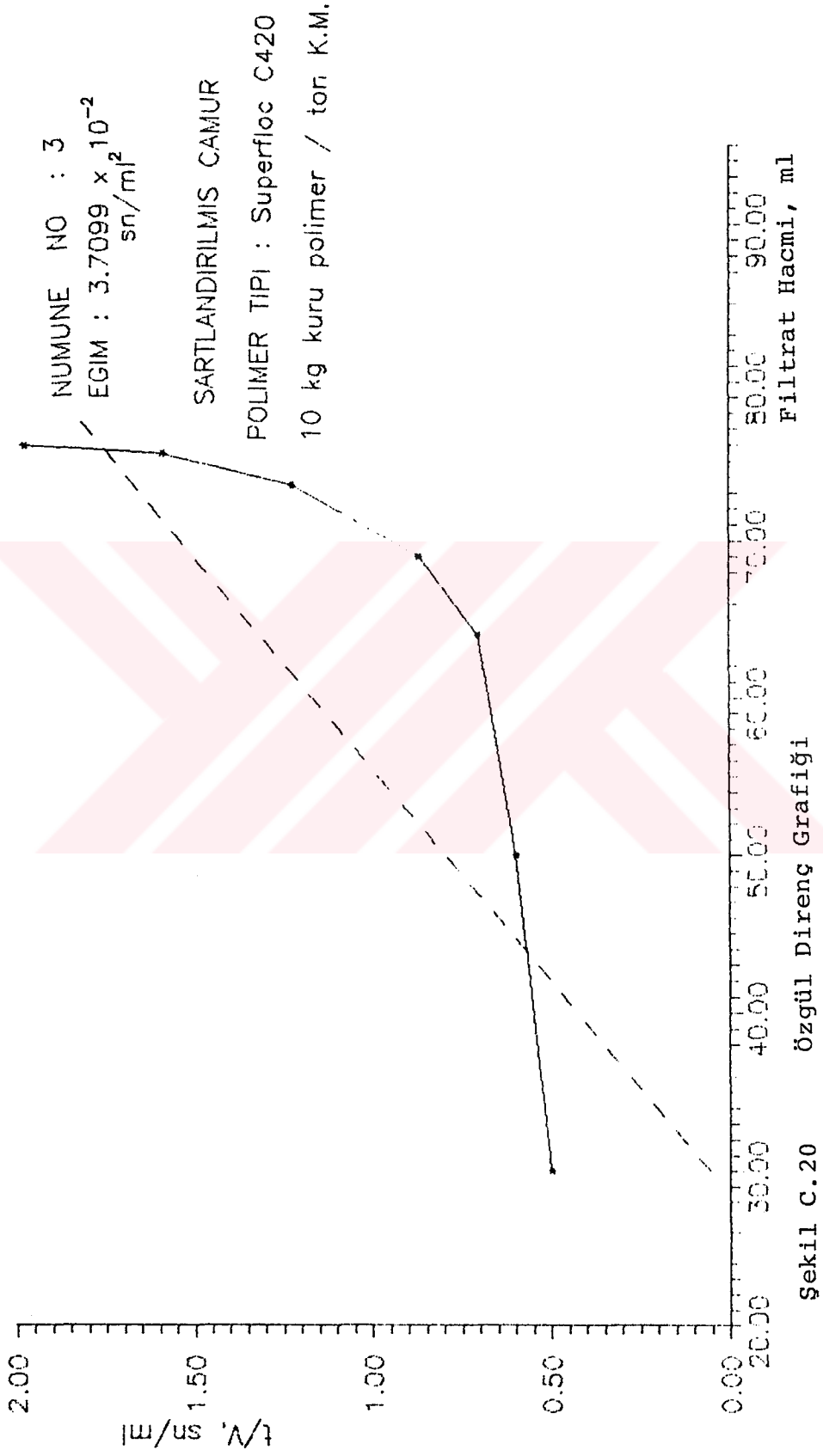
T.K.M. = 12.5 kg/m³

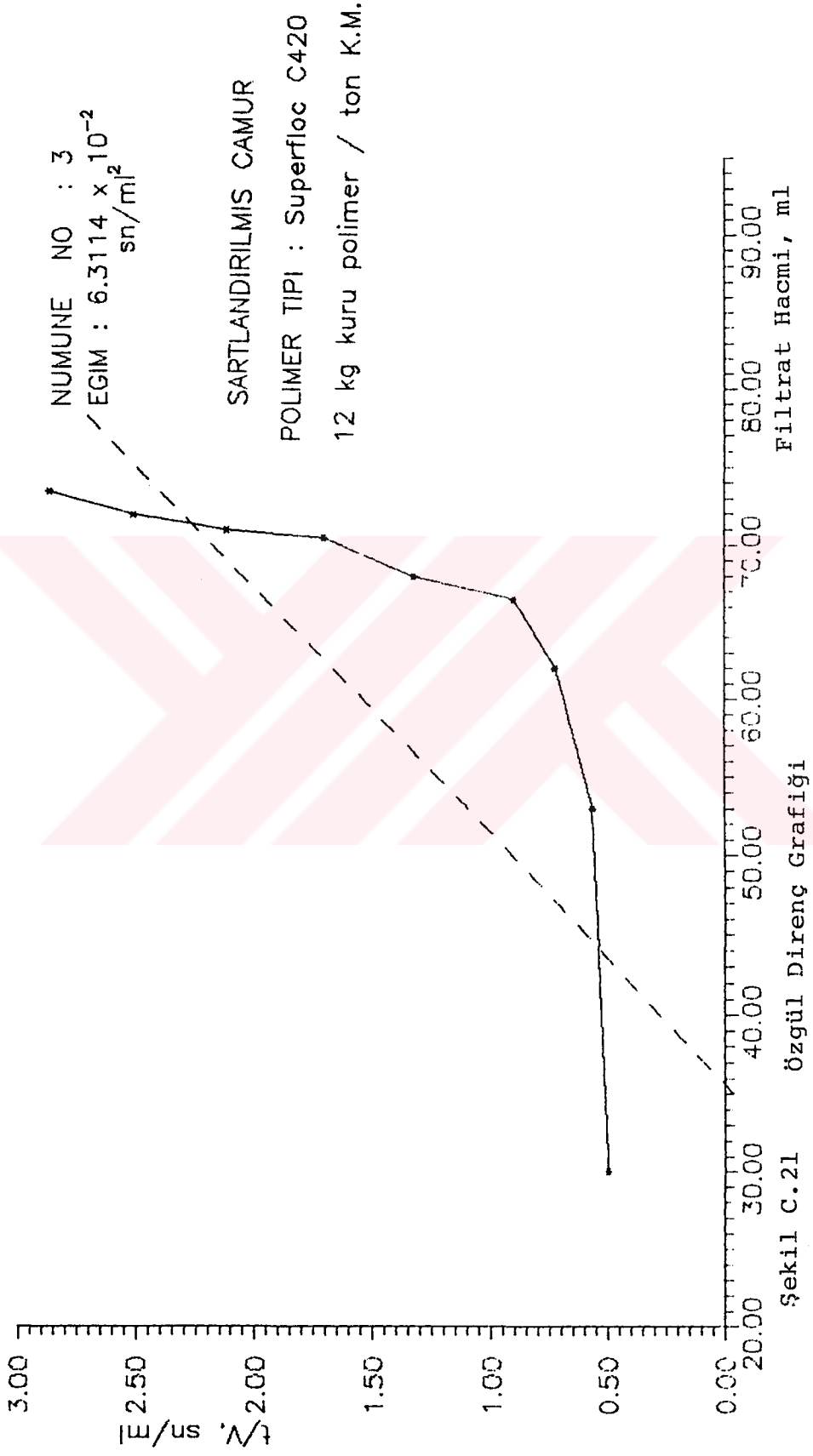
SARTLANDIRILMIŞ ÇAMUR

10 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M.

12 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M.

