

Yalçın Özdemir'in DOKTORA tezi olarak hazırladığı "BİR KAĞIT FABRİKASI ENDÜSTRİYEL ATIKSUYUNUN ARITILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

30/11/1990

Başkan: Prof.Dr. Ekrem Ekinci

Üye: Doç.Dr. M. Ercengiz Yıldırım

Üye: Doç.Dr. Tefik Gedikbey

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 5. AKALIN 1990  
gün ve 262/7... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. Rüstem Kaya  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Bu çalışmada bir kağıt fabrikası endüstriyel atıksuyunun arıtılabilirliği incelendi. Gerçi işletmede bir atıksu arıtım tesisi vardır, ama sırasıyla sınır değerleri 100 mg/l ve 40 mg/l olan KOİ ve BOİ<sub>5</sub>'ni izin verilen değerlerin altına düşürmeye yeterli olacak şekilde çalışmamaktadır. Atıksu arıtım tesisi pıhtılaştırıcı kullanımına dayandığı için, önce bazı pıhtılaştırıcılar yedi değişik dozda denendi. İkinci olarak aktif karbon ve linyit kömürü külü ile adsorpsiyon deneyleri yürütüldü. Son olarak aktif çamur yöntemi uygulandı. Atıksu zayıf (az kirli) olduğunda biyokimyasal arıtım tek başına yeterli oldu; fakat kuvvetli (çok kirli) atıksularda, uygun arıtılmış su niteliği sağlayabilmek için biyokimyasal arıtmadan sonra alüminyum sülfatla pıhtılaştırma gerekli oldu.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION THE TRATABILITY OF A PAPER MILL INDUSTRIAL WASTEWATER

### SUMMARY

In this study treatability of the paper mill industrial wastewater was investigated. Although a wastewater treatment facility exists at the plant, it does not work satisfactorily to reduce COD and BOD<sub>5</sub> under the allowable values, which are 100 mg/l and 40 mg/l, respectively. Since wastewater treatment facility is based on applying flockulants, first some flockulants were investigated at seven different doses. Secondly adsorption experiments by activated carbon and lignite ash were carried out. Finally activated sludge method was applied. When wastewater was weak biochemical treatment alone was satisfactory, but with strong wastewaters after biochemical treatment coagulation with alum was necessary to produce appropriate effluent quality.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında her türlü olanağı sağlayan, çalışmalarımı yöneten, yapıcı ve yönlendirici eleştirileriyle hiç bir zaman ilgi ve yardımını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç.Dr. M. Ercengiz YILDIRIM'a sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım süresince maddi ve manevi kolaylıklar sağlayan Kimya Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Doç.Dr. Mustafa KARA'ya,

Çalışmalarıma katkıda bulunan Sayın Doç.Dr. İevfik GEDİKBEY'e ve Arş.Grv. Neşe UYGAN'a,

Ayrıca çalışmalarım sırasında yardımlarını gördüğüm Kimya Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına,

Resimlerin ve çizelgelerin çizimini gerçekleştiren teknik ressam Ahmet GÜN'e,

Atıksu örneklerinin alınmasında kolaylık gösteren fabrika müdürü ve arıtım tesisleri personeline,

Desteğini esirgemeyen eşime,

Teşekkürü bir borç bilirim.

Haklarını hiç bir zaman ödeyemeyeceğim sevgili annem'e ve babam'a en içten duygularımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER DİZİNİ.....	xvi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Su Kirlenmesinin Önemi.....	3
1.2. Kağıt Fabrikaları Atıksularının Önemi.....	4
1.3. Çalışmanın Amacı.....	7
1.4. Daha Önce Yapılan Çalışmalar.....	8
2. ATIKSUYU İLE ÇALIŞILAN KAĞIT FABRİKASININ TANITIMI.....	16
2.1. Kağıt Üretim Ünitelerinin Tanıtımı.....	16
2.1.1. Kağıt Üretimi İşlemi Hakkında Kısa Bilgi.....	17
2.2. Atıksu Arıtım Tesisleri.....	18
3. ATIKSULARIN ARITIM YÖNTEMLERİ.....	20
3.1. Fiziksel (Mekanik) Yöntemler.....	20
3.1.1. Izgaralar ve kalburlar.....	20
3.1.2. Kum tutucular.....	21
3.1.3. Yağ tutucular.....	21
3.1.4. Çöktürme havuzları.....	21
3.2. Fizikokimyasal Yöntemler.....	22

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.3. Biyolojik Yöntemler.....	22
3.3.1. Havalı sistemler.....	23
3.3.1.1. <u>Aktif çamur yöntemi</u> .....	23
3.3.1.2. <u>Aktif çamur sisteminin</u> <u>modifikasyonları</u> .....	26
3.3.1.3. <u>Damlatmalı filtreler</u> .....	29
3.3.1.4. <u>Oksidasyon havuzları</u> .....	30
3.4. Dezenfekte Etme.....	31
3.5. Diğer Sistemler.....	31
4. UYGULANAN ARITIM YÜNTEMLERİNİN KURAMSAL TEMELLERİ.....	33
4.1. Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma Yönteminin Kuramsal Temelleri.....	33
4.1.1. Kolloidler.....	33
4.1.2. Yüzey yükü.....	34
4.1.3. Elektrolitlerin pıhtılaştırma etkileri.....	38
4.1.4. Polielektrolitler.....	43
4.2. Adsorpsiyonun Kuramsal Temelleri.....	44
4.2.1. Adsorpsiyon izotermleri.....	46
4.2.1.1. <u>Freundlich izotermleri</u> ....	46
4.2.1.2. <u>Langmuir izotermleri</u> .....	47
4.2.1.3. <u>Brauner-Emmet-Teller (BEI)</u> <u>izotermleri</u> .....	48
4.2.2. Sıvı çözeltilerde adsorpsiyon.....	49
4.3. Aktif Çamur Yönteminin Kuramsal Temelleri.	51
4.3.1. Çamur derişimi.....	52
4.3.2. Çamur hacim indeksi.....	52
4.3.3. Hidrolik yük.....	53
4.3.4. Organik yük.....	53
4.3.5. Çamur yükleme faktörü.....	53

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3.6. Çamur geri devir oranı.....	54
4.3.7. Kalış süresi.....	54
5. KAĞIT FABRİKALARI ATIKSULARINDA YAPILAN ANALİZLER.....	56
5.1. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ <sub>5</sub> ).....	56
5.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı(KOİ).....	58
5.3. Toplam Askıda Katı Madde.....	59
5.4. Çökebilir Katı Madde Hacmi.....	60
5.5. Diğer Tayinler.....	60
6. ARITIM DENEYLERİNİN YAPILDIĞI DÜZENEKLER VE YÖNTEMLERİ.....	61
6.1. Pahtılaştırma-Yumaklaştırma Deney Düzeneği ve Yöntemi.....	61
6.2. Adsorpsiyon Deney Düzeneği ve Yöntemi.....	62
6.3. Aktif Çamur Yöntemiyle Arıtım Deneylerinin Yapılışı.....	63
7. DENEYSEL BULGULAR.....	65
7.1. Arıtım Tesisi Girişinden Alınan Ham Atıksuyun ve Çıkışından Alınan Arıtılmış Suyun Özellikleri.....	65
7.2. Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma Yöntemiyle Arıtım Sonuçları.....	66
7.3. Adsorpsiyonla Arıtım Sonuçları.....	73
7.4. Pıhtılaştırma-Yumaklaştırmadan Sonra Adsorpsiyonla Arıtım Sonuçları.....	76
7.5. Aktif Çamur Yöntemiyle Arıtım Bulguları...	80

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
8. BULGULARIN TARTIŞILMASI, SONUÇLAR VE ÖNERİLER..	84
8.1. Arıtım Tesisinin Etkinliğinin Tartışılması.....	84
8.2. Kağıt Fabrikası Ham Atıksuyunun Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma Yöntemiyle Arıtım Bulgularının Tartışılması.....	86
8.3. Adsorpsiyonla Arıtım Bulgularının Tartışılması.....	88
8.4. Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma-Adsorpsiyonla Arıtım Bulgularının Tartışılması.....	89
8.5. Aktif Çamur Yöntemiyle Arıtım Bulgularının Tartışılması.....	90
8.6. Genel Sonuçlar ve Öneriler.....	92
EK AÇIKLAMALAR	
A. SELÜLOZ, KAĞIT, KARTON VE BENZERİ SANAYİLERİN ALICI ORTAMA DEŞARJ STANDARTLAR.....	94
B. KULLANILAN ALÜMİNYUM SÜLFATIN ANALİZİ.....	98
C. KULLANILAN CÜRUF VE AKTİF KARBONUN ÖZELLİKLERİ.	99
Ç. AKTİF ÇAMUR ARITIM DÜZENEGİNİ OLUŞTURAN BİRİMLER VE ÖZELLİKLERİ.....	100
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	101
EKLER.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	113



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Organik maddelerin havalı-biyolojik olarak parçalanma mekanizması.....	23
3.2. Aktif çamur işlemi.....	24
3.3. Kademeli havalandırma aktif çamur sistemi.	26
3.4. Kontakt stabilizasyon prosesi akış şeması.	27
3.5. Kraus prosesi akış şeması.....	28
3.6. Tam karıştırmalı aktif çamur sistemi akış şeması.....	28
3.7. Damlatmalı filtreler akış şeması.....	29
3.8. Oksidasyon havuzları.....	30
3.9. Havasız çürüme evreleri.....	31
4.1. Negatif yüklü kolloidal taneciği için çift tabaka.....	36
4.2. Yüklü bir hidrofilik kolloid taneciği çevresindeki elektrostatik potansiyeller...	37
4.3. Hidrofobik kolloidin zeta potansiyelinin zıt yüklü iyon kullanımıyla düşürülmesi....	38
4.4. İki kolloid tanecik arasındaki uzaklığın itme ve çekme kuvvetleri üzerindeki etkisi.	39
4.5. Alüminyum ve demirin hidroksitlerinin çözünürlüklerinin pH'la değişimi.....	42
6.1. Pıhtılaştırma-yumaklaştırma deney düzeneği.	61
6.2. Aktif çamur ile arıtımda kullanılan deney düzeneği.....	64
7.1. Kağıt fabrikası ham atıksuyunun $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ve $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 'ün kireç ile birlikte kullanımıyla arıtımında çöktürücü niceliğine karşı arıtımdan sonraki KOİ değerleri.....	70

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.2. Kağıt fabrikası ham atıksuyunun $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ve $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 'ün kireç ile birlikte kullanımıyla arıtımında çöktürücü niceliğine karşı arıttımdan sonraki AKM değerleri.....	71
7.3. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , Sedipur ve kirecin birlikte kullanılmasıyla arıtımında çöktürücü niceliğine karşı KOİ değerleri.....	73
7.4. 1.2.1990 tarihli ham atıksuyun toz aktif karbonla adsorpsiyonu ile arıtım sonrası KOİ değerlerine karşı KOİ/(x/m) grafiği....	74
7.5. 1.2.1990 tarihli ham atıksuyun toz aktif karbonla adsorpsiyonu ile arıtım sonrası KOİ değerlerine karşı x/m grafiği.....	75
7.6. 1.2.1990 tarihli ham atıksuyun toz aktif karbonla adsorpsiyonu ile arıtım sonrası log(KOİ) değerlerine karşı log (x/m) grafiği.....	76
7.7. 1.2.1990 tarihli ham atıksuyun $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ile pıhtılaştırma-yumaklaştırma arıtımından sonra toz aktif karbonla adsorpsiyon sonucu KOİ değerlerine karşı x/m grafiği.....	77
7.8. 1.2.1990 tarihli ham atıksuyun $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ile pıhtılaştırma-yumaklaştırma arıtımından sonra toz aktif karbonla adsorpsiyonu sonucu log (KOİ) değerlerine karşı log (x/m) grafiği.....	78

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
7.9.	1.2.1990 tarihli ham atıksuyun $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ile pıhtılaştırma-yumaklaştırma arıtımından sonra cürufle adsorpsiyonu sonucu (KOİ) değerlerine karşı (x/m) grafiği.....	79
7.10.	1.2.1990 tarihli ham atıksuyun $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ile pıhtılaştırma-yumaklaştırma arıtımından sonra cürufle adsorpsiyonu sonucu log (KOİ) değerlerine karşı log (x/m) grafiği.....	79

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Fiziksel ve Kimyasal adsorpsiyonun karşılaştırılması.....	46
7.1. Kağıt fabrikası işletmesinden değişik tarihlerde alınan ham atıksuyun özellikleri.....	65
7.2. Kağıt fabrikası işletmesinden değişik tarihlerde alınan arıtılmış suyun özellikleri.....	66
7.3. Kağıt fabrikasından 23.11.1989 tarihinde alınan ham atıksuyun $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ve kireç ile pıhtılaştırma sonucu elde edilen analiz verileri.....	67
7.4. Kağıt fabrikasından 23.11.1989 tarihinde alınan ham atıksuyun $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ve kireç ile pıhtılaştırma sonucu elde edilen analiz verileri.....	68
7.5. Kağıt fabrikasından 1.2.1990 tarihinde alınan 24 saatlik kompozit ham atıksuyun $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ve kireç ile pıhtılaştırma sonucu elde edilen analiz verileri.....	69
7.6. Kağıt fabrikasından 1.2.1990 tarihinde alınan 24 saatlik kompozit ham atıksuyun $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ve kireç ile pıhtılaştırma sonucu elde edilen analiz verileri.....	69
7.7. 1.2.1990 tarihinde alınan 24 saatlik kompozit ham atıksu örneğinde $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , Sedipur ve kirecin bir arada kullanılmasıyla pıhtılaştırmada elde edilen analiz verileri.....	72

ÇİZELGELER DİNİZİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
7.8. 1.2.1990 tarihinde alınan 24 saatlik kompozit ham atıksuyun GI süzütüsünün aktif karbonla arıtımından elde edilen deney verileri.....	74
7.9. Pıhtılaştırma-yumaklaştırmadan sonra aktif karbon ile yapılan arıtımdan elde edilen deney verileri.....	77
7.10. Pıhtılaştırma-yumaklaştırmadan sonra cüruflla yapılan arıtımdan elde edilen deney verileri.....	78
7.11. 27.2.1990 tarihli ham atıksuda gerçekleştirilen biyolojik arıtım esnasında değişik zamanlarda alınan arıtılmış suyun analiz sonuçları.....	81
7.12. 13.3.1990 tarihinde alınan 24 saatlik ham atıksuyun biyolojik arıtımdan elde edilen deney verileri.....	82
7.13. Biyolojik arıtımdan sonra alınan örnekler üzerinde $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ve kireçle pıhtılaştırma-yumaklaştırma deneyleri bulguları.....	83