Süre, dak	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/V, sn/ml	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/V, sn/ml
-2	21	-		22	-	
0.25	51	30	0.5	52	30	0.566037
0.5	71	50	0.6	75	53	0.725806
0.75	85	64	0.703125	84	62	0.902255
1	90	69	0.869565	88.5	66.5	1.323529
1.5	94.5	73.5	1.224489	90	68	1.702127
2	96.5	75.5	1.589403	92.5	70.5	2.112676
2.5	97	76	1.973684	93	71	2.5
3	98	77	2.337662	94	72	2.857142
3.5	99	78	2.692307	95.5	73.5	3.243243
4				96	74	
5				97	75	





Tablo C.13 Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 3

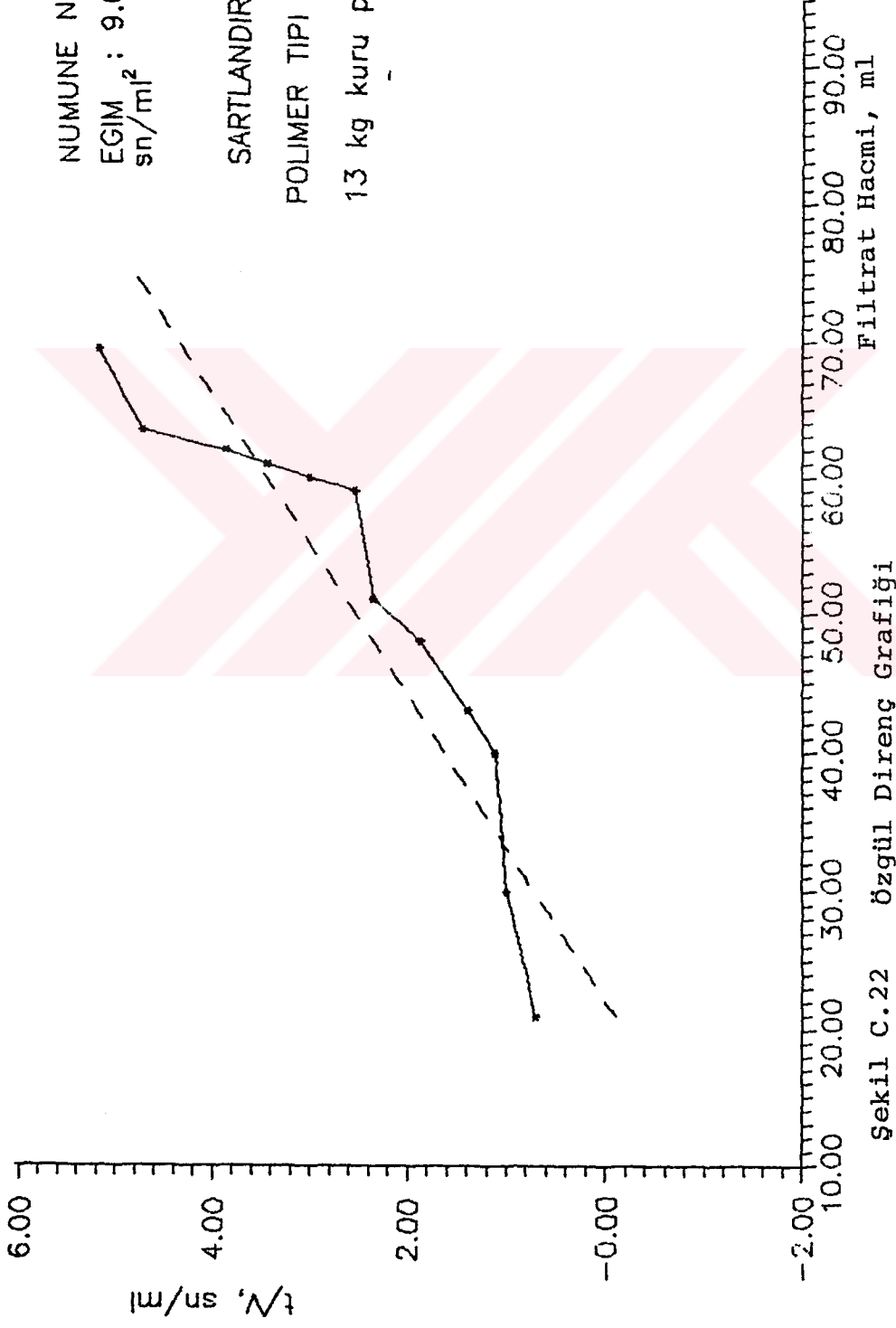
T.K.M. = 12.5 kg/m³

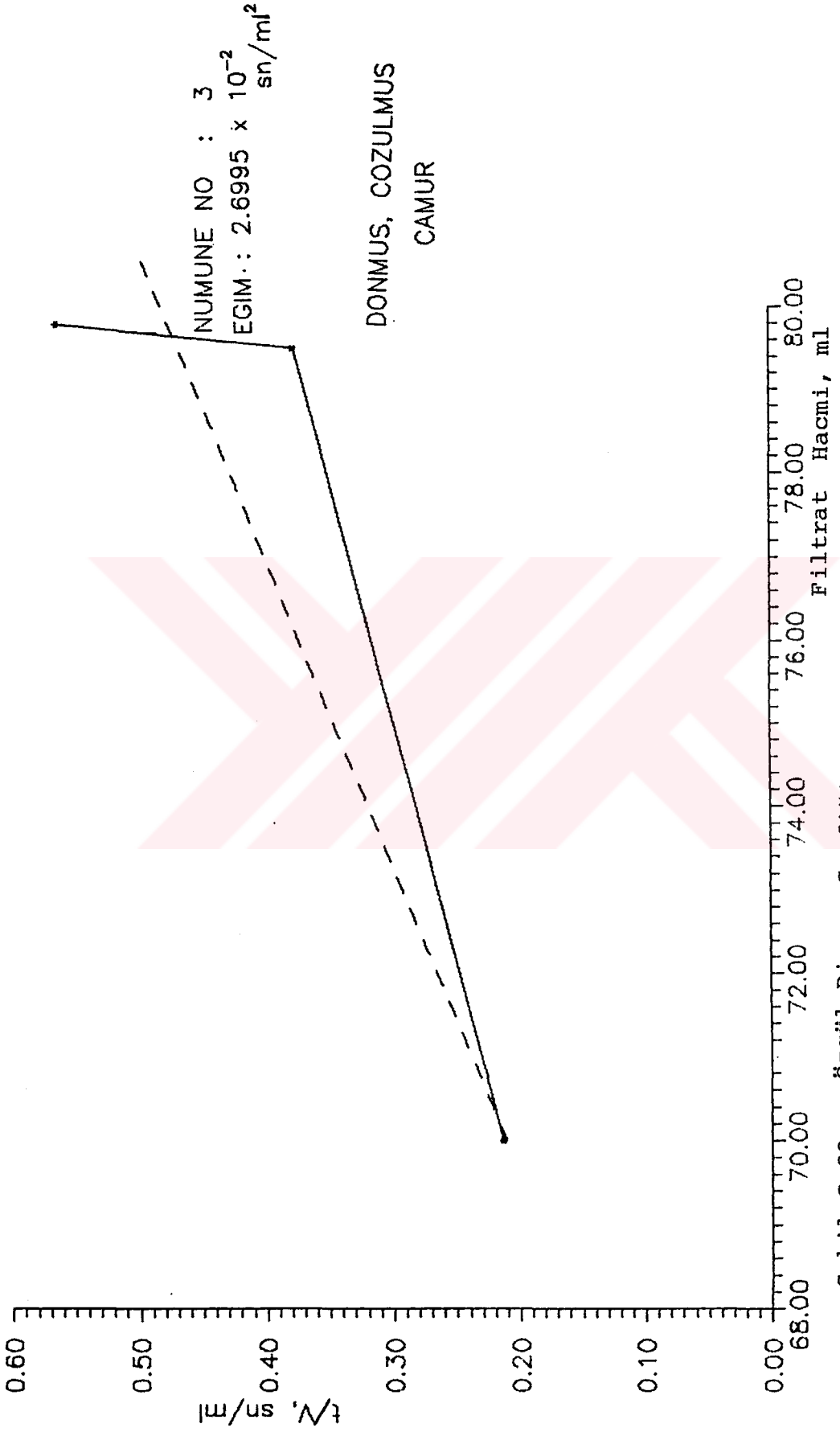
SARTLANDIRILMIŞ ÇAMUR

13 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M.

DONMUS, ÇÖZÜLMÜŞ
ÇAMUR

Süre, dak	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/v, sn/ml	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/v, sn/ml
-2	20	-		20	-	
0.25	41	21	0.714285	90	70	0.214285
0.5	50	30	1	99.5	79.5	0.377358
0.75	60	40	1.125	99.8	79.8	0.563909
1	63	43	1.395348			
1.5	68	48	1.875			
2	71	51	2.352941			
2.5	79	59	2.542372			
3	80	60	3			
3.5	81	61	3.442622			
4	82	62	3.870967			
5	83.5	63.5	4.724409			
6	89.5	69.5	5.179856			





Şekil C.23 Özgül Direnç Grafiği

Tablo C.14 Buchner Hunisi Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar

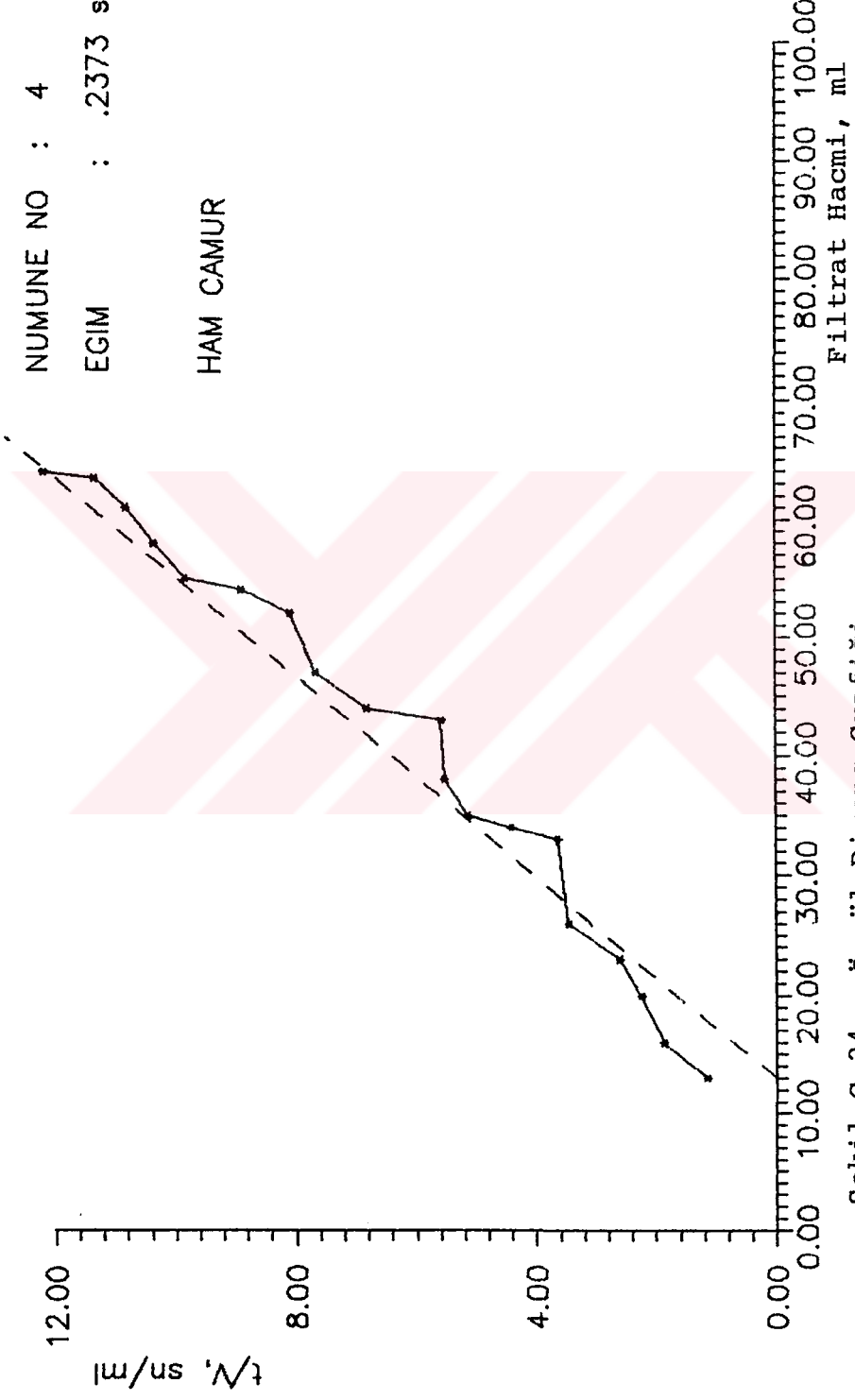
Numune No = 4

T.K.M. = 12.57 kg/m³

Süre, dak	H A M Ç A M U R		t/V, sn/ml
	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan Süzüntü hacmi, ml	
-2	16	-	
0.25	29	13	1.153846
0.5	32	16	1.875
0.75	36	20	2.25
1	39	23	2.608695
1.5	42	26	3.461538
2	49	33	3.636363
2.5	50	34	4.411764
3	51	35	5.142857
3.5	54	38	5.526315
4	59	43	5.581395
5	60	44	6.818181
6	63	47	7.659574
7	68	52	8.076923
8	70	54	8.888888
9	71	55	9.818181
10	74	58	10.34482
11	77	61	10.81967
12	79.5	63.5	11.33858
13	80	64	12.1875
14	80.5	64.5	13.02325
15	81.5	65.5	13.74045
16	84	68	14.11764
17	87.5	71.5	14.26573
18	89.5	73.5	14.69387
19	90	74	15.40540