## SİMGELELER DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>A ç ı k l a m a l a r</u>
A	Filtre ve içindeki ağırlığı (mg)
B	Filtre ağırlığı (mg)
B <sub>1</sub>	Seyrelmiş aşının seyreltmeden 15 dakika sonraki çözülmüş oksijen değeri (mg/l)
B <sub>2</sub>	İnkübasyondan sonra aşı örneğinin çözülmüş oksijen değeri (mg/l)
B <sub>v</sub>	Organik yük [(kg BOİ)/(m <sup>3</sup> )(gün)]
C	Örnek hacmi (cm <sup>3</sup> )
ÇO	Çözülmüş oksijen(mg/l)
D <sub>o</sub>	Orijinal seyreltme suyunun çözülmüş oksijen değeri (mg/l)
D <sub>1</sub>	Seyreltmeden 15 dakika sonraki çözülmüş oksijen değeri (mg/l)
D <sub>2</sub>	5 gün inkübasyondan sonra çözülmüş oksijen değeri (mg/l)
D <sub>c</sub>	Orijinal seyreltme suyunun çözülmüş oksijen değeri (mg/l)
F	Besi maddesi giriş hızı [(kg BOİ)/(gün)]
f	(D <sub>1</sub> 'deki aşı)/(B <sub>1</sub> 'deki aşı)
f <sub>m</sub>	Çamur yükleme faktörü [(kg BOİ)/(gün)]
f <sub>m</sub> '	Çamur yükleme faktörü [(kg BOİ)/(kg HTUAK)(gün)]
I <sub>v</sub>	Bir gram HTAK'ın kapsadığı hacim (ml)
Q <sub>b</sub>	Havalandırma tankına gelen debi (m <sup>3</sup> /gün)
Q <sub>r</sub>	Havalandırma tankına geri verilen çamur akış hızı (dm <sup>3</sup> /st)
Q <sub>v</sub>	Hidrolik yük (l/gün)

## SİMGELER DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>A ç ı k l a m a l a r</u>
P	Kullanılan örnek hacim kesri=Atıksu hacmi/ BOİ <sub>5</sub> şişesi hacmi
r	Çamur geri devir oranı
S	Orijinal örneğin çözünmüş oksijen değeri(mg/l)
S <sub>o</sub>	Havalandırma basamağına gelen atıksuyun BOİ <sub>5</sub> değeri(mg/l)
S <sub>e</sub>	Sistem çıkışındaki besi maddesi(mg/l)
t <sub>r</sub>	Havalandırma tankında kalış süresi (St.)
V	Havalandırma tankı hacmi (m <sup>3</sup> )
X	Havalandırma tankında askıda katılar (mg/l)
X'	Havalandırma tankında ucucu askıda katılar (mg/l)

## KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>A ç ı k l a m a l a r</u>
AKM	Askıda katı madde
APHA	American Public Health Association
AET	Avrupa Ekonomik Topluluğu
BOİ <sub>5</sub>	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (mg/l)
ÇHİ	Çamur hacim indeksi (ml/mg)
ÇKMH	Çökebilen katı madde hacmi (ml/l)
ÇYİ	Çamur yoğunluk indeksi (mg/l)
DSİ	Devlet Su İşleri
HTAK	Havalandırma tankında askıda katılar (mg/l)
HTUAK	Havalandırma tankında uçucu askıda katılar (mg/l)
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
JWPCF	Journal of Water Pollution Control Federation
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/l)
KSUAK	Karışım sıvısı uçucu askıda katılar(mg/l)
MLSS	Mixed liquor suspended solids (mg/l)
MLUSS	Mixed liquor volatile suspended solids (mg/l)
NATO	Kuzey Atlantik Paktı
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SVI	Sludge volume index (ml/mg)
TAKM	Toplam askıda katı madde(mg/l)
TOK	Toplam organik karbon (mg/l)
TUAKM	Toplam uçucu askıda katı madde(mg/l)



## KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>A ç ı k l a m a l a r</u>
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
UAK	Uçucu askıda katılar(mg/l)
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
VSS	Volitile suspendet solids(mg/l)
ZSF	Zehirlilik seyrelme faktörü.

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu, yeryüzünde ortaya çıkışından bu yana kendi ihtiyacını karşılayabilmek için devamlı arayış içinde olmuş, bilim ve teknolojiyi geliştirerek sanayileşmeye daha çok önem vermiştir. Sanayileşme bir yandan doğal kaynakları kullanarak ürün verirken, bir yandan da çeşitli sorunları beraberinde getirmiş ve çevre kirliliği bu sorunların en önemlilerinden biri olarak ortaya çıkmıştır.

Günümüzde endüstrileşme sonucunda atık miktarlarının devamlı artması; fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenlerle çevrenin doğal durumunun giderek bozulması; bitki, hayvan, insan ve tüm canlıların yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir.

Hızlı kentleşme ve sanayileşme sonucu hava ve su kirliliği, toprağın kirlenmesi ve taşınması gibi çevre sorunları ülkeleri özellikle son yıllarda, çevrenin korunması yönünde daha etkin tedbirler almaya zorlamaktadır.

Bilhassa, toplumsal yapının, bilim ve teknolojinin, ayrıca çevre kirliliği denetim mekanizmalarının belirli bir seviyeye ulaşmış olduğu gelişmiş ülkelerde; gelişmekte olan ülkelere nazaran, çevre kirliliğine yaklaşım daha sağlıklı ve bilinçli olmaktadır.

Çevre kirliliği artık yalnız bir ülkenin kendi sorunu olmaktan çıkmış bütün ülkeleri hep bir arada karar almaya yöneltmiştir. Konu başta Birleşmiş Milletlerin gündemine girmiş, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) kurulmuş ve ardından, NATO, Avrupa Konseyi, OECD, AET vb. birçok uluslararası kuruluşlar çevre ile ilgili konularda kararlar almışlardır(Karman, 1990).

Çevre kirliliğinin bugün ulaştığı düzey, atıkların arıtım işlemleri sonrasında alıcı ortamlara verilmesini

zorunlu kılmakta ve önlemlerin öncelikle endüstriyel ve evsel atıklara yönelik olarak alınması gerektiği konusunda görüş birliğine varılmaktadır. Ancak, atık arıtma gayesiyle kurulmak istenen tesislerin kâr amacı gütmemesi, bu yönde yapılacak yatırımların işletmelere yüksek mali yükler getirmesi, bu alana yatırım yapılmasını engellemekte veya geciktirmektedir.

Mevcut endüstriyel tesisler için çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla alınabilecek en etkin önlemin arıtım tesislerinin kurulması olduğu açıktır. Yeni kurulacak tesisler için ise atık miktarları daha az olan süreçlerin (proseslerin) seçimi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca endüstriyel tesislerin, arıtım tesisleriyle birlikte kurulmasında, ekonomik ve teknolojik açıdan yarar görülmektedir.

Her ne şekilde olursa olsun çevre kirliliği tüm dünya için öncelikle çözümlenmesi gereken bir sorun haline gelmiş, Akdeniz gibi büyük bir iç denizin kirlenmesinden söz edilir olmuştur. Ancak, sevindirici olan nokta, bilhassa son Çernobil nükleer kazasından sonra, kamu oyunun bilinçlenmesi şeklinde soruna sahip çıkılması, yasa ve yönetmelikler çerçevesinde uygulamaya dönük daha etkin önlemlerin alınmaya başlanmasıdır(Çevre Kanunu Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Resmi Gazete, 1988), Tehlikeli ve Zehirli Maddeler Tebliği (Resmi Gazete, 1989)).

Ülkemiz açısından bakıldığında, Türkiye, 1960'lı yıllara kadar, temelde bir tarım ülkesi olarak orman, toprak ve hayvan varlığının önemi ile uyumlu politikalara ağırlık vermiştir. Sürdürülen modernleşme, sanayileşme ve kalkınma çabaları 1961 Anayasası ile plana bağlanmış ve yurdumuzda planlı kalkınma dönemi başlamıştır. Sanayileşmenin gelişmesiyle birlikte sanayiden kaynaklanan çevre sorunları da artarak büyümeye başlamıştır. Artan çevre baskıları, Türkiye'nin dışa açılması ve uluslararası ilişkiler, bu yönde birtakım tedbirler almayı zorunlu kılmıştır.

I. ve II. beş yıllık plân döneminde (1963-1967 ve 1968-1972) çevre sorunları dikkate alınmamıştır. III. Plân dönemi (1973-1977) ve 1978 ara programında ilk olarak çevre sorunları ile ilgili üst düzeyde koordinasyon ve yönetimden sorumlu bir Devlet Bakanlığı kurulmuş, çevre sorunları konusunda temel araştırmalar başlatılmış, ancak sanayi kuruluşlarının yer seçimi ve çevreyi kirletmeyecek teknoloji seçimine özen gösterilmesine yönelik tedbirler gerçekleştirilememiştir. IV. beş yıllık plân döneminde (1979-1983) ise sanayileşme modeline çevre konusunun entegre edilmesi düşüncesi benimsenmiş, Başbakanlık Çevre Müsteşarlığı kurulmuş ve 2872 Sayılı Çevre Kanununun çıkarılması, akademik kuruluşların çevre ile ilgili bölümler açmaları ve proje çalışmalarına katılmaları sağlanmıştır.

Çevre sorunlarına karşı kamuoyu duyarlılığının daha fazla arttığı V. plân döneminde (1983-1989) ise, çevre mevzuatı ile ilgili bazı çalışmalar tamamlanmıştır. Çevre kanunun öngördüğü, Çevre Kirliliği Önleme Fonu Yönetmeliği, 2 Kasım 1986, Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 11 Aralık 1986, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 4 Eylül 1988 vb. ve bazı tebliğler yayınlanmıştır.

#### 1.1. Su Kirlenmesinin Önemi

Çevre kirliliği kapsamı içerisinde yer alan su kirliliği; su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif, ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan ya da dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, balıkçılıkta, su kalitesinde, suyun diğer amaçlarla kullanımında engelleyici bozulmalar yaratacak madde ya da enerji atıklarının boşaltılmasını içerir(Resmi Gazete, 1988).

Suların çeşitli kullanımlar sonucu kirlenerek kaybettikleri fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını tekrar kazanabilmesi ve döküldükleri alıcı ortamın doğal, fiziksel, kimyasal,

bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale gelebilmesi için arıtılması gerekmektedir.

## 1.2. Kağıt Fabrikaları Atıksularının Önemi

Kağıdın temel maddesi olan selüloz odun, saman, eski kağıt, paçavra vd. gibi ham maddelerden çeşitli yöntemlerle elde edildikten sonra ağartılmaksızın ya da ağartılarak kağıt üretiminde kullanılır. Kağıt üretimi, kağıt hamurlarının uygun oranlarda elyaflı olmayan katkı maddeleriyle karıştırılması ve istenen özellikte bir tabaka oluşturulması suretiyle gerçekleştirilmektedir. Bu ürünler genelde katkısız kağıt, kitap kağıdı, ince kağıt, kalın kağıt ve özel türler olarak sınıflandırılır.

Kimyasal kağıt hamuru ve mekanik kağıt hamuru karışımlarından üretilen kitap kağıdı ya da basımda kullanılan kağıtlarda parlaklığı sağlamak için uygun bir dolgu maddesi olarak kil ya da kalsiyum karbonat ve beyazlığı artırmak için titanyumdioksit kullanılır. Temel kirlilik, dolgu ve kaplama süreçlerinden gelen minerallerden, lifli parçacıklar ilavesiyle oluşan askıda katı maddelerden (AKM) ileri gelir. Bu tip üretimde biyokimyasal oksijen ihtiyacı ( $BOI_5$ ) oldukça yüksektir.

Dekoratif kağıt, tuvalet kağıdı vb. gibi kağıtları kapsayan ince kağıt; kimyasal kağıt hamuru ve değişik miktarlarda lif içerir. Bu tip üretimlerde oluşan atıksularda, kimyasal pıhtılaştırma yöntemiyle, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve çökebilen katı madde hacmi (ÇKMH) azaltılır. Karton, mukavva, inşaat kağıdı vb. yi kapsayan kalın kağıtların üretiminde oluşan atıksulardaki temel kirlilik askıda katı maddelerdir.

Çok su kullanan endüstriyel faaliyetler içinde yer alan kağıt sanayii, kullanılan suyun büyük bir kısmını kirlenmiş olarak atmaktadır. Bilhassa selüloz üretiminde su kullanımı ve atıksulardaki kirletici yükleri daha fazladır. Sülfite yöntemiyle bir ton selüloz üretiminde

oluşan kirlilik, 2500-5000 kişinin çevreye verdiği kirliliğe eşdeğerdedir. Bu değer sülfat yöntemiyle selüloz üretiminde daha düşüktür.

Kağıt fabrikaları atıklarının özellikleri; askıda katılar, çözünebilen organik maddeler, estetik kirlilik, canlıların zehirlenmesine neden olan kirlilik ve çözünebilen inorganik maddeler olmak üzere beş ayrı grupta incelenebilir(Billings, 1984).

Askıda katılar: Kabuk parçalarından, lifli parçacıklardan, kaplama ve dolgu maddelerinden ileri gelen katılar kağıt fabrikası atıksularında bulunur. Çökebilen katılar toplam askıda katı (TAKM) yükünün %75-90'ını oluşturur. Bunlar alıcı suyun hızı düşük olduğunda, çamur halinde birikip dibe çökerek hoş olmayan kokuya neden olabilirler. Çökmeyen kolloidal parçacıklar alıcı suda güneş ışığından yararlanarak kendi kendini temizleme özelliğini azaltır.

Çözünebilen organik maddeler: Selülozik lifler, kağıt hamuru yapımında kullanılan, ağaç kütüğünden alınması istenen tek maddedir ve doğada kütüğün yaklaşık yarısı lifsiz yapıdadır. Dolayısıyla kullanılan kağıt hamuru sürecine bağlı olarak organik maddelerin %50'si deşarj edilebilir. Bu atığın önemli bölümü lignin, odun şekeri, karbonhidratlar ve diğer bileşiklerden oluşur. Bu maddeler sudaki mikroorganizmalara besin maddeleri olurlar. Eğer atık küçük miktarlarda ve düzenli olarak deşarj edilirse yararlı bile olabilir. Fazla miktarlar sudaki mikroorganizmaların aşırı büyümesine ve bu büyüme sırasında oksijen tüketimine neden olur. Çözünmüş oksijenin tamamı kullanıldığında anaerobik bakteriler aktif hale gelerek çürüme başlar ve kötü koku oluşur. Yüksek derişimler nehir yatağındaki çamuru artırır. Çamur artışı sonucunda biyolojik denge bozulur.

Estetik kirlilik: Renk, köpük, bulanıklık, kil ve titanyumdioksit parçalarından oluşur. Çökebilen ve yüzebilen maddeler birincil arıtımla giderilir.

Sudaki canlıların zehirlenmesine neden olan kirlilik: Daha çok kağıt hamuru ve onu izleyen kağıt üretiminden kaynaklanan maddelerdir. Kağıt hamurunun ağartılmasında kullanılan klor ve sodyum hidroksitinin sodyum klorürün elektroliziyle üretiminde cıva kullanılabilir (İzmit'te olduğu gibi). Cıvanın su kirletici olarak izlediği en tehlikeli yol, cıvanın metilasyona uğraması yani metil cıvaya dönüşmesidir. Böylece cıva gıda zincirine katılarak buradan balıklara ve insanlara geçtiğinde ölüme neden olur. Cıva hücre yönetiminde antimuan, arsenik, kadmiyum, krom, bakır, kurşun, nikel, gümüş, talyum ve çinko gibi ağır metaller atık olarak çıkar. Bunların su yaşamına olan zehirli tesirleri pH, çözünmüş oksijen ve ortamdaki çeşitli minerallerin derişimine göre değişir (Mert, 1990).