NUMUNE NO : 4
EGİM : .2373 sec/ml²

HAM CAMUR



Şekil C.24 Özgöl Direnç Grafiği

Tablo Cl5 Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 4

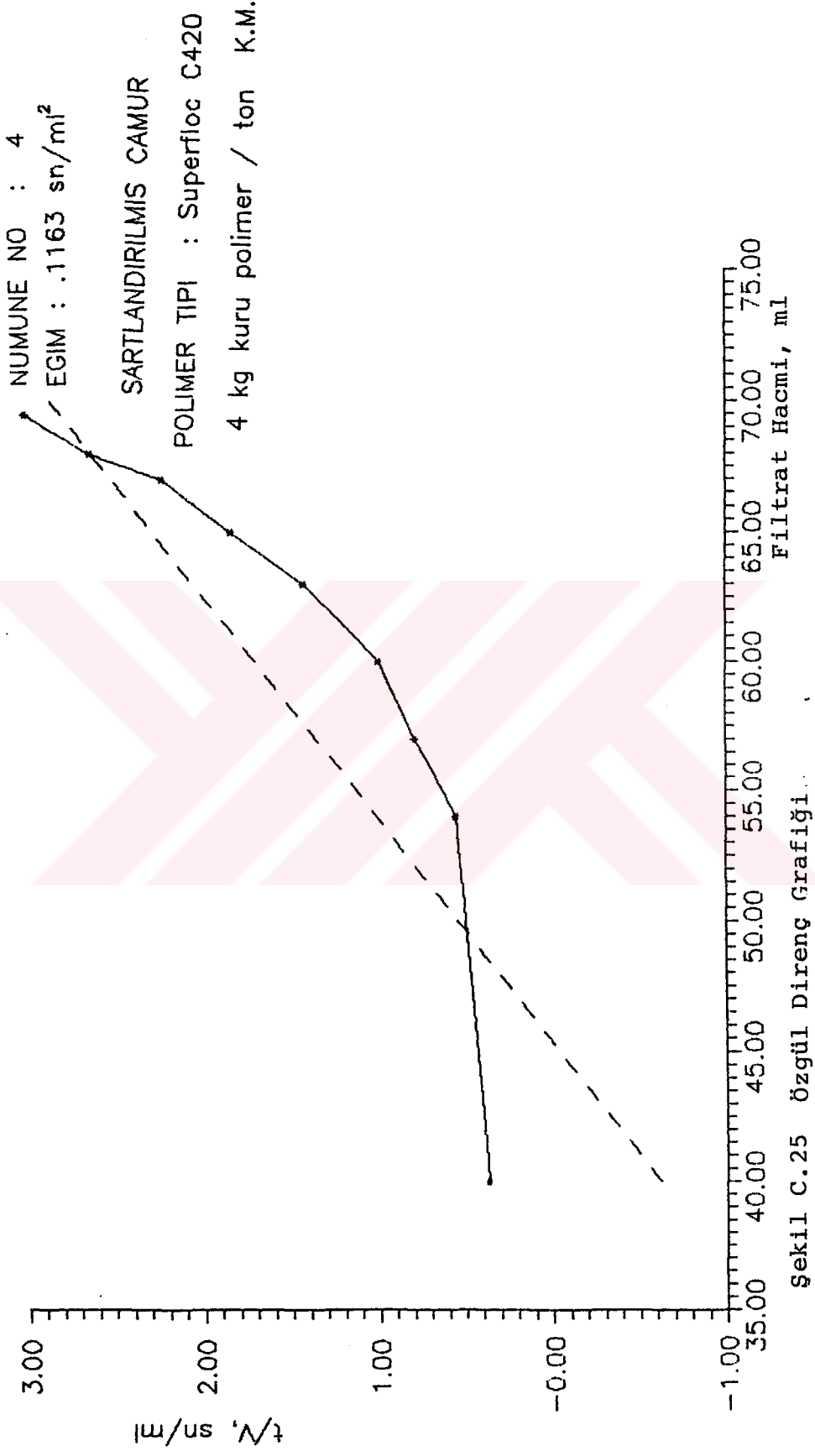
T.K.M. = 12.57 kg/m³

4 kg KURU KATYONIK POLIMER / TON K.M.

SARTLANDIRILMIŞ ÇAMUR

6 kg KURU KATYONIK POLIMER / TON K.M.

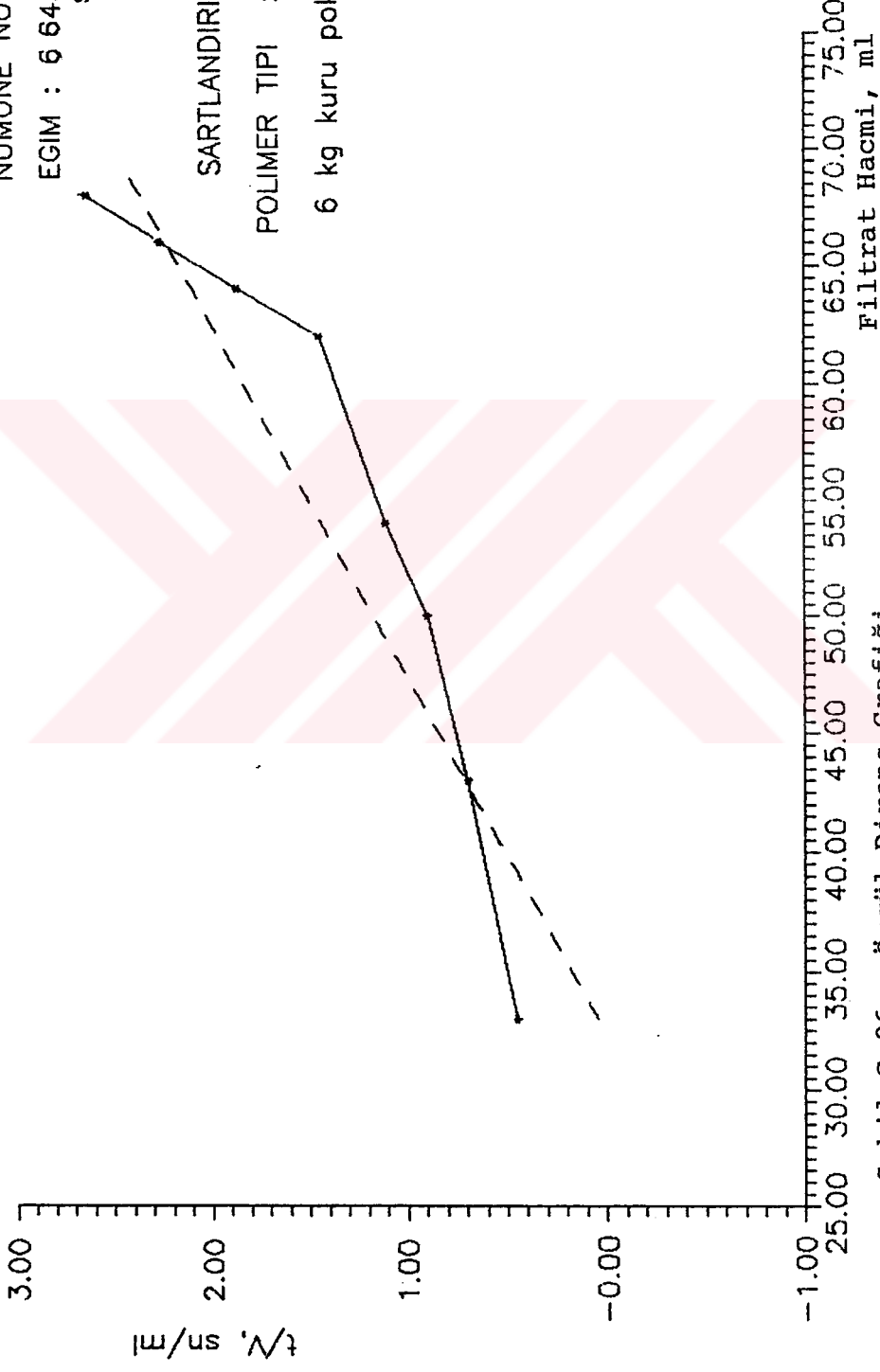
Süre, dak	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzüntü hacmi, ml	t/V, sn/ml	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzüntü hacmi, ml	t/V, sn/ml
-2	20	-		22	-	
0.25	60	40	0.375	55	33	0.454545
0.5	74	54	0.555555	65	43	0.697674
0.75	77	57	0.789473	72	50	0.9
1	80	60	1	76	54	1.111111
1.5	83	63	1.428571	84	62	1.451612
2	85	65	1.846153	86	64	1.875
2.5	87	67	2.23805	88	66	2.272727
3	88	68	2.647058	90	68	2.647058
3.5	89.5	69.5	3.021582	90.5	68.5	3.065693
4	90	70	3.428571			
5	90.5	70.5	4.255319			



NUMUNE NO : 4
EGİM : $6\,6455 \times 10^{-2}$
sn/ml²

SARTLANDIRILMIS CAMUR

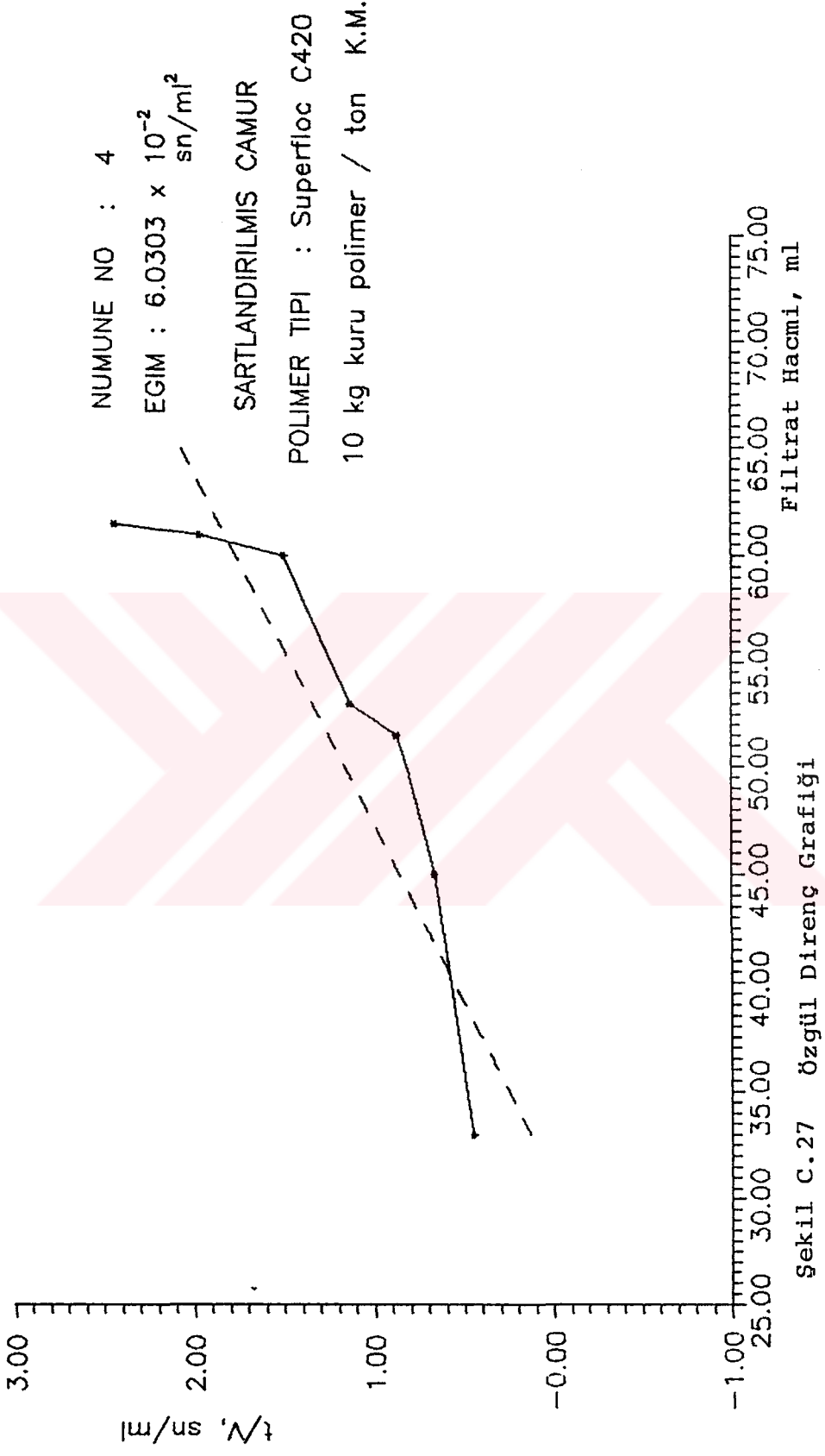
POLİMER TİPİ : Superfloc C420
6 kg kuru polimer / ton K.M.



Şekil C.26 Özgöl Direnç Grafiği

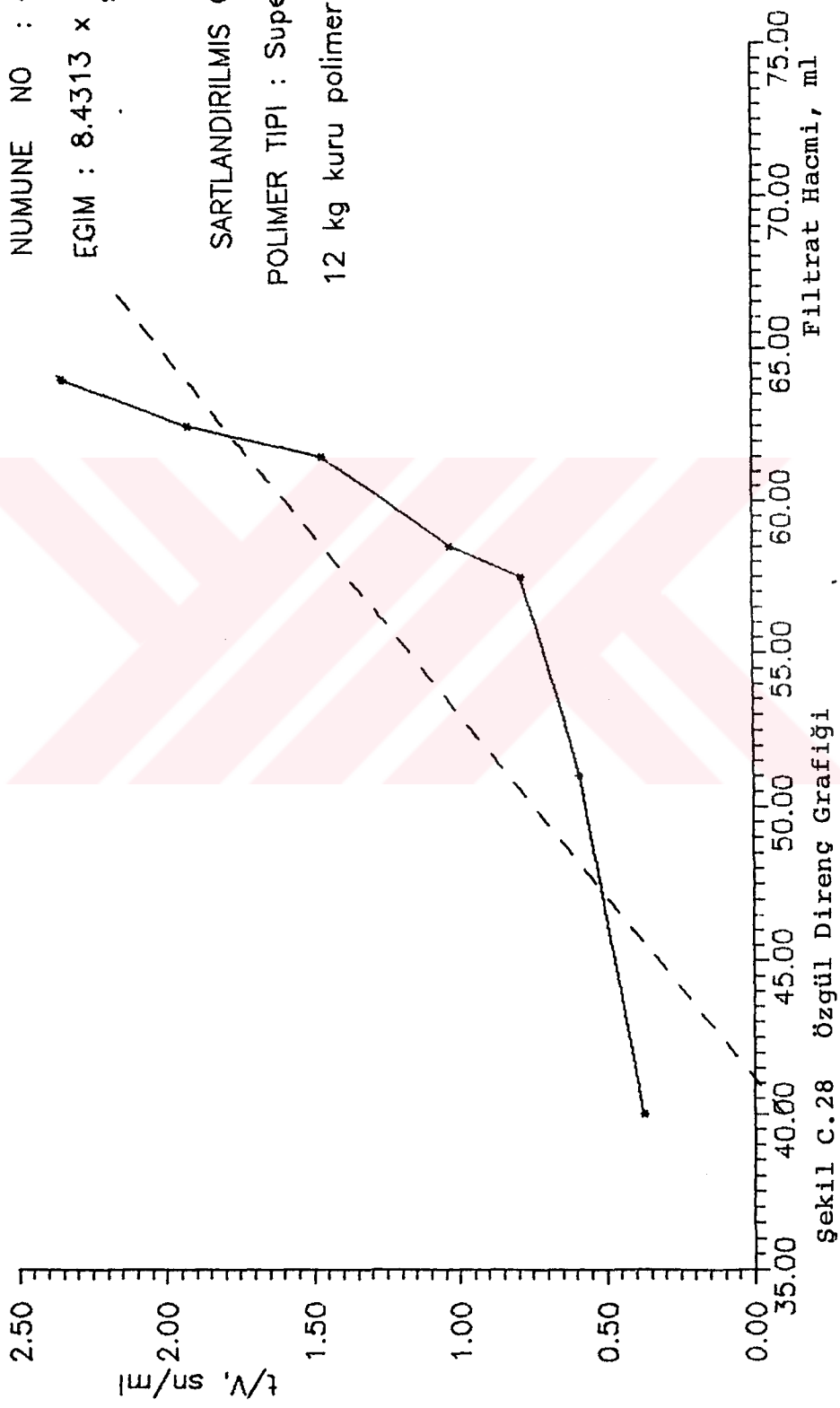
Tablo C.16 Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 4		SARTILANDIRILMIŞ ÇAMUR			
T.K.M. = 12.57 kg/m ³		10 kg KURU KATYONİK POLİMER / TON K.M.			
Süre, dak	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml	t/V, sn/ml	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan süzöntü hacmi, ml
-2	29	-	-	32	-
0.25	62	33	0.454545	72	40
0.5	74	45	0.666666	83	51
0.75	80.5	51.5	0.873786	89.5	57.5
1	82	53	1.132075	90.5	58.5
1.5	89	60	1.5	93.5	61.5
2	90	61	1.967213	94.5	62.5
2.5	90.5	61.5	2.439024	96	64
3				99	67
					0.375
					0.588235
					0.782608
					1.025641
					1.463414
					1.92
					2.34375
					2.686567



NUMUNE NO : 4
EGİM : 8.4313×10^{-2}
sn/ml²

SARTLANDIRILMIŞ CAMUR
POLİMER TİPİ : Superfloc C420
12 kg kuru polimer / ton K.M.