Çözünebilen inorganik maddeler: Bu tür maddeler kağıt endüstrisinde pek az sorun yaratır. Atıksulardan gelen klorür miktarının alıcı suda artması suyun korozyon etkisini artırır. Çözünmüş inorganik ve organik maddelerin deriştirilip, ayrılması ve suyun tekrar fabrikada kullanımı için ileri yöntemler kullanılabilir. Ancak bu pahalıdır ve tecrübe gerektirir.

Türkiye'de geçerli olan selüloz, kağıt, karton ve benzeri sanayilerin atıksularının alıcı ortama deşarj standartları Çevre Kanunu uyarınca çıkartılan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğindeki 13-1'den 11'e dek olan çizelgelerde verilmiştir(Bkz. Ek açıklamalar A). Tüm çizelgelerde ortak olan parametreler  $BOI_5$ , kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve çökebilir katı maddedir. Debi, AKM ve ZSF parametreleri için sınırlar yalnız selüloz üretimi için verilmiştir. Kağıt endüstrisi atıksularının arıtılmasında fizikokimyasal ve biyolojik arıtım yöntemlerinden yararlanılmaktadır.

Fizikokimyasal yöntemler içinde en yaygın kullanılanı dekantasyon ya da çöktürmedir. Ayrıca yüzdürme ya da flotasyon yöntemi de geniş bir uygulama alanı bulmaktadır.

Her iki yöntemde de atıksudaki asılı katı maddeleri yumaklaştırıcı olarak; alüminyum sülfat, sodyum alüminat, polietilenimin vb. türlerde polielektrolitler kullanılmaktadır.

Biyolojik arıtım yöntemleri için aktif çamurlar, bakteri yatakları ve havalandırılmış göletlerden yararlanılmaktadır. Bu yöntemler tümü mikroorganizmaların kontrollu olarak üretilmesiyle, atıksulardaki organik maddelerin ayrıştırılması esasına dayanmaktadır.

### 1.3. Çalışmanın Amacı

Bugün ülkemizde değişik üretim kapasitelerinde olan otuz adet kağıt fabrikası mevcuttur. Kağıt fabrikalarının atıksu parametreleri üretim cinslerine göre değişiklikler arz etmektedir. Arıtım sistemlerinde yeni süreçlerle atıksuların kirlilik parametre değerlerini düşürmek için yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Üniversitemizin Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünde de çeşitli endüstri kuruluşlarının atıksularının arıtılması üzerinde bilimsel çalışmalar yapılmaktadır (Akdeniz, 1985; Gürbüz, 1985; Selek, 1988; Üztürk vd. 1989; Yeğin ve Özdemir, 1988; Uygan, 1989).

Uygan(1989) tarafından Bozüyük yöresinde işletme halinde bulunan bir kağıt fabrikasının atıksularının bazı parametrelerinin, SKKY'nin belirlediği sınır değerlerinin üstünde olduğu tesbit edilmiştir. Aynı çalışmada, kağıt fabrikası atıksularının pıhtılaştırma-yumaklaştırma yöntemi kullanılarak arıtımında, AKM, pH, ÇKMH; SKKY'nin sınır değerinin altına indirilebilmiş ancak, KOİ ve BOİ<sub>5</sub> değerlerinde azalma görülmesine rağmen SKKY'nin öngördüğü sınır değerlerin altına düşürülemediği görülmüştür.

Tez konusu olarak aynı kağıt fabrikasının atıksuyunun KOİ ve BOİ<sub>5</sub> değerlerinin sınırların altına düşürülmesi seçilmiştir. Bunun için işletmeden 2 ve 24 saatlik kompozit ham atıksu örnekleri alınması,



$FeCl_3 \cdot 6H_2O$  ve  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  pıhtılaştırıcılarının kireçle karışımları kullanılarak pıhtılaştırma-yumaklaştırma deneyleri yapılması; bunda sonuç alınamazsa diğer arıtım yöntemleri uygulanarak,  $KOI$  ve  $BOI_5$  değerlerinin SKKY'nin öngördüğü sınır değerlerin altına düşürülmesi hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçların işletmede mevcut ancak gerekli düzeyde arıtımın gerçekleştirilemediği arıtım tesisine uygulanabilirliğinin irdelenmesi de amaç edinilmiştir.

#### 1.4. Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Bozüyük yöresi sanayi tesislerinin atıksularının arıtılması ile ilgili olarak İTÜ Maden Fakültesi Çevre Hazırlama Kürsüsünce Mayıs 1978'de bir seramik fabrikasının atıksularından değişik zamanlarda numuneler alınarak çöktürme deneyleri yapılmıştır. Arıtım için kullanılan 0,5 g/l civarındaki sodyumhidroksit, alüminyum sülfat ve kireç gibi inorganik çöktürücülerin, çökme hızını ve suyun berraklığını artırdığı görülmüştür. Atıksuların katı miktarının 1,5-13 kg/m<sup>3</sup>, debisinin 8-12 m<sup>3</sup>/st arasında değiştiği tesbit edilmiştir. Organik pıhtılaştırıcı olarak American Cyanamid firmasının superfloc 220 isimli polielektrolitinden 0,1-0,4 mg/l değerinde kullanılarak çok uygun çökme ölçülmüştür (Bayraktar vd., 1978).

Bu yöredeki endüstriyel atıksuların özelliklerinin belirlenmesi ve pıhtılaştırma-yumaklaştırma ile arıtımına yönelik diğer bir çalışma ise üniversitemizin Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümünde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, üç ayrı seramik fabrikası ve saf selülozdan üretim yapan kağıt fabrikasının atıksularının özellikleri belirlenmiştir. Pıhtılaştırıcı olarak  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ve  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  kullanılarak seramik fabrikalarından birisi ile kağıt fabrikası atıksularında pıhtılaştırma-yumaklaştırma deneyleri yapılmıştır. Kullanılan çöktürücülerden superfloc'un 0,20-0,40 mg/l ve  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 'ın 100-1000 mg/l dozlarının,

seramik fabrikası atıksularında parametreleri SKKY sınır değerlerin altına indirdiği belirlenmiş,  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 'ın 200 mg/l dozunda en hızlı çökelme gerçekleştirdiği ve en berrak su elde edildiği görülmüştür.

Kağıt fabrikası ham atıksularında kullanılan pıhtılaştırıcıların tümüyle de KOİ düşmekle beraber sınır değerlerin altına inmediği belirlenmiştir. Yine superfloc ve  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 'ın birlikte kullanımı denenerek, ayrı ayrı kullanımlarına göre bir üstünlük sağlamadığı görülmüştür(Uygan, 1989).

Bozüyük yöresindeki endüstriyel atıksularla daha önceden yapılan başka bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla beraber Eskişehir yöresindeki bazı atıksular için değişik arıtım yöntemlerine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Eskişehir Sümerbank Basma Fabrikasının Porsuk çayını kirletme durumu belirlenmiş, ayrıca kirlilik doğurabilecek parametrelerin 1380 Sayılı Su Ürünleri Yasasının öngördüğü standartlara uyabilmesi için gerekli olan seyrelme oranları hesaplanmıştır(Enuysal, 1977).

Porsuk çayı üzerinde, kaynaktan Sakarya nehrine kadar on örnekleme noktası seçilmiş ve bu noktalardan bir ay aralıkla alınan örnekler ve ayrıca Porsuk çayına karışan endüstriyel sıvı atıklardan alınan örnekler analiz edilerek kirlilik belirleme çalışmaları yapılmıştır (DSİ, 1980).

Eskişehir'in bazı evsel ve endüstriyel atıksuları ile; aktif kömür, odun kömürü ve linyit kömürü gibi adsorbanlar kullanılarak arıtım deneyleri yapılmıştır. Evsel atıksu ile yapılan çalışmalarda permanganat tüketimi (organik madde) açısından %67 arıtım sağlanmıştır. Kolonda adsorban olarak linyit kömürü kullanılarak çok yüksek olmayan endüstriyel atıksu geçiş hızlarında, %50'nin üstünde arıtım sağlanmıştır(Akdeniz, 1989).

Yine, Eskişehir'in bazı endüstriyel ve evsel atıksularında fizikokimyasal çöktürme yöntemiyle arıtım çalışmasında  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , lületaşı ve uçucu kül gibi çöktürücüler kullanılmış, yalnız permanganat tüketimine bakılarak uygun çöktürücü ve dozunun saptanamayacağı belirlenmiştir. Evsel atıksuyun çöktürülmesinde kireçle birlikte  $\text{Fe}^{2+}$  iyonu kullanarak %57 arıtım gerçekleştirilmiştir (Gürbüz, 1985).

Selek (1988) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada; bazı evsel ve endüstriyel atıksular aktif çamur yöntemiyle arıtılmıştır. Arıtım laboratuvar ölçekli bir deney düzeneğinde yürütülmüştür. Biyolojik arıtmadan önce mekanik arıtım sağlanmıştır. Besleme hızı, kalış süresi ve çamur geri devir oranı sabit tutularak, evsel atıksulara artan oranlarda endüstriyel atıksular karıştırılarak,  $\text{BOI}_5$  giderimi %80-96 ve  $\text{KOİ}$  giderimi %86-98 arasında, askıda katılarda, toplam katılarda ve renkte de önemli ölçüde giderim sağlanmıştır.

Eskişehir'de bir pamuklu tekstil fabrikası atıksuyunun kimyasal pıhtılaştırma ve adsorpsiyon yöntemleri ile arıtılması üzerinde yapılan bir çalışmada, alınan atıksu örneklerinin çok kirli olduğu, 1380 Sayılı Su Ürünleri Yasası (1971) uyarınca her yıl yayınlanan sirkülerde yer alan sınır değerlerin çoğunun bu atıksularda aşıldığı gözlenmiştir. Pıhtılaştırma-yumaklaştırma ile arıtım deneylerinde çöktürücü olarak  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ve uçucu kül kullanılmıştır. Kimyasal oksijen ihtiyacı ( $\text{KOİ}$ ) gideriminde düşük dozlarda (100 mg/l)  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ün, yüksek dozlarda (1000 mg/l)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 'ün daha etkin olduğu; buna paralel olarak biyolojik oksijen ihtiyacı ( $\text{BOI}_5$ ) ve pH değerlerinde de azalma olduğu görülmüştür (Yeğin ve Üzdemir, 1988).

Yine aynı pamuklu tekstil fabrikasının atıksuyunda yapılan diğer bir çalışmada kimyasal pıhtılaştırıcı olarak kullanılan  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ile istenen arıtımın sağlandığı, 100 mg/l  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 'ün

bile KOİ ve pH değerlerini SKKY'nin öngördüğü sınır değerın altına indirdiği görülmüştür. pH değerinin SKKY'nce öngörülen sınır değerın altına inmemesi için  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 'ın 700 mg/l ve  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 'ün 450 mg/l'den daha fazlasının kullanılmaması gerektiği belirlenmiştir(Üztürk vd., 1989).

Doğan (1989) bir pamuklu tekstil fabrikası atıksuyunun karakter belirleme ve adsorpsiyon yöntemiyle arıtımını incelemiştir. Adsorpsiyonla arıtımda aktif karbon, cüruf ve perlit adsorbon olarak kullanılmıştır. Aktif karbonun cürufa göre daha iyi renk ve pH giderdiği, cürufun ise aktif karbona göre daha iyi KOİ giderdiği anlaşılmıştır. Her iki adsorbonla kirlilik parametreleri SKKY'nin sınır değerleri altına düşürülebilmştir. Cürufun çok daha ucuz olması, tekstil atıksularının arıtımında daha uygun olabileceği sonucuna varılmıştır. Perlit ise tekstil atıksularında gerekli arıtımı sağlayamamaktadır.

Diğışik çamur yükleme hızlarında karbonlu maddelerin yükseltgenmesi için oksijen gereksinmesi arasındaki ilişkiler, tam karıştırmalı, piston akışlı ve çok kademeli tanklarda incelenmiş, bulunan bu değerler daha önce bulunan sonuçlarla karşılaştırılarak, çözünmüş oksijen ve oksijen verme hızı arasındaki ilişkiye değinilerek en uygun sistemin aktif çamur sistemi olduğu belirlenmiştir(Vosloo, 1973).

Günlük çalışma koşullarında; havalandırma tanklarından çıkan atık gazdaki oksijen ve karbondioksit derişimlerinden, aktif çamur sisteminde hava dağıtıcısı verim değerlerinin hesaplanabileceğinin anlatıldığı bu çalışmada, beş ayrı arıtım tesisinde hava dağıtıcısı verimi üzerine yeni bir formül geliştirilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır (Sekizawa, et al., 1989).

Havalandırma tankı ve çöktürücüden ibaret bir sistemde; alüminyum sülfat beslemesi yapılmadan, alüminyum sülfat beslemesi yapılarak ve geri devir akımına alüminyum

sülfat beslemesi yapılarak, azot, fosfor,  $KO_2$  ve  $BO_5$  giderimi sağlanmıştır(Wruble, et al., 1974).

Biyokimyasal yükseltgeme hızı, laboratuvar ölçekli, pilot ölçekli ve tam ölçekli aktif çamur süreçlerinde incelenmiştir. geliştirilen eşitliğin tek ve çok kademeli süreçler için klasik aktif çamur yöntemi çalışma koşullarında geçerli olduğu gösterilmiştir. Fenol ve fenol-formaldehit içeren atıksular kullanılarak besi maddesi uzaklaştırma kinetiği üzerinde çalışılarak %96'ya varan  $KO_2$  giderimi sağlanmıştır(Suschka, 1980).

Bir respirometre kullanılarak, cıva, krom, bakır, çinko ve alüminyum bileşiklerinin  $BO_5$  üzerindeki zehirlilik etkisi incelenmiştir. Bu bileşikler, ortama verildiğinde, havalandırma sistemindeki  $BO_5$  ve bakteri büyümesi negatif olarak etkilenmektedir.  $HgCl_2$   $6g/m^3$ ,  $HgSO_4$   $9g/m^3$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$   $40g/m^3$ ,  $K_2Cr_2O_7$   $30g/m^3$ ,  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$   $200g/m^3$ ,  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$   $400g/m^3$  değerinde olduklarında bu metal bileşiklerinin tam olarak zehir etkisi gösterdiği belirlenmiştir (Berkün, 1982).

Kesikli çalışan biyolojik arıtım sisteminde çeşitli endüstri atıksularının kirlilik derişimi değişiminin bakterilerin solunum etkinliklerine etkisi, çalışma solunumu ve özgül solunum etkinlik ölçümleri ile incelenmiş ve biyolojik indirgenebilirlikleri araştırılmıştır. Yağ, bira, gıda ve kağıt endüstri atıksularının kentsel arıtım tesislerinde kolaylıkla biyolojik olarak indirgenebileceği, petrol ve metal endüstrileri atıksularının kentsel arıtım tesislerinde arıtılamayacağı sonucuna varılmıştır(Kestioğlu ve Şengül, 1983).