Şekil C.28 Özgöl Direng Grafiğı

Tablo C.17 Buchner Hunisi Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 4

T.K.M. = 12.57 kg/m³

D O N M U S , Ç Ö Z Ü L M Ü S Ç A M U R

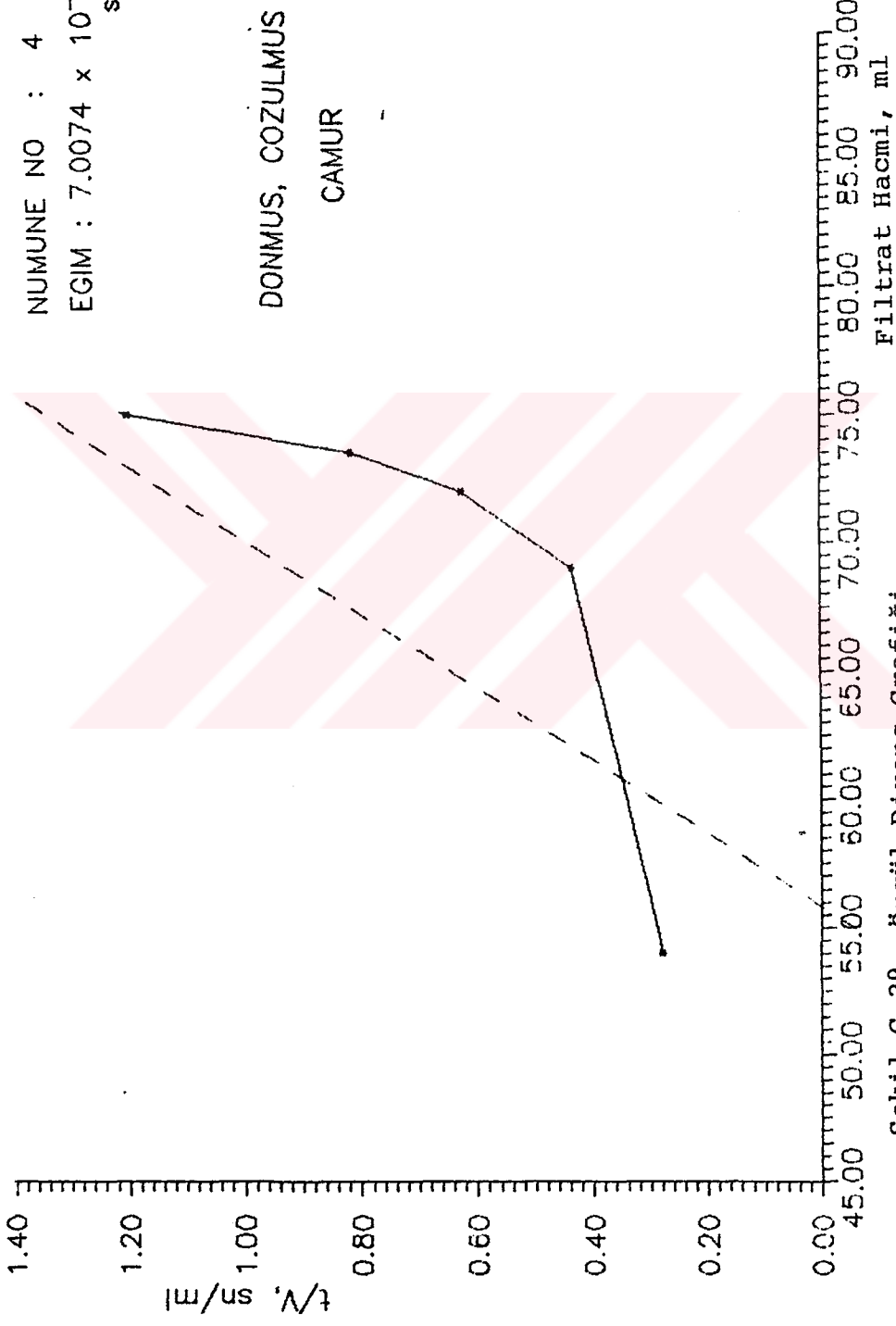
Süre, dak	Süzüntü Hacmi, ml	Vakum sonrası toplanan Süzüntü hacmi, ml	t/V, sn/ml
-2	21	-	
0.25	75	54	0.277777
0.5	90	69	0.434782
0.75	93	72	0.625
1	94.5	73.5	0.816326
1.5	96	75	1.2
2	98.5	77.5	1.548387
2.5	99	78	1.923076
3	99	78	2.307692

NUMUNE NO : 4

EGİM : 7.0074×10^{-2} sn/ml²

DONMUS, COZULMUS

CAMUR



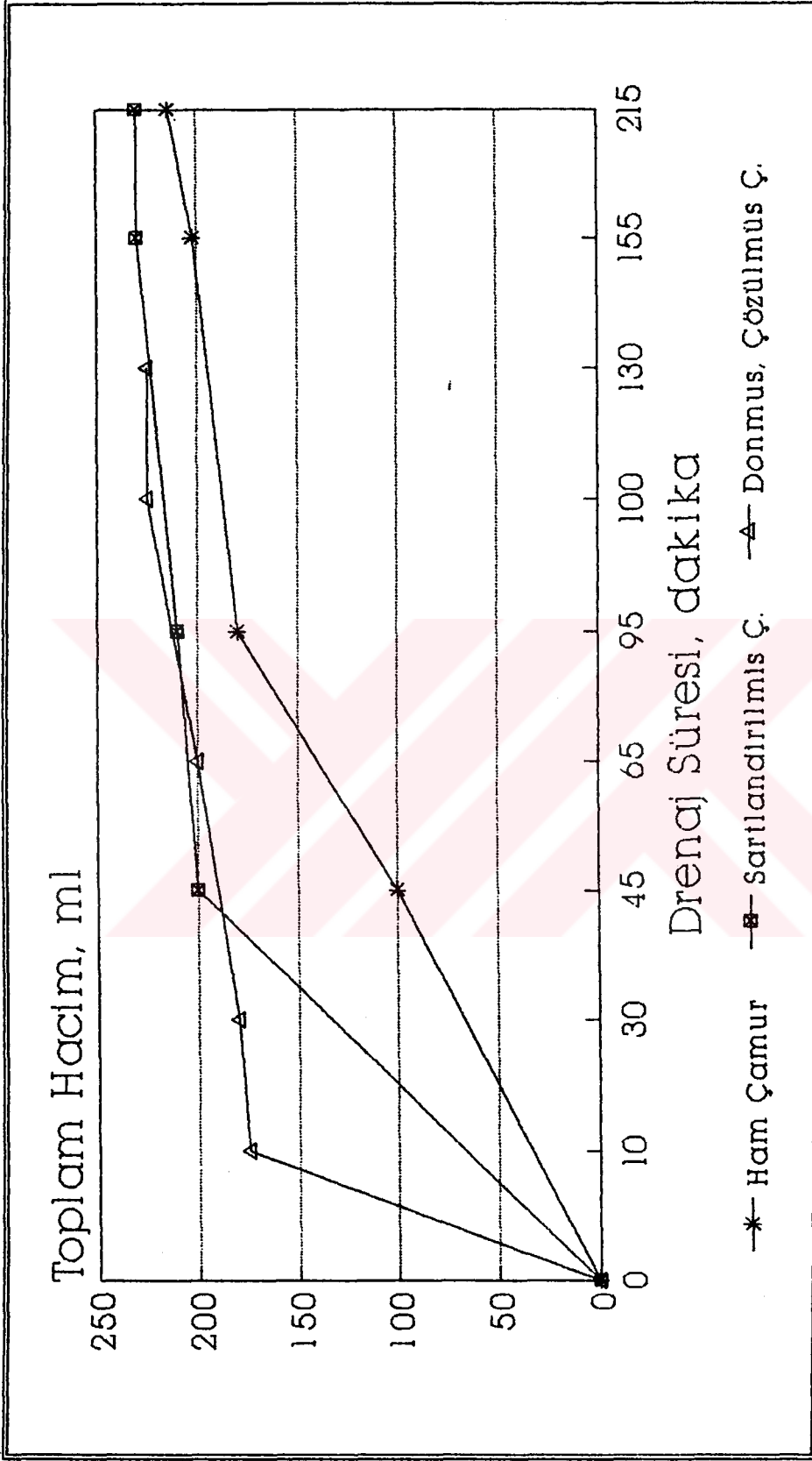
Şekil C.29 Özgül Direnç Grafiği

Tablo D.1 Serbest Filtrasyon Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 1