Endüstri atıksularının evsel atıksularla birlikte arıtılabilmelerinin indirgenebilirlik faktörü yardımı ile belirlendiği bir çalışmada, yüksek bir arıtım verimi sağlayan aktif çamur sistemi kullanılmış ve birlikte arıtımın ayrı ayrı arıtmadan daha ekonomik olduğu vurgulanmıştır(Samsunlu, 1980).

Elbe nehrine verilen organik yükün %15'inden sorumlu olan bir kağıt hamuru ve yapay ipek fabrikasıyla bir sıvı yağ fabrikası atıksularının, evsel atıksularla birlikte arıtımının ele alındığı bir çalışmada; laboratuvar ölçeğindeki aktif çamur deney düzeneğinde bu üç atıksu, ön arıtımlardan sonra sırayla 10/1, 7/1 oranında karıştırılıp dört saatlik kalış süresi ve çamur indeksinin  $250 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  olacağı şeklinde çamur geri devri ayarlanarak çalışıldığında  $\text{BOI}_5$ 'de %60,  $\text{KOI}$ 'de %40 azalma sağlanmıştır. Aynı atıksularda ancak bu kez pilot tesiste yapılan deneylerde kalış süresi 6,6 ve 3,2 saat seçilmiş ve  $\text{BOI}_5$  giderimi sırayla %90 ve %80 olarak bulunmuştur. Ayrıca birlikte arıtımın ilk yatırım maliyetinde önemli bir avantajı yoksa da işletme giderlerinde %30 daha az bir maliyetin söz konusu olduğundan bahsedilmiştir (Schlichting et al., 1980).

Tek ve çok bölümlü sistemlerde üretilen aktif çamurun çökeltme özellikleri; atıksuda değişik  $\text{BOI}_5/\text{N}$  oranlarında ve 24 saatlik hidrolik kalış süresinde araştırılmıştır. Çok bölümlü sistemin daha iyi bir arıtım kalitesine sahip olduğu gibi  $\text{BOI}_5/\text{N}$  oranı 130/1 değerini aşmadığında daha yüksek çamur çökeltmesi sağlandığı gösterilmiştir (Wu, et al., 1984).

Özgen ve Sürücü (1983) kanalizasyon suyunun fiziko-kimyasal yöntemle arıtılmasında, kullanımı yaygın olan alüminyum sülfat ve  $\text{NaAlO}_2$  (Sodyum alüminat) kullanarak, Heberlee (Belçika) şehri kanalizasyon atıksuyunda bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Laboratuvar ölçeğinde ve paralel olarak çalıştırılan sürekli akımlı pilot tesislerde yapılan deneyler sodyum alüminatın alüminyum sülfata göre daha az verimli olduğunu göstermiştir. pH aralığının sodyum alüminat için daha dar olduğu, suyun sistemde kalış süresinin, yumaklaştırıcı seçimi ve çamur arıtımı açısından önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir.

Doğal bir şap minareli olan alünitin  $[KAl_2(SO_4)_2(OH)_6]$  kalsine edilip ya da kalsine edilmeden sülfürik asitle reaksiyona sokulduktan sonra pıhtılaştırıcı madde olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir. Deneyler kil ile bulanıklık ve sodyum karbonatla alkaliğin sağlandığı yapay atıksularda yürütülmüştür. Kalsine alünitin, alüminyum sülfata göre daha etkin bir pıhtılaştırıcı olduğu anlaşılmıştır. Fakat alüminyum sülfattan beş kez daha pahalı olması nedeniyle ekonomik olmadığına karar verilmiştir. Sülfürik asitle reaksiyona sokulmuş alünitin (silisli süspansiyon) ucuz olması nedeniyle alüminyum sülfatın yerine kullanılabilmesi öne sürülmüştür(Şengil, 1983).

Pıhtılaştırma-yumaklaştırma yöntemiyle evsel atıksu ve yapay olarak kirletilmiş nehir suyu üzerinde yapılan bir çalışmada; temel pıhtılaştırıcı olarak alüminyum sülfat ile demir(III) klörür, yardımcı pıhtılaştırıcı olarak da katyonik ya da anyonik polielektrolitler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, nehir suyu arıtımında polielektrolitlerin kullanımını açısından ümit verici bulunmuştur(Çelebi ve Yeşilnacar, 1988).

Tekstil sanayii atıksularında, çöktürücü olarak demir(II) sülfat, alüminyum sülfat ve uçucu kül kullanılarak, organik madde ve renk giderme konusunda bir çalışma yapılmıştır. Renk gidermek için aktif karbon ve sodyum hidrosülfid ( $Na_2S_2O_4 \cdot 2H_2O$ ) de denenmiştir. 2 g/l alüminyum sülfatla KOİ'de %85, renkte %39 giderim sağlanmıştır. 1 g/l demir(II) sülfatla KOİ'de %78 ve renkte %38 giderim, 6 g/l uçucu küle KOİ'de %75 ve renkte %36 giderim sağlanarak, uçucu külün tekstil sanayi atık sularında renk gidermede alüminyum sülfat ve demir (II) sülfat kadar verimli olduğu gözlenmiştir(Şengül, 1983).

Pıhtılaştırma-yumaklaştırma-çökeltme yöntemiyle boya endüstrisi atıksuları arıtımında üstte kalan atıksu, evsel atıksu ile 2/1 oranında karıştırılarak aktif çamur ile arıtılmış ve %95 tesis arıtım verimine ulaşılmıştır(Baban ve Çamlılar, 1986).

Aktif çamur bakterilerine zehirli etki yapan kirleticileri elimine etmek için atıksuya toz aktif karbon eklendiği, Cr(VI) için toz aktif karbonun adsorplama kapasitesinin aktif çamurdan daha fazla olduğu, ilk andaki adsorpsiyonun 30 dakika sonundaki değerin %66'sı değerinde olduğu, toz aktif karbon ilavesiyle Cr(VI)'ın bir günde geri kazanıldığı, toz aktif karbon ilave edilmediğinde geri kazanma için yedi günden fazla zaman gerektiği belirtilmiştir(Sang et al., 1988).

Evsel kaynaklı karışık bir atıksu büyük taşınabilir bir sistemde 750 mg/l toz karbon 50 mg/l katyonik pıhtılaştırıcı ilavesiyle durultma işleminden sonra diatomit içeren süzgeçten süzülerek arıtılmış ve bulanıklıkta %99,9; BOİ<sub>5</sub>'de %81 arıtım sağlanabilmiştir(Wang, 1977).

Pıhtılaştırıcı (flokülant) maddelerin içme suyu ve kullanma suyu hazırlanmasında, kolloidal bulanıklık ve renk veren maddelerin giderilmesinde çok önemli rol oynadığı; çökeltme davranışını iyileştirmede özellikle, metal tuzları ile organik polielektrolitlerin kullanımının iyi neticeler verdiği belirtilmiştir. Aşırı yükleme durumlarında, filtre işleminden önce pıhtılaştırıcı madde ilavesinin verimi artırdığı gözlenmiştir. Atıksu arıtımında pıhtılaştırıcı madde kullanımının biyolojik olarak arıtılmayan endüstriyel atıksularda önemli olduğu görülmüştür. Fosfor giderme amacıyla da bu maddeler kullanılabilir ve bu işlem sırasında üçüncül arıtımla erişilebilecek nitelikte atıksu elde edilebilecek şekilde BOİ<sub>5</sub>, KOİ ve bulanıklık giderimleri de sağlanabilmektedir. Çamurun mekanik işlenmesi sırasında özellikle pıhtılaştırıcı ilavesi olumlu etki yapmaktadır. Organik pıhtılaştırıcılar içme suyu hazırlamada kullanılacaksa monomer içermemelidir(Böhler et al., 1978).

Buraya kadar verilen çalışmalar bugüne kadar yapılmış çalışmaların ancak küçük bir bölümünden ibarettir. Günümüzde bu konu üzerinde araştırmalar yoğunlaşmış olup en çok çalışılan alanlardan biridir.



## 2. ATIKSUYU İLE ÇALIŞAN KAĞIT FABRİKASININ TANITIMI

Kağıt fabrikasında satın alınan saf selülozdan yola çıkılarak tuvalet, mendil, peçete, yüz temizlik kağıdı ve ofset baskı kağıdı gibi değişik türlerde kağıt üretimi yapılmaktadır. Selüloz üretimi ve eski kağıt kullanımı yoktur. Söz konusu bu üretimler iki ünite de gerçekleştirilmektedir.

### 2.1. Kağıt Üretim Ünitelerinin Tanıtımı

Kağıt fabrikası PM-1 ve PM-2 numaralı iki adet kağıt makinesine sahiptir. Makinelerin özellikleri kısaca aşağıda belirtildiği gibidir.

Makine No	: PM-1
Tipi	: PERIFORMIR LW-TISSUE MACHINE(TWIN WIRE)
İmalatçı firma	: VALMET-KMW/SWEDEN
Üretim cinsi	: Krepli temizlik kağıdı (tissue)
Gramaj ağırlığı	: 12-30 g/m <sup>2</sup> (Elek üzerinde %100 kuru)
Elek genişliği	: 3350 mm
Kağıt genişliği	: 3100 mm
Dizayn hızı	: 1600 m/dak (Elek-pres ve yankee silindirinde)
	: 1400 m/dak (Mal sarıcıda)
Üretim kapasitesi	: 75 ton/gün

Tissue makinesi ayrıca dört kata kadar müşterek sarım yapabilen JAGENBERG kombine bobin makinesi ve üretimin %70'ini işleyecek kapasitede konverting makineleri ile donatılmıştır(bkz.Ek-1).

Makine No	: PM-2
Tipi	: FOURDRINIER MACHINE
İmalatçı firma	: TAMPELLA-CARCANO/ITALY
Üretim cinsi	: Kuşesiz ofset baskı kağıdı

Gramaj ağırlığı	: 40-120 g/m <sup>2</sup>
Elek genişliği	: 3250 mm
Kağıt genişliği	: 2900 mm
Dizayn hızı	: 400 m/dak
Üretim kapasitesi	: 75 ton/gün
Size pres	: Mevcut

Ofset baskı kağıdı makinesi ayrıca CARCANO bobin makinesi ve JAGENBERG CONVO 316 arzani makas ile teçhiz edilmiştir(bkz. Ek-2).

### 2.1.1. Kağıt üretim işlemi hakkında kısa bilgi

PM-1 üretiminde %100 birincil elyaf (Virgin Pulp) ve makinenin kendi döküntüsü kullanılmaktadır. Hidro pulper'da açılan lifli hammadde öğütüm ve temizleme kademelerinden geçtikten ve üretim için gerekli kimyasal maddeler ilave edildikten sonra kağıt makinesi hamur kasasına beslenerek kağıt haline dönüştürülmektedir. Elek altı suları HEDEMORA diskli filitre üzerinden geçirilerek elyafları geri kazanılmakta ve diskli filtre berrak filtratı yeniden işlemde kullanılmaktadır. Vakum pompaları halka suları tekrar polidisk berrak filtrat bölmelerine basılmaktadır. Sistemden sadece polidisk berrak filtrat bölmesi taşıntısı ve santrifüjlü temizleme sistemi dördüncü kademe kaba çıkışı dışarı verilmektedir. Temiz su kullanımı 15-16 ton su/ton kağıt düzeyindedir.

PM-1'de olduğu gibi PM-2 üretiminde de %100 birincil elyaf ve makinenin kendi döküntüsü kullanılmaktadır. Pulper'da açılan lifli hammadde öğütüm ve temizleme kademelerinden geçtikten sonra gerekli katkı maddeleri dozajlanarak kağıt haline dönüştürülmek üzere kağıt makinesi hamur kasasına beslenmektedir. PM-2'de konvansiyonel tutkallama (Reçine+alüminyum sülfat) yapılmakta, dolgu maddesi olarak kaolen kullanılmaktadır. Ayrıca size preste modifiye nişasta ile yüzey tutkallaması yapılmaktadır. Bu makinede ikincil su sirkülasyonu etkili bir şekilde yapılmaktadır. Devirdaim deposu taşıntısı

endüstriyel atıksu buradan karıştırma tanklarına pompalanmakta ve bu tanklara aynı zamanda flokleştirici dozajlanmaktadır. Çöktürme havuzuna, havuz tabanının merkezine oturtulmuş tabandan 1,5 m yukarıda bulunan çevresel deliklerden giren kirli suyun, meydana gelen hız düşümü ile asılı tanecikleri tabana çökerken, berrak su yukarı doğru hareket ederek çökeltme havuzu radyal savağından taşıp bir ara depoda toplanmaktadır. Çökeltme havuzunun tabanına toplanan çamur sıyırıcı vasıtası ile havuz tabanı merkezindeki çukura yönlendirilmekte ve buradan da çamur pompaları ile emilerek filtre preslere ya da kum yataklarına basılmaktadır. Filtre preslerde ya da kum yataklarında kek haline getirilen çamur daha sonra katı madde çöplüğüne taşınmaktadır. Ara depoda toplanan berrak su basınçlı kum filtrelerinde filitreleme işlemine tabi tutularak son temizleme kademesinden geçirilmekte ve buradan temizlenmiş su deposuna basılmaktadır. Bu depoya aynı zamanda basınçlı hava da verilmekte deşarj bu deponun taşkanından yapılmaktadır.

Temizlenmiş atıksu deposu taşkanından deşarj edilen su bir debi ölçüm savağından geçtikten sonra kapalı bir kanalla takriben 2,5 km ötede Bozüyük Şehir kanalizasyonu ve diğer fabrikaların sıvı atıklarını taşıyan Kocadere'ye boşaltılmaktadır. Bozüyük'ün güney-batı istikametinden geçen bu dere 7-8 km sonra Bilecik-Bursa karayolu kavşağında Karasu'ya karışmaktadır.

### 3. ATIKSULARIN ARITIM YÖNTEMLERİ

Atıksular çeşitli mineral ve organik maddeleri ihtiva eder. Bunların bir kısmı dibe çökebilen ya da yüzeyde kalan çözünmemiş maddelerdir. Diğerleri ise değişik derişimlerde atıksuda çözünmüş olarak bulunurlar. Organik maddeler atıksulardan temizlenmediği sürece mikroorganizma ismi verilen küçük canlıların besi ihtiyaçlarını karşılarlar. Bu mikroorganizmaların arasında bulaşıcı hastalık mikropları bulunabileceği gibi, rahatsız edici kokular da yayarlar. Bu nedenle atıksulardaki sözü edilen çeşitli cinsten maddeler, fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle uzaklaştırılabilir. Bu yöntemler tek ya da beraberce uygulanarak atıksular, deşarj edildikleri alıcı ortamın özelliklerini bozmayacak şekilde tasfiye edilirler(Kor, 1974). Aşağıda temel atıksu arıtım yöntemleri kısaca tanıtılacaktır.

#### 3.1. Fiziksel (Mekanik) Yöntemler

Fiziksel arıtımda iri askıda maddeler, yüzebilen ve kendi ağırlığı ile çökebilen maddeler; ızgaralarla, kum tutucularla, mekanik çöktürme havuzları ile ya da yüzdürme yöntemleri ile uzaklaştırılır.

##### 3.1.1. Izgaralar ve kalburlar

Izgaralar, kanal ve boruları tıkayabilecek ya da pompalara zarar verebilecek döküntü, odun parçaları, büyük paçavralar gibi maddeleri tutarak taşıma hatlarını korur. Izgaralar genellikle kaba ve ince ızgara olarak sınıflandırılır. Delik açıklığı 5 cm'den büyük olanlar kaba ızgaralardır; bunlar büyük yüzen cisimleri, bez parçalarını tutarlar ve elle ya da motor ile çalışan

mekanik bir teçhizat ile temizlenirler. Delikleri 0,6 mm ya da daha küçük olanlar ince ızgaralardır. Bunlar ön arıtım için kullanılırlar. Çubuk ya da delinmiş levhalardan yapılırlar. Sabit, sürekli dönen ve tambur şeklinde olanları vardır. Kaba ızgaralarda her milyon litre atıksu başına 3,6-57 litre malzeme atıksudan ayrılır ve yüzebilen maddenin en fazla %1-3 kadarı bu ızgaralar ile tutulur.

### 3.1.2. Kum tutucular

Atıksudaki kendi kendine çökebilin inorganik maddeleri gidermek için kum tutucular kullanılabilir. Bunlar elle temizlenen, mekanik teçhizatlı, havalandırmalı, altı daralan yapıda, uzun dikdörtgen şekilli odalardır. Su hızını 0,15-0,30 m/s arasında tutacak şekilde projelendirilirler. Teorik olarak sadece kum, kül ve diğer yüksek yoğunlukta maddeler tutulur(Topacık, 1987).

### 3.1.3. Yağ tutucular

İçerisinde önemli miktarda petrol, gres, sabun ve yağ bulunduran atıksular, özel havuzlarda suya bir süre (3-15 dakika) hava verilerek, bu maddelerin hava kabarcıklarına yapışıp yüzeğe taşınması ile ayrılırlar. Az miktarda asit ve klor, bunların sudan ayrılmasını hızlandırır. Yağ ve benzeri yüzebilen maddelerin sulardaki miktarı genel olarak 1000 m<sup>3</sup> atıksu başına 7-28 dm<sup>3</sup> arasındadır. Bunlar ya toprağa gömülür ya da çamur çürütme tesisine verilir. Izgaralarda tutulan maddeler yanıcı ise birlikte yakılabilirler(Rudolfs, 1967).

### 3.1.4. Çöktürme havuzları

Atıksulardaki çökebilin maddeler çöktürme tanklarında sudan ayrılırlar. Çökelmeye tesir eden faktörler şunlardır: havuzun şekli, kullanılmış su karakterleri; atıksuların kirlilik dereceleri; tazelik; tanecik boy, şekil ve yoğunlukları; sıcaklık; endüstriyel atıksu ve işletme faktörleridir(Topacık, 1984).

### 3.2. Fizikokimyasal yöntemler

Atıksu arıtımında çözünmüş ve koloidal partiküller basit çökeltme ile kendiliğinden çökmezler. Kimyasal madde ilavesiyle, fiziksel arıtımda kendi ağırlığı ile çökemeyen katı maddelerin ve kolloidlerin suya yumaklaştırıcı maddeler ilave etmek ve karıştırmak suretiyle yumaklar halinde çökeltmeleri sağlanır.

Ayrıca nötralizasyon ya da pH ayarlaması gibi atıksuyun bazı özelliklerini düzeltme maksadıyla yapılan işlemler kimyasal arıtım olarak değerlendirilebilir.

Yaygın olarak kullanılan başlıca kimyasal maddeler (pıhtılaştırıcılar)  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$ ,  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ,  $CaO$  ve klorlu  $FeSO_4$ ' tır. Kimyasal arıtım işleminin verimi; pıhtılaştırıcı maddeye (koagülanta) ve atıksuyun özelliğine göre değişir. Ekonomik dozajlarda  $50 \text{ g/m}^3$  askıda katı madde değeri elde edilir. Daha yüksek dozajda pıhtılaştırıcı madde kullanılırsa askıda maddenin %90 ve  $BO_5$ 'nin %70 kadarı sudan ayrılabilir (Rudolfs, 1967).

### 3.3. Biyolojik Yöntemler

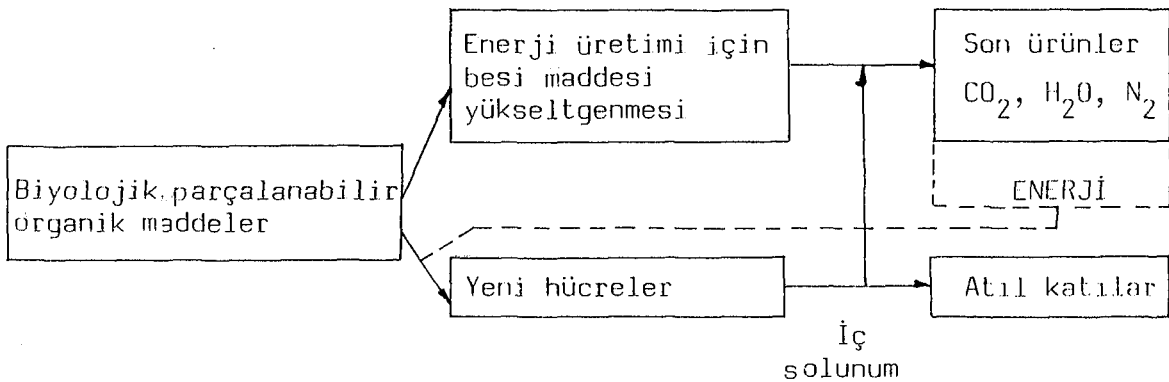
Fiziksel ve fizikokimyasal arıtım teknikleri ile giderilemeyen özellikle çözünmüş organik maddeler, biyolojik arıtım yöntemleri ile %99'a varan arıtım verimleri ile uzaklaştırılabilmektedir. Yüksek arıtım gücündeki biyolojik yöntemler günümüzde geniş şekilde kullanılmaktadır.

Biyolojik arıtımda atıksudaki organik maddeler, mikroorganizmalar tarafından besin ve enerji kaynağı olarak kullanılır. Atıksuda gelişen ve arıtımda önemli olan başlıca organizmalar; bakteriler, mantarlar, algler, protozoa, rotiferler, kabuklular ve virüslerdir. Organizmalar ve buna bağlı olarak arıtım, oksijen kullanımına göre ikiye ayrılır. Birinci grup moleküler oksijen kullanan ve onun bulunduğu ortamda yaşayabilen organizmalar (havalı);

ikinci grup ise moleküler oksijenin bulunmadığı yerlerde yaşayabilen organizmalardır(havasız). Mikroorganizmaların yaşamlarına etki eden başlıca faktörler; pH, sıcaklık, gerekli besi maddelerinin, eser elementlerin, yeterli oksijenin bulunması ya da bulunmaması ve uygun karıştırma-  
madır. Bunlar göz önüne alınarak çevre koşullarının düzenlenmesi ile atıkların arıtılması sağlanır.

### 3.3.1. Havalı sistemler

Atıksulardan alıcı ortama verilen organik maddece zengin atıklar, mikroorganizmalar tarafından besin ve enerji kaynağı olarak kullanılır. Katalizör görevini azot ve fosforun üstlendiği bu olaylarda, mikroorganizmalar sudaki çözülmüş oksijeni tüketirken organik maddelerin bir kısmını enerjiye dönüştürür, diğer bir kısmını ise yeni hücrelerin sentezinde kullanır(bkz. şekil 3.1).



Şekil 3.1. Organik maddelerin havalı-biyolojik olarak parçalanma mekanizması(TÜBİTAK Bülteni, 1985).

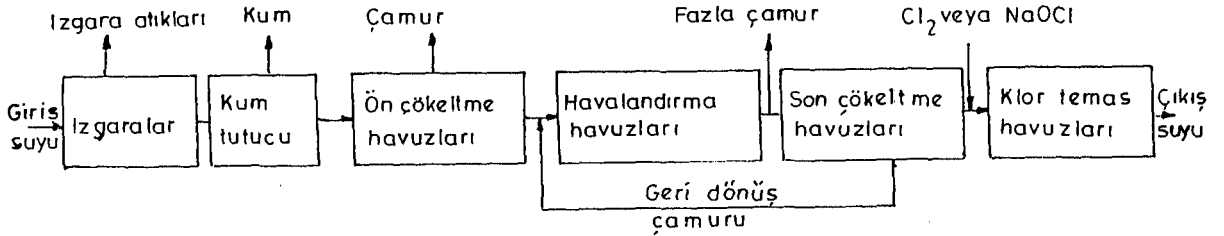
Ençok uygulanan havalı sistemler; aktif çamur yöntemi, damlatmalı filtreler ve oksidasyon havuzları olarak sınıflandırılabilir.

#### 3.3.1.1. Aktif çamur yöntemi

Asılı halde kolloid ve çözülmüş organik ve inorganik maddeler içeren bir atıksuda asılı haldeki mikroorganizmalara

aktif çamur denir. Aktif çamur işlemi, atıksulardaki kolloidal ve çözülmüş formlarda bulunan ve çökelmeyen maddeleri çökebilen biyolojik yumaklara dönüştürmektir.

Havalandırma havuzlarında, atıksulardaki organik madde giderilirken mikroorganizma(aktif çamur) miktarı artar. Bunun sistemden çekilmesi gerekir. Bu çekilen çamura "fazla" çamur denir(bkz. Şekil 3.2). Havalandırma havuzunda aktif çamur miktarını belirli bir seviyede tutabilmek ve daha iyi kalitede çökebilen çamur elde edebilmek için son çöktürme havuzunda çökelen çamurun bir kısmının tekrar havalandırma havuzuna verilmesi gerekir. Buna "geri devir çamuru" denir(bkz. Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Aktif çamur işlemi(Uğurlu ve Kalaoğlu, 1989).

Aktif çamur sistemlerinde mevcut mikroorganizmalar için uygun ortamın temin edilebilmesi ve etkili arıtımın sağlanabilmesi; kafi besi maddesi ve yeterli oksijen varlığı, uygun kullanılmış su sıcaklığı ve zehirli atıkların eliminasyonunun sağlanması ile mümkündür.

Aktif çamur sistemlerinin kontrolü için çözülmüş oksijen ölçümleri, günde en az bir defa karışım sıvısında, son çöktürme tankında ve geri devir çamurunda yapılır. BOİ<sub>5</sub> ölçümleri tesise giriş ve çıkışta günlük kompozit



numuneler üzerinde yapılarak arıtım tesisinin verimi bulunur. Çıkış suyunda bulunan azotun oksijen ihtiyacını tesbit etmek için periyodik  $BOI_5$  testlerine en az 20 gün devam edilmelidir.

KOI ölçümleri, evsel ve endüstriyel atıksuların karışımı söz konusu olduğu ya da daha çabuk yük tesbiti istenildiğinde tercih edilir. KOI ölçümü, sistemdeki organizmaların besi maddesi olarak kullanamadığı bir kısım endüstri atıkları için gerekli oksijen ihtiyacını da verdiği gibi, tesisin nasıl çalıştığı hakkında da bilgi verir.

Toplam organik karbon (TOK); uzun süre nehirlerin kirlilik seviyesinin bir ölçümü olarak kullanılmıştır. TOK derişimi KOI ve bazen  $BOI_5$  değerleri ile düzeltilir. TOK- $BOI_5$  veya TOK-KOI ilişkileri bilinirse kullanılabilen kontrol verileri elde edilmiş olur.

Katı madde tesbitleri; kontrol verisi olarak kullanılan çamur hacim indeksi (ÇHI) ve çamur yoğunluk indeksi (ÇYI) hesaplamasında askıda katı madde (AKM) ölçümleri kullanılır. Toplam askıda katı madde (TAKM), atıksuda ya da karışım sıvısında bulunan hem aktif bakteri kütlelerinin ve hem de inert materyalin ölçüsüdür. Toplam uçucu askıda katı madde(TUAKM) ise, karışım sıvısındaki aktif mikroorganizma kütlelerinin daha doğru miktarını verir ve F/M oranını hesaplamada kullanılır.

Besi maddesi/mikroorganizma (F/M) oranı: Bu oran tesisin verimliliği bakımından önemlidir ve haftada en az bir defa ölçülmelidir. Havalandırma havuzuna giren çökeltilmiş sudaki  $BOI_5$  değeri, besi maddesi olarak tarif edilir ve ön çöktürme havuzundan çıkan suyun debisi ile  $BOI_5$  değerinin çarpımına eşittir. Mikroorganizmaların kütlesi havalandırma havuzundaki ortalama karışım sıvısı uçucu askıda katıları(KSUAK) derişimine eşittir.

Çamur yaşı; havalandırma havuzundaki toplam katı madde ağırlığının, havuz girişindeki toplam katı madde

ağırlığına oranıdır. "çamur bekleme zamanı" ya da "ortalama hücre bekleme zamanı" olarak ifade edilir.

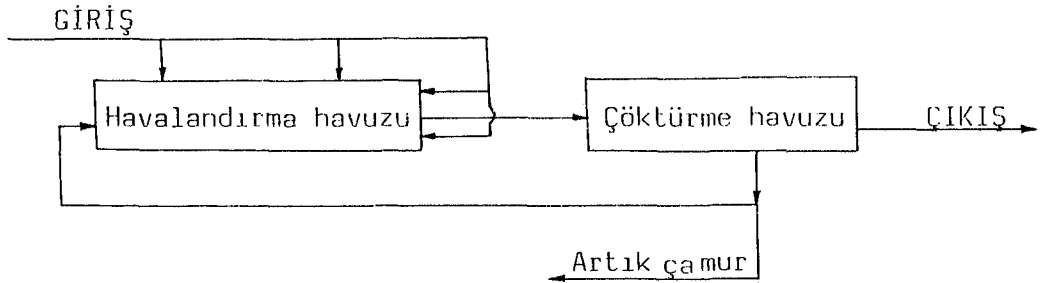
Çamur yoğunluk indeksi (ÇYİ) ve çamur hacim indeksi (ÇHİ): Bu indeksler, çökelmiş çamurun işgal ettiği hacimdeki ağırlığı ile ilgilidir. Aktif çamur sisteminin ne kadar iyi sıvı-katı ayırımı yaptığı, biyolojik flokların ne derecede çökebildiği hakkında bilgi verir.

Aktif çamur sistemlerinin kontrolü için, bir saat çökelme, mikroskopik inceleme gibi deneyler de arıtım tesisi veriminin tahmininde yardımcı olur (Topacık, 1987).

### 3.3.1.2. Aktif çamur sisteminin modifikasyonları

Bu modifikasyonlar klasik aktif çamur sistemlerinin bazı dezavantajlarını gidermek maksadı ile geliştirilmişlerdir.