T O P L A M S Ü Z Ü N T Ü H A C M I , m l			
SÜRE , dak	HAM ÇAMUR	OPTIMUM SARTLANDIRILMIŞ ÇAMUR	SÜRE , dak
0	0	0	10
4	100	200	30
95	180	210	65
155	202	230	100
215	214	230	130
			175
			180
			200
			225
			225

DONMUS, ÇÖZÜLMÜŞ
ÇAMUR



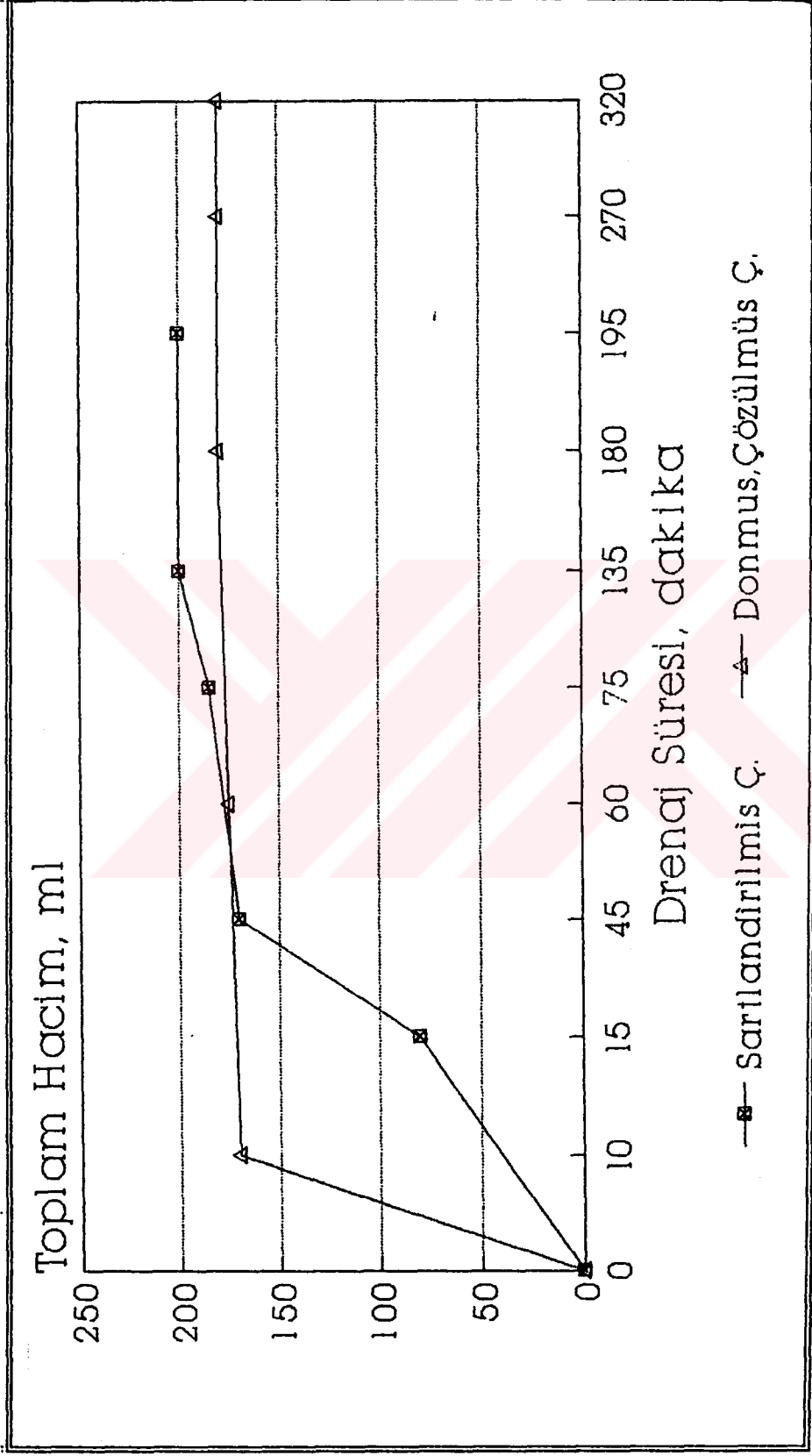
Şekil D.1 Serbest Filtrasyon Grafiği

Numune No = 1

Tablo D.2 Serbest Filtrasyon Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 2

SÜRE , dak	HAM ÇAMUR	TOPLAM SÜZÜNTÜ HACMI , ml	SÜRE , dak	DONMUS , ÇÖZÜLMÜS ÇAMUR
0	-	0	0	0
15	-	80	10	170
45	-	170	60	175
75	-	185	180	180
135	-	200	270	180
195	-	200	320	180