Kademeli Havalandırma: Sistemin oksijene olan ihtiyacı ile sisteme verilen oksijen arasında denge kurmak maksadı ile geliştirilmiştir. Sisteme atıksu iki ya da daha fazla noktadan verilir (bkz. Şekil 3.3.). Sistemde besi maddesinin mikroorganizmalara dağılımında dengeleme meydana gelirken oksijen ihtiyacında da bir dengeleme sağlanır. Geri devir çamuru atıksu ile temas etmeden önce tekrar havalandırılarak mikroorganizmaların ölmesi önlenir. Kademeli havalandırma havuzu klasik aktif çamur havalandırma havuzundan daha fazla katı madde bulundurur, şok yüklemelerden az etkilenir, son çöktürme havuzlarındaki katı madde depolanmasını azaltır.



Şekil 3.3. Kademeli havalandırmalı aktif çamur sistemi (Topacık, 1987).

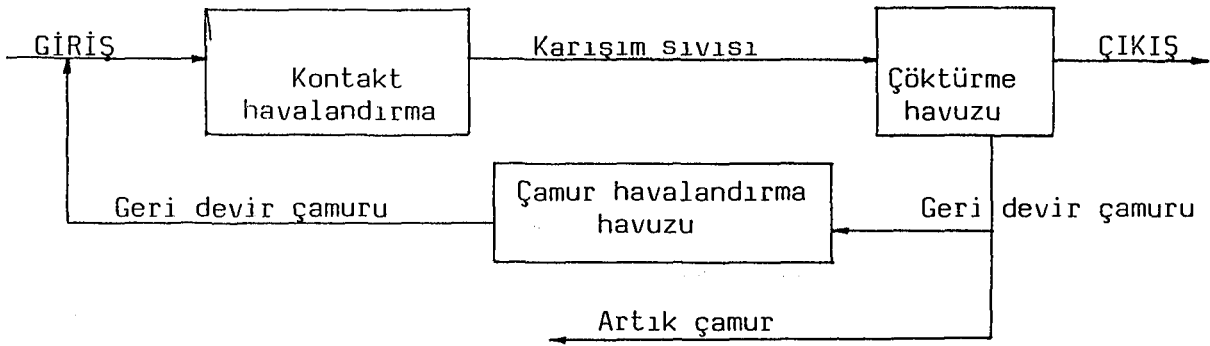
seal pit taşıntısı ve elek altı suları beyaz su deposuna toplanmakta ve bu sular HEDEMORA diskli filitre üzerinden geçirilerek elyaflar geri kazanılmaktadır. Diskli filitre berrak filtratı çok büyük oranda sistemde yeniden kullanılmaktadır. Vakum pompaları halka suları tekrar diskli filitre berrak filtrat bölmesine döndürülmektedir. Sistemden sadece pelidisk berrak filtrat bölmesi ve santrifüjlü temizleme sistemi dördüncü kademe kaba çıkışı dışarı verilmektedir. Temiz su kullanımı 13-14 m<sup>3</sup> su/ton kağıt düzeyindedir.

## 2.2. Atıksu Arıtım Tesisleri

Kağıt fabrikasında biri evsel atıksu diğeri endüstriyel atıksu arıtımı olmak üzere iki arıtım tesisi bulunmaktadır. Evsel atıkları arıtım tesisinin kapasitesi, Kağıt, Seramik, Seriteri ve İzolatör fabrikaları çalışanlarının kullanımlarından ileri gelen evsel nitelikli suları ve bunlara ait lojmanların evsel atıklarını müştereken arıtacak şekilde seçilmiş olup 35-40 m<sup>3</sup>/gün düzeyindedir. Evsel atıksu arıtım tesisine ait akış şeması Ek-3'te verilmiştir.

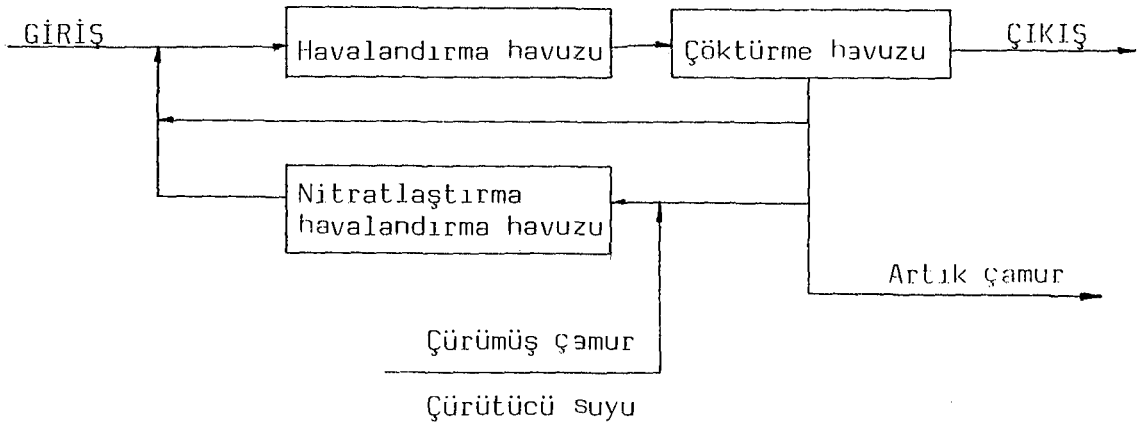
Endüstriyel atıksu arıtım tesisinin projelendirilmesinde; fabrikada hammadde olarak beyazlatılmış kimyasal odun hamuru (selüloz) kullanılması ve ürün kalitesini geliştirmek için gerekli katkı maddelerinin BOI<sub>5</sub> değerini aşırı derecede arıtacak miktar ve türden olmaması hususları göz önüne alınarak, endüstriyel atıksudaki askıda katı madde (AKM) değerini etkili şekilde düşürecek kabiliyette bir tesisin yeterli olacağı gerçeğinden hareket edilmiştir. Ek-4'te verilen akış şemasından da görüleceği gibi, dengeleme ve pompalama üniteleri, karıştırma tankları, flokleştirici dozajlama üniteleri, çökeltme havuzu, filitre pres, basınçlı kum filitleri ve havalandırmalı arıtılmış su deposundan ibarettir. Deşarj bu son deponun taşkanından yapılmaktadır. Dengeleme havuzunda toplanan

**Kontakt Stabilizasyon:** Aktif çamur floklarının büyük emme kapasitelerinden faydalanmak için geliştirilmiştir. İşlem iki ayrı havuzda gerçekleşir. Temas ve tutma birinci havuzda (kontakt havuzu) 20-40 dakika sürede olup buradan çıkan karışım ikinci havuza (çamur havalandırma havuzu) verilerek stabilizasyon 5-7 saatlik bir sürede gerçekleşir. Bu sistemde havuz hacimleri oldukça küçüktür(bkz. Şekil 3.4.).



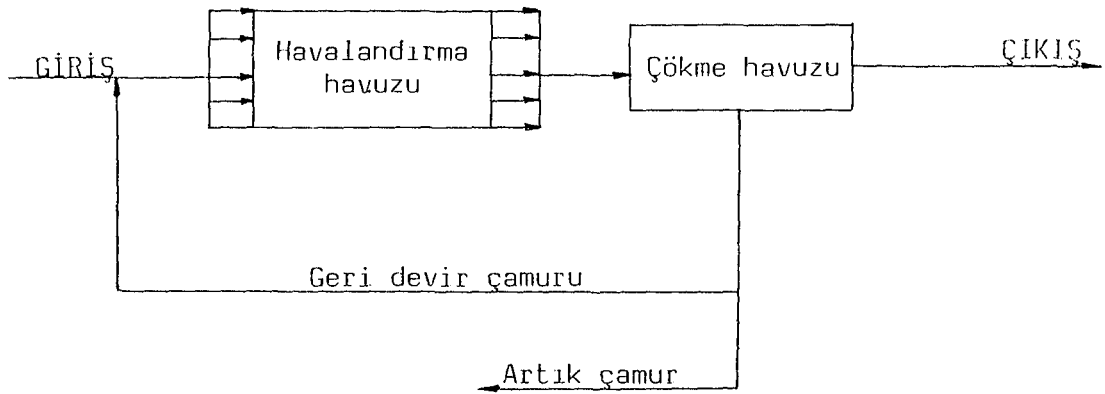
Şekil 3.4. Kontakt stabilizasyon prosesi akış şeması (Topacık, 1987).

**Kraus Prosesi:** Çamur indeksinin kontroluna yardım etmek ve endüstriden yoğun organik yük alan sistemlerde kabarma problemini önlemek için geliştirilmiştir(bkz. Şekil 3.5). Sistemde bulunan nitratlaştırma havuzuna geridevir çamurunun %10-15'i verilir. Ayrıca havasız (aneerobik) çürütücünün suyu ve çamuru iyice karıştırıldıktan sonra nitratlaşma havuzuna verilerek, havalandırılan karışım nitratlaşırken fevkalâde çökelme özelliği kazanır. Bu karıştırmanın iki yönden faydası vardır. Birincisi, aktif çamurun ağırlığını artırarak çamur indeksinin kontroluna yardım eder. İkincisi, ortamda devamlı nitratların bulunmasını sağlar. Bu da yoğun organik yükün verildiği havalandırma havuzlarının havalı (aerobik) şartlarda kalmasına yardımcı olur.



Şekil 3.5. Kraus prosesi akış şeması (Topacık, 1987).

Tam Karışımli Sistemler: Giren atıksu havuza tamamen karıştırılıyorsa ve havuzların her noktası ile çıkış suyunda katı madde derişimi aynı ise sistem tam karışlırmalıdır. Havalandırma süresi 3-5 saattir. Geri devir oranı %25-100 civarındadır(bkz. Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Tam karıştırmalı aktif çamur sistemi akış şeması (Topacık, 1987).

Yüksek Hızlı Aktif Çamur Sistemi: Bu sistemler ideal çoğalma eğrisinin logaritmik çoğalma fazında çalıştırılırlar. Kullanılan oksijen ve besi maddesi, hızla

artan bakterilerle orantılıdır. Fazla besi maddesi mevcuttur. Çıkış suyunda  $BOI_5$  ve AKM miktarları diğer aktif çamur sistemlerine göre fazladır. Tüm arıtım 2-3 saatte gerçekleşir.

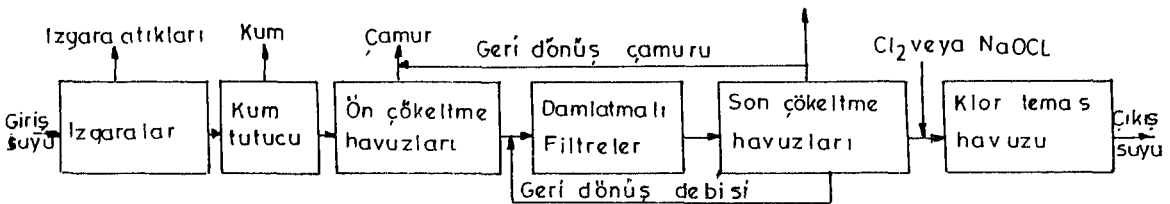
Uzun Havalandırmalı Sistem: Küçük yerleşim yerlerindeki atıksuların arıtımı için seçilir. Klasik aktif çamur sistemi akış şemasına sahiptir. Ön çökeltme bulunmaz, ızgaralardan geçen atıksu doğrudan havalandırma havuzuna verilerek en az 24 saat bekletilir. Sistemde besi maddesi az bulunur. Böylece mikroorganizmalar kendi hücrelerini de besi maddesi olarak kullanırlar (Topacık, 1987).

### 3.3.1.3. Damlatmalı filtreler

Damlatmalı filtrelerin fonksiyonu çözülmüş organik maddeleri gidermek, evsel ya da endüstriyel atıksulardan gelen organik katı maddeleri biyolojik olarak oksitleyerek çökebilen stabil maddeler haline dönüştürmektir.

Bunların başlıca üstünlüklerini şöyle sıralayabiliriz: Diğer benzeri arıtma yöntemlerine göre daha fazla debi geçirme kapasiteleri vardır, işletme masrafları düşüktür, hava koşulları ve filtreye gelen debideki değişimler çıkış suyu kalitesini çok fazla etkilememektedir. Orta büyüklükteki bir tesis için başlıca sakınca, hidrolik basınç kaybıdır.

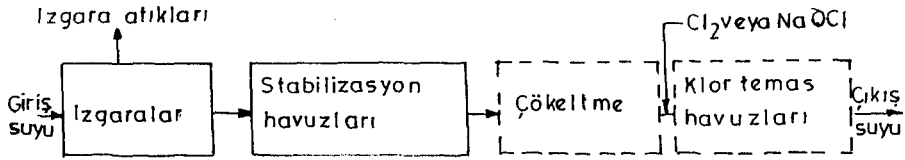
Damlatmalı filtrelerde atıksuyun arıtımı üç bölümden oluşur. Bunlar ilk aşamada ızgara, kum tutucu ve ön çökertmeden oluşan ön arıtma, filtreden geçme ve son çökeltme işlemidir (bkz. Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Damlatmalı filtreler akış şeması (Uğurlu ve Kalaoğlu, 1989).

### 3.3.1.4. Oksidasyon havuzları

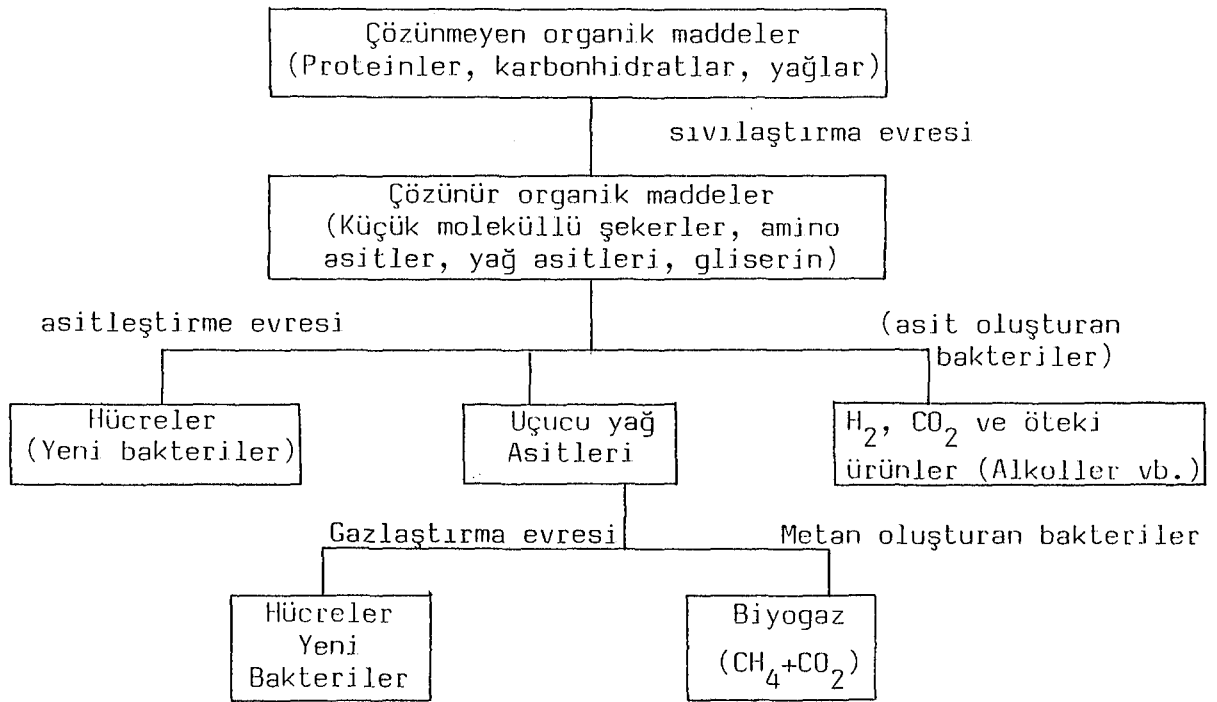
Atıksu arıtım tekniklerinin en basitidir. Mikroorganizma faaliyetleriyle organik maddelerin doğal stabilizasyonuna imkan verecek şekilde yeterli bir süre içerisinde atıksuların geniş havuzlarda yükseltgenmek üzere bekletilmesini gerektirir. Yazın  $BO_5$  giderimi %95'e çıkabilir, kışın %50'ye kadar düşebilir. Havalandırma az ise bazen mekanik olarak hava verilir. İşletme masrafları düşüktür (Şekil 3.8 ).



Şekil 3.8. Oksidasyon havuzları (Uğurlu ve Kalaoğlu, 1989).

### 3.3.2. Havasız sistemler

Çözünmüş oksijen suda tükendikten sonra da ortam organik maddece zenginleştirilirse, oksijensiz ortamda üreyebilen bakteriler çoğalarak doğal parçalanma sürdürülür. Havasız sistemde arıtım için organik madde miktarının çok yüksek olması gereklidir. Yine ortamda parçalanmanın devamı için katalizör ve belli bir sıcaklığa gerek vardır. Çok yavaş süren bu olayda organik maddeler ilk kademedeki hidrolize uğrayarak amino asitlere, yağ asitlerine ve gliserine parçalanır. Bu parçalanma evresi "sıvılaştırma evresi" olarak bilinir. İkinci kademedeki kararlı moleküller olan  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$  oluşur. Bu kademeler sırasında arıtılan suyun, yaklaşık 1/200'ü çamur olarak ayrılır (bkz. Şekil 3.9 ).



Şekil 3.9. Havasız çürüme evreleri (TÜBİTAK Bül., 1985).

Ayrışan çamur organik ve inorganik maddelerden oluşur. Havasız tepkimeler normal sıcaklığın üstünde oluşur. Tepkime sıcaklığına göre  $30^{\circ}\text{C}$  dolayında mezofilik çürüme,  $50^{\circ}\text{C}$  dolayında termofilik çürüme oluşur. İşlemin süresi uygulanan yöntemeye göre 1-2 ay olabilir (İunay, 1976).

### 3.4. Dezenfekte Etme

Arıtım süreçleri sonunda atıksu alıcı ortama verilmeden önce zararlı mikroorganizmaları öldürmek için dezenfekte edilmelidir. Bu işlem klor ve ozon gibi gazlarla ya da hipoklorit çözeltileriyle gerçekleştirilir.

### 3.5. Diğer Sistemler

Klasik arıtım metotları ile giderilemeyen kirlilikleri uzaklaştırmak için uygulanır. Adsorpsiyon yöntemiyle aktif karbon, vb. adsorbonlar kullanılarak organik madde giderilebilir. İlk kademede askıda katı madde ve fosfor



giderimini artırmak için  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$  gibi elektrolitler ve bazı polimerler bu amaç için kullanılabilir (Tchobanoglous, 1979).

Doğal yöntemlerden biri de evsel atıksuların doğrudan doğruya geniş arazilere sızdırılmasıdır.

Diğer bir yol da evsel ve endüstriyel atıksuların akışkan yatakta arıtılmasıdır. Bunun için akışkan yatakta kum, plastik, cam, antrasit gibi destek maddeleri kullanılabilir. Mekanik arıtmadan geçirilmiş olan atıksu önce akışkan yatağa verilir, daha sonra havalandırma kulesinde havalandırılarak buradan çıkan suya geri döngü uygulanır ve kanalizasyon beslemesi ile birleştirilerek tekrar akışkan yatağa verilir. Arıtılmış su ise havalandırma kulesi altından alınır (Sehic, 1981).

#### 4. UYGULANAN ARITIM YÖNTEMLERİNİN KURAMSAL TEMELLERİ

Yapılan deneysel çalışmaların daha iyi anlaşılabilmesi için deneylerin dayandığı kuramsal temellerin kısaca açıklanmasında yarar vardır.

##### 4.1. Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma Yönteminin Kuramsal Temelleri

Atıksulara bazı kimyasal maddeler ekleyerek çökmesi zor olan ince askıda katı madde ya da kolloidlerin daha iyi ve kolay çökebilen yumaklar haline getirilmesi olayı kimyasal pıhtılaştırma olarak adlandırılır. Bu yöntemle boyutları  $10^{-7}$ - $10^{-1}$  mm arasında olan tanecikler giderilebilmektedir(Fair et al.; 1968, Şengül vd., 1982).

##### 4.1.1. Kolloidler

Kolloidal taneciklerin ölçüleri  $10^{-6}$ - $10^{-3}$  mm arasında olup makromolekül ya da küçük taneciklerden oluşur. Kolloidlerin atom ve moleküllerle normal asıtlılar (süspansiyonlar) arasında bir davranış göstermeleri beklenir(Şengül vd., 1982; Constable, 1975).

Kolloidler yapılarına göre molekül ve misel kolloidleri olarak sınıflandırılır. Molekül kolloidlerin tanecikleri makro moleküllerdir. Bunların yapısı esas itibariyle küçük molekül yapısının aynıdır. Yani atomlar birbirine gerçek kimyasal bağlarla bağlanmışlardır ve gerçek kolloidlerdir(nitro selüloz, nişasta, polivinil klorür v.b.).

Misel kolloidlerin yapısı farklıdır. Birçok küçük molekül ya da atom grupları van der Waals kuvvetleriyle bir araya toplanmışlardır. Makro moleküllerden daha az dayanıklıdır(sabun ve deterjanların birlikte oluşturduğu kolloidler).

Katı taneciklerin oluşturduğu kolloidler, ortamdaki sıvı moleküllerine karşı ilgiliyse liyofilik, değilse liyofobik olarak tanımlanır. Ortam su ise, suya ilgi duyan kolloidler hidrofilik, ilgisizler de hidrofobik olarak isimlendirilir. Suyu karşı ilgi duyan kolloidlerin özelliği; çevresinde polar özellik taşıyan  $-OH$ ,  $-COOH$  ve  $-NH_2$  gibi grupların varlığıdır. Hidrofilik parçacığın etrafını saran su tabakası hidrasyon suyu ya da bağlı su olarak tanımlanır. Hidrofilik kolloidler bağlı su ile irileşmiş olarak hareket eder. Hidrofobik kolloidler bağlı su kütesine sahip değildir. Kolloidlerin önemli bir özelliği de yüzey alanlarının çok büyük olmasıdır. Bu yüzden adsorplama yetenekleri yüksektir(Üneri, 1969; Dean, 1956; Şengül vd., 1982; Berkem, 1980).

Kolloidleri şekillerine göre iki grupta toplamak mümkündür. Küre, küp, elipsoid, disk ve hatta levhacık şeklinde olanlar yuvarlak kolloidler grubuna; çubuk, iplik ve şerit şeklinde olanlar uzun kolloidler grubuna girerler. Bunlar arasındaki en büyük fark viskoziteleridir. Uzun kolloidler birbiri içine kolaylıkla girer, ağ yapma özelliği göstererek içlerine çözelti moleküllerini hapseder. Böylece belirli derişimden sonra jel oluşabilir. Yuvarlak kolloidler serbestçe hareket eder ve ağ oluşturamazlar(Üneri, 1969; Voyutsky, 1978).

Kolloidler kimyasal bileşimlerine göre inorganik ve organik olmak üzere ikiye ayrılırlar. İnorganik kolloidler de bileşimlerine göre metal (Au, Ag, Pd solları), metal olmayan (S, grafit), hidroksit (demir (III) hidroksit) ve tuz kolloidleri ( $AgCl$ ,  $BaSO_4$ ) olarak sınıflandırılabilir. Organik kolloidler de homopolar (benzen içinde kauçuk), heteropolar (su içinde protein), hidroksil içeren kolloidler (su içinde glikojen) olmak üzere üç bölümde incelenebilir(Üneri, 1969).

#### 4.1.2. Yüzey yükü

Kolloidal proteinler genelde hareketlerini etkileyen

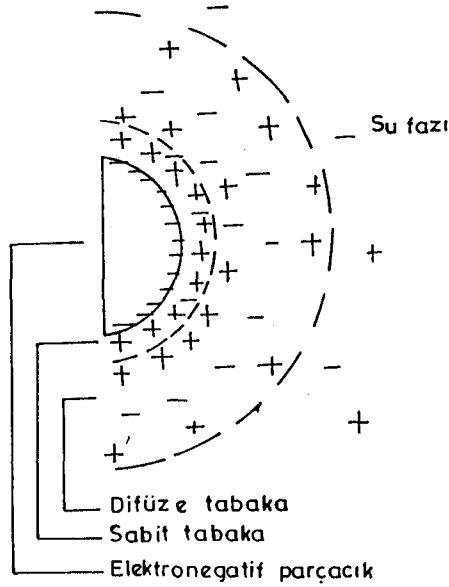
elektriksel yüke sahiptir. Parçacık yüzeylerinde elektriksel alan oluşturan yükler birincil yük olarak tanımlanır. bunlar iki nedenle oluşur.

1. Parçacıkları oluşturan moleküllerin uç kısımlarındaki reaktif grupların iyonik açıdan aktifleşmesi,
2. Su içindeki iyonların kolloidler üzerinde adsorpsiyonu.

Hidrofilik kolloidler üzerindeki birincil yükler  $-COOH$  ve  $-NH_2$  gibi polar grupların iyonlaşmasıyla olur. Bunların yükleri iyonlaşma derecelerine dolayısıyla ortamın pH değerine bağlıdır. Yükün sıfır olduğu pH değerine izoelektrik nokta denir. pH değerinde izoelektrik noktadan sonra artma hidrate amino grupların iyonlaşmasını bastırır ve negatif yüke neden olur, azalma ise karboksilik asit grubunun iyonlaşmasını bastırır ve moleküllerin pozitif yüklenmesine neden olur.

Hidrofobik kolloidler üzerindeki birincil yükler ortamdaki iyonların tercihli adsorpsiyonuyla gerçekleşir. Yük pH değerinin değişmesiyle değişebileceğinden hidrojen ya da hidrosil gruplarının adsorpsiyonuyla birincil yükler oluşur.

Kolloid taneciğin üzerinde birincil yük çözeltideki zıt yüklü iyonları çeker. birincil yük, taneciği çeviren yüklü iyonların zıt yüklü tabaka oluşturmasıyla kısmen dengelenir. Bu tamamlayıcı tabaka sabit tabaka adını alır. Bunu çeviren ikinci tabaka ise difüze tabaka (Gouy tabakası) adını alır. Bu tabakadaki zıt yüklü iyonların derişimi, sabit tabakada bulunan yüksek derişimlerden sulu fazın derişimlerine kadar değişir. Negatif yüklü bir kolooid taneciği için çift tabaka şekil 4.1.'de görülmektedir. Şekil 4.2'de ise kolloid taneciği çevresindeki elektrostatik potansiyel derişimi görülmektedir (Fair et al.; Şengül vd., 1982).



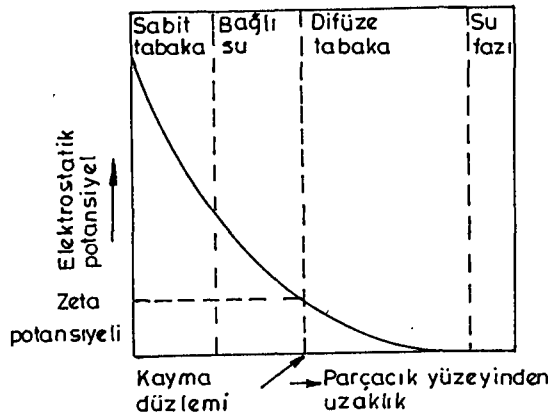
Şekil 4.1. Negatif yüklü kolloid taneciği için çift tabaka (Şengül vd., 1982).

Katyon ve anyonlar arasındaki derişim farklılıkları elektrostatik alan oluşumuna yol açar. Çözeltinin sulu fazının potansiyelinin sıfır olduğu göz önüne alınırsa çift tabakanın içindeki herhangi bir noktada potansiyel ölçülebilir.

Kayma düzlemi tanecikle birlikte hareket eden etrafındaki çözelti kısmı ile taneciğin bağımsız hareket edebilen kısmı arasındaki sınırı oluşturur. Hidrofobik kolloidlerde bu düzlem sabit tabakayı difüze tabakadan ayırır. Hidrofilik tanecikler arasındaki kayma düzlemi dıştaki bağlı su ile çakışır. bu kayma düzlemindeki potansiyel zeta potansiyeli olarak adlandırılır. Yüklü kolloidal taneciğin çevresindeki elektrostatik potansiyeller Şekil 4.2.'de görülmektedir.

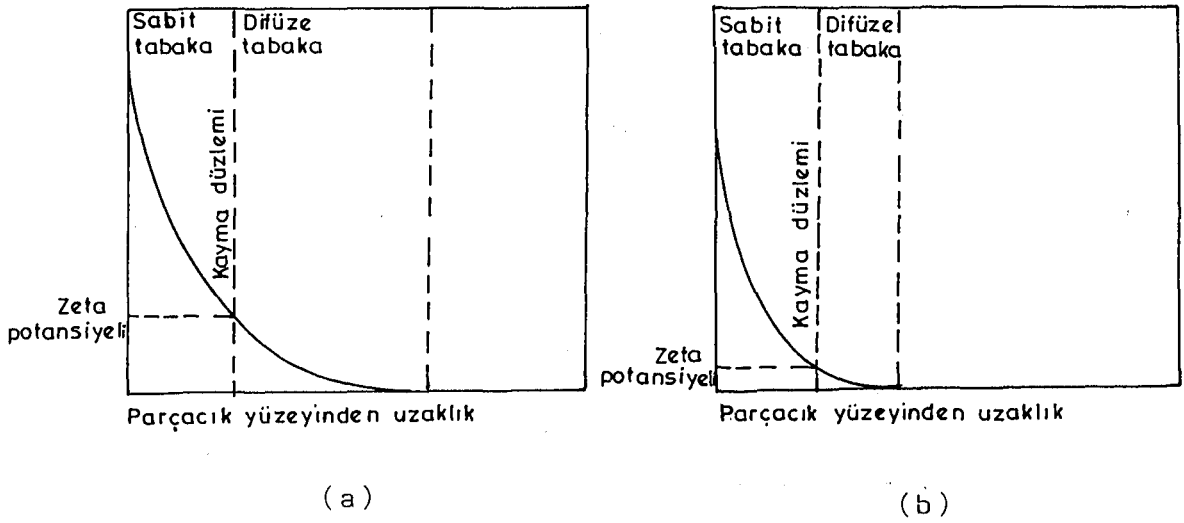
Kolloidal tanecikler dengede olmadıkları sürece yumaklaşıp çöker. Dengeli bir kolloidde taneciğe etki

eden çekme ve itme kuvvetleri dengededir. Çekme moleküller arası van der Waals kuvvetlerinden kaynaklanır. İtme kuvveti ise hidrofobik sistemlerde zeta potansiyelinden kaynaklanırken, hidrofilik sistemlerde hem zeta potansiyelinden hem de taneciğin çevresindeki bağlı su kütlesinden kaynaklanır(Fair et al., 1968; Şengül vd., 1982).