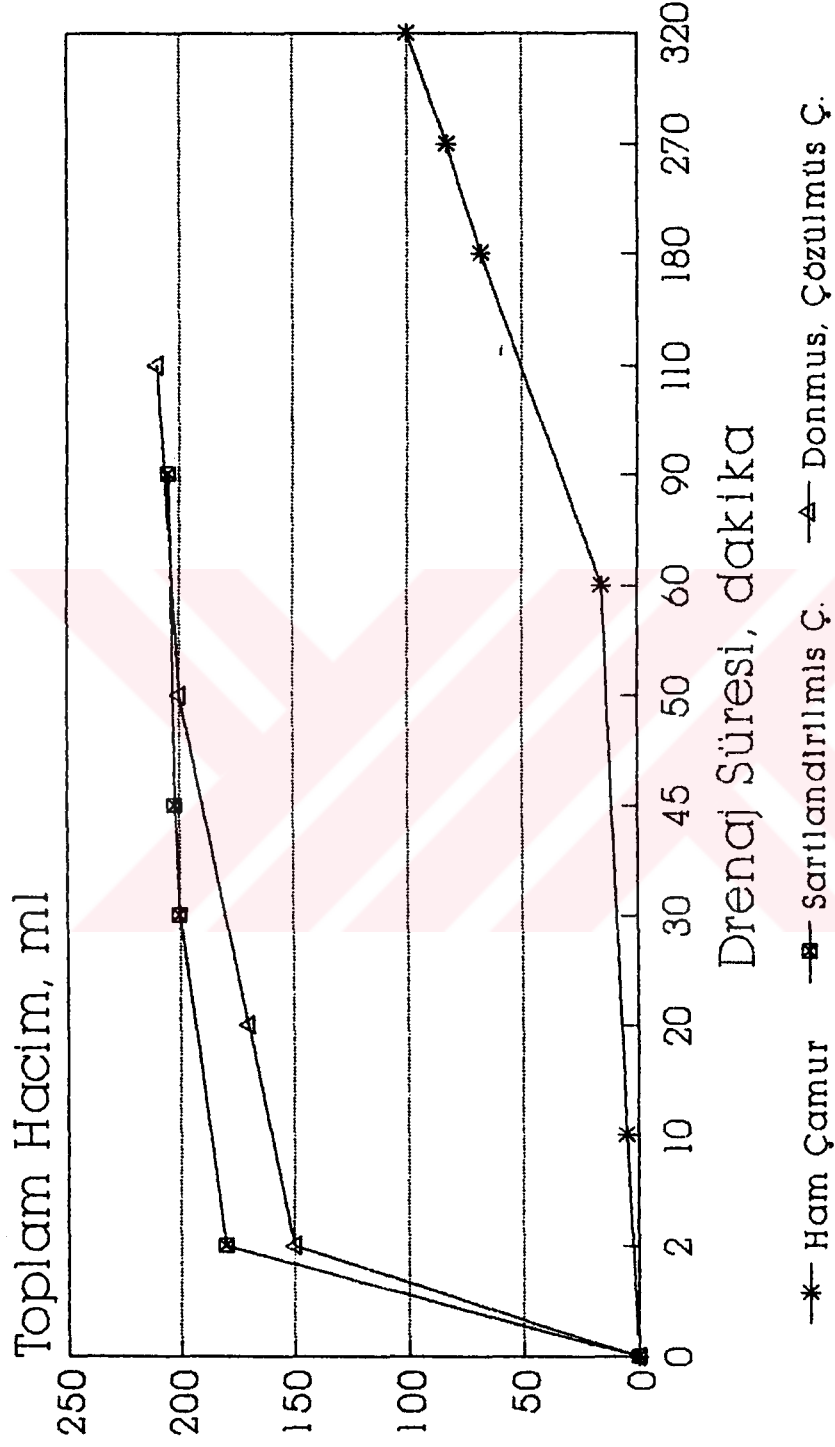
Şekil D.2 Serbest Filtrasyon Grafiği

Numune No = 2

Tablo D.3 Serbest Filtrasyon Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 3

T O P L A M S Ü Z Ü N T Ü H A C M I , m l						
SÜRE , dak	HAM ÇAMUR	SÜRE , dak	OPTIMUM SARTLANDIRILMIŞ ÇAMUR	SÜRE , dak	DONMUS , ÇAMUR	ÇÖZÜLMÜS
0	0	0	0	0	0	0
10	5	2	180	2	150	150
60	15	30	200	20	170	170
180	68	45	202	50	200	200
270	83	90	205	110	210	210
320	100					



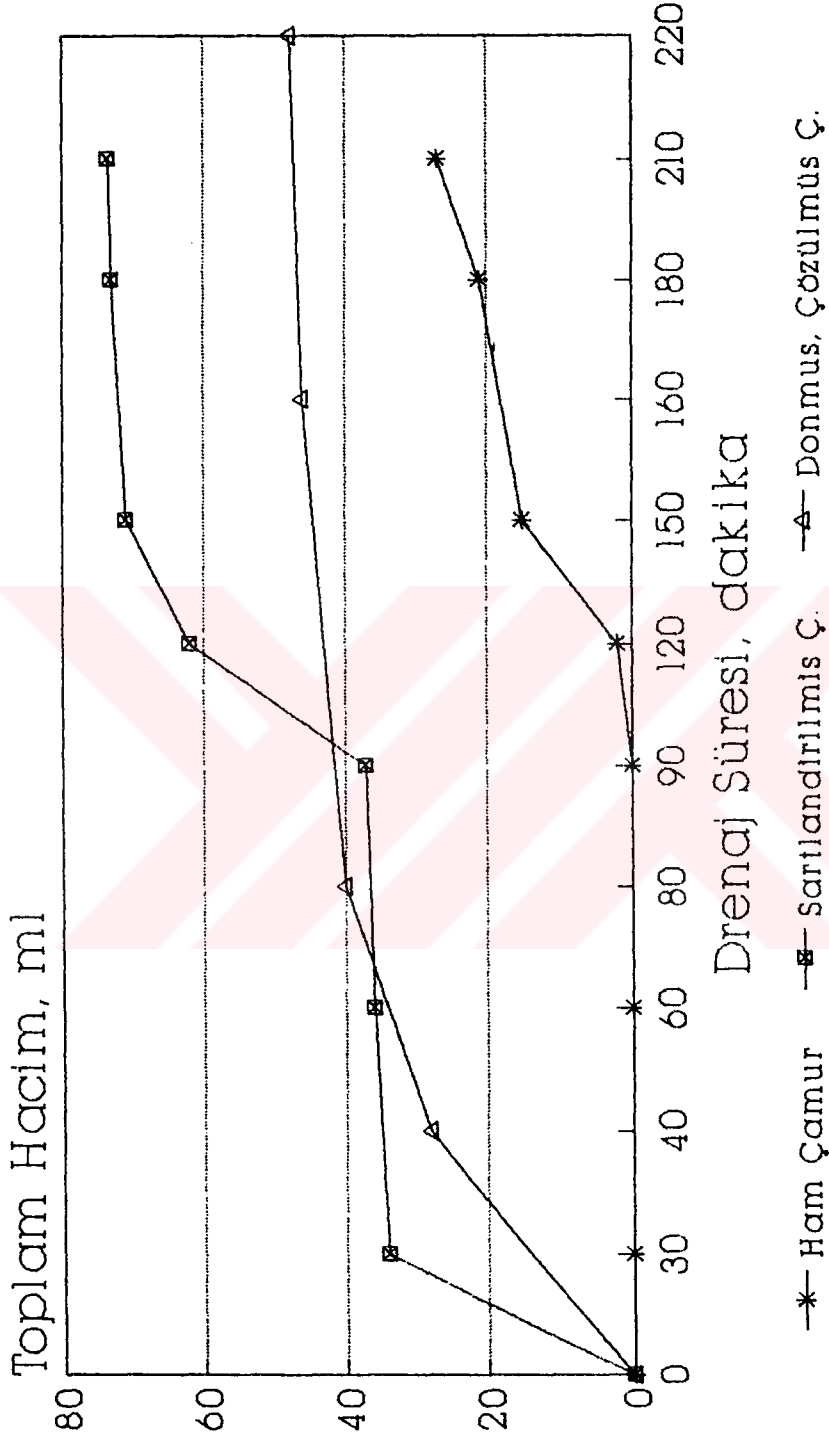
Şekil D.3 Serbest Filtrasyon Grafiği

Numune No = 3

Tablo D.4 Serbest Filtrasyon Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Numune No = 4

SÜRE , dak	HAM ÇAMUR	TOPLAM SÜZÜNTÜ HACMI , ml	OPTIMUM SARTLANDIRILMIŞ ÇAMUR	SÜRE , dak	DONMUS , ÇÖZÜLMÜŞ ÇAMUR
0	0		0	0	0
30	0		34	40	28
60	0		36	80	40
90	0		37	160	46
120	2		62	220	47.8
150	15		71		
180	21		73		
210	27		73.5		



Şekil D.4 Serbest Filtrasyon grafiği

Numune No = 4

ÖZGEÇMİŞ

1966 Yılında Adapazarı'nda doğdu. İlk ve Ortaöğrenimini İstanbul'da Şişli Ortaokulu'nda, Lise öğrenimini ise Nişantaşı Kız Lisesi'nde tamamladı. 1984 yılında yüksek öğrenimine başladığı İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Şubat 1990 yılında mezun oldu. Yüksek öğrenimi süresince part-time çalıştı. Aynı yıl Yapı Merkezi Şirketler Grubu'na bağlı İnşaat Sanayi A.Ş.'de Çevre Mühendisi olarak göreve başladı. Takip eden yıllarda aynı şirketler grubu bünyesindeki diğer kuruluşlarda da çalıştı. Su ve Atıksu Arıtımı ve arıtma ekipmanları konulu bir çok seminer ve sempozyuma katıldı.

1992 Yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. 1993 yılında İ.T.O Başkanlığı tarafından 'Çevrenin Korunması ve Çevre Kirliliğinin Önlenmesi" konusunda düzenlenen bir çalışmada Yapı Merkezi İnşaat Sanayi A.Ş. adına Çevre Ödülü kazandı. Aynı yıl Maden Fakültesi 40.Yıl Sempozyumuna Maden İşletmeciliği taş tozu yıkama ünitelerinden kaynaklanan atıksuların arıtılması konulu bir tebliğ ile katıldı.

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**