Şekil 4.2. Yüklü bir hidrofilik kolloid taneciği çevresindeki elektrostatik potansiyeller(Şengül vd., 1982).

Dengede bulunan kolloidlerin yumaklaştırılıp, çöktürülebilmesi için zeta potansiyelinin düşürülmesi gerekir. Zeta potansiyeli sistemin pH değerini izoelektrik noktaya ayarlayarak düşürülebilir. Bu noktada birincil yük sıfırdır ve zeta potansiyelini oluşturan çift tabaka yoktur. Zeta potansiyeli kolloidler üzerine zıt yüklü iyon ya da kolloidler eklenerek de düşürülebilir. İyonlarla olan pıhtılaştırmada eklenen iyonun değeri arttıkça pıhtılaştırma yeteneği artar. Hidrofobik bir kolloidin zıt yüklü iyonlarla pıhtılaştırılmasında zeta potansiyeli şekil 4.3 'teki gibi değişir.



Şekil 4.3. Hidrofobik kolloidin zeta potansiyelinin zıt yüklü iyon kullanımıyla düşürülmesi (Şengül, 1982). a) Zıt yüklü iyon eklemeyen önce, b) Zıt yüklü iyon ekledikten sonra.

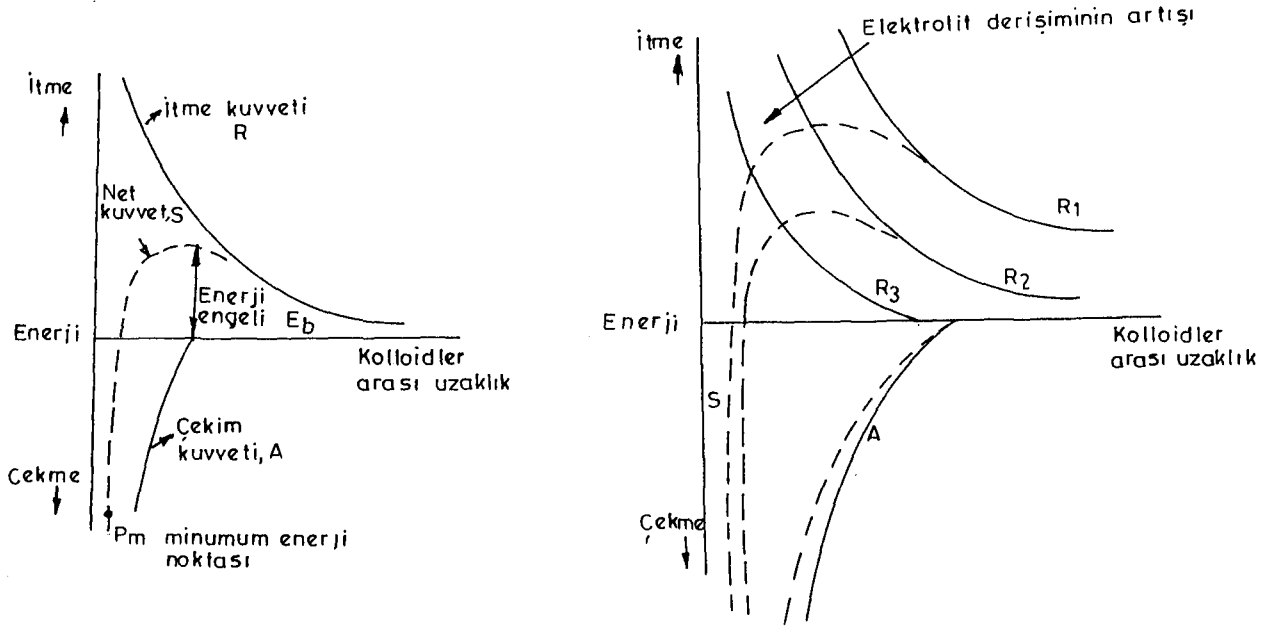
Hidrofilik kolloidlerin dengesini bozmak için bağlı suyun uzaklaştırılması gerekir. Bunun için suya  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $I^-$  anyonlarını içeren tuz eklenir.

#### 4.1.3. Elektrolitlerin pıhtılaştırma etkileri

Kolloidleri birbirine doğru çeken van der Waals kuvvetleri kolloidler arasındaki uzaklık arttıkça hızla azalır, uzaklık azaldıkça çekim kuvveti artar; aynı işaretli elektrik yüklerinin birbirlerini itme kuvvetleri önem kazanır. Bu etkilerin net bileşkesi kolloidin iyon şiddetine bağlıdır. Bu durum Şekil 4.4 'te görülmektedir (Fair et al., 1968).

Şekil 4.4.'e göre van der Waals çekim kuvvetini veren A ve elektrostatik kuvveti gösteren R eğrileri toplanırsa net kuvveti veren S eğrisi elde edilir. Minimum potansiyel enerji noktası  $P_m$ 'de dengeye ulaşılır. Dengeye tanecikler arasındaki uzaklık sıfırdır ve tanecikler birleşir. Taneciklerin birbirlerine yaklaşabilmeleri

için enerji engeli  $E_b$ 'yi aşmaları gerekir. Sadece tane-  
ciklerin kinetik enerjisi büyükse kolloidler kararsız  
hale gelir ve pıhtılaşma olur (Fair et al., 1968; Şengül  
vd., 1982).



Şekil 4.4. İki kolloid tanecik arasındaki uzaklığın itme ve çekme kuvvetleri üzerindeki etkisi (Fair et al., 1968).

Kolloidlerin enerji engelini aşarak pıhtılaşmaları dört şekilde sağlanabilir:

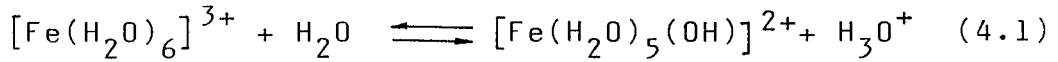
1. Kaynatma,
2. Dondurma,
3. Elektrolitlerin kullanımı,
4. Zıt yüklü kolloid eklenmesiyle elektrik yükünü nötrleştirerek çökeltme.

Hidrofobik kolloidlerin pıhtılaştırılmasında en çok elektrolit eklenmesi yöntemine gidilir. Elektrolitlerin pıhtılaştırma yetenekleri kolloidlerin elektrik yükünün zıt işaretine sahip değerlik sayısı arttıkça artmaktadır. Bu kural Schulze-Hardy kuralı olarak bilinir. Bu kurala

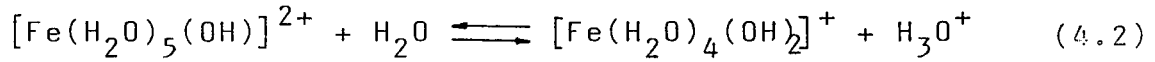


göre  $Al^{3+}$  ve  $Fe^{3+}$  negatif kolloidlerin pıhtılaştırılmasında çok etkin olmasına rağmen, pıhtılaştırma sırasında serbest halde  $Fe^{3+}$  ve  $Al^{3+}$  iyonu ortamda çok azdır. Pıhtılaştırmayı sağlayan hidroliz ürünleridir (Fair et al., 1968).

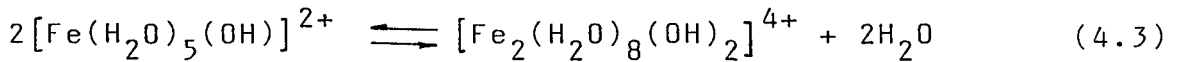
Hidrate metal iyonları Bronsted asitleridir. Demir(III) iyonu için asit-baz dengesi



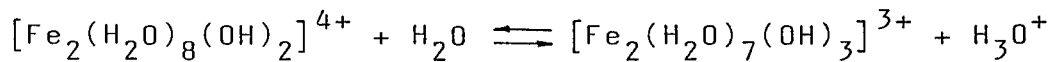
şeklinindedir. Yukarıdaki konjuge baz bir proton daha verebilir.



Benzer alışverişler devam edebilir. Sulu demir(III) iyonunun birinci asitlik sabiti fosforik asidinki gibidir.  $FeCl_3$ 'ün  $10^{-3}M$  çözeltisinin pH'ının yaklaşık 3,2 olmasına bağlı olarak demir(III) tuzlarının suya eklenmesi pH değerlerinde düşmeye, alkalikte azalmaya neden olur. Demir(III) hidroksi kompleksleri polimerleşme eğilimindedir.



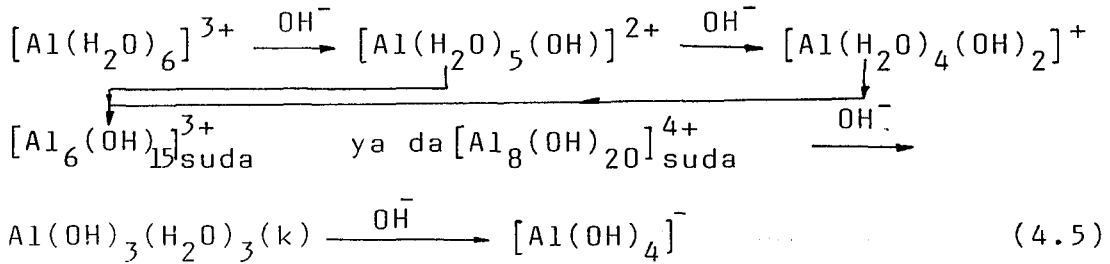
Bundan sonra daha fazla hidroksit bağının yardımıyla daha büyük hidroksi kompleksleri oluşur. Demir(III) iyonunun hidroksit gruplarıyla düzenlenmesiyle yükü azaldığından iyonlar arasında daha az itme olur ve polimerleşmeye büyük eğilim görülür.



(4.4)

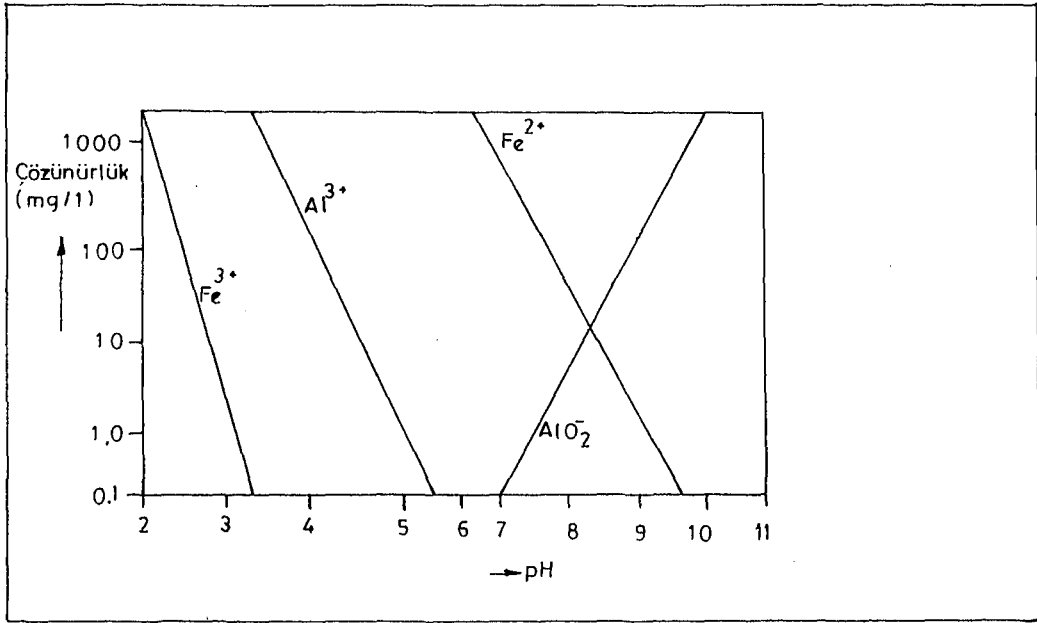
Sonuçta kolloidal hidroksi polimerler ve son olarak çözünmeyen sulu demir(III) oksit bu şekilde çöker. Sulu demir(III) oksit polimerik yapısının oluşumu, sulu demir(III) oksidin manyetik momentinin demir(III) tuzlarından küçük olmasına dayanır. Çünkü katyonik demir(III) hidroksi kompleksleri az asidik ya da nötral çözeltilerde bulunurken pozitif yüklü demir(III) oksit kolloidler bu pH aralığında oluşur. Anyonik hidroksi ferritlerin  $[\text{Fe}(\text{OH})_4]^-$  polimerizasyonuna rağmen negatif yüklü kolloidler alkali şartlarda oluşur.

$\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ 'e benzer şekilde davranır, ancak onun hidrolizi görünüşte daha karışıktır. Alüminyum tuzları kolayca hidroliz olur. Sudaki alüminyum iyonları demire göre daha düşük asitlik gösterir. Demir (III) için anlatılanlara benzer şekilde pozitif alüminyum iyonunun basamaklı dönüşümlerde aşağıdaki gibi negatif alüminat iyonuna dönüştüğü varsayılır.



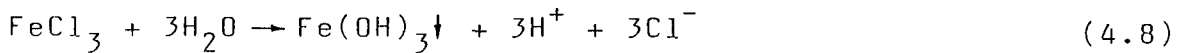
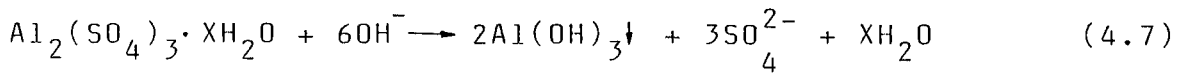
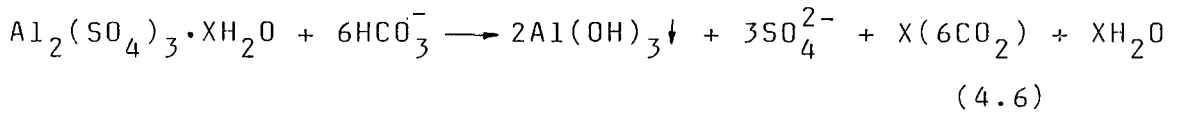
$\text{Al}^{3+}$  ve  $\text{Fe}^{3+}$  çözeltilerinin yaşıyla hidroliz doğru orantı olarak artar. Bayat ve taze çözeltilerin pıhtılaştırma etkisi oldukça farklıdır. belli bir metal iyonu derişimi için pıhtılaştırma hız ve etkinliği ortamın pH'ına bağlıdır.  $\text{Fe}^{3+}$  ve  $\text{Al}^{3+}$ 'den oluşan bileşiklerin çözünürlükleri ortamın pH'ına göre değişir.

pH  $\leq 5$ 'te  $\text{Al}(\text{OH})_3$  çözünür, pH  $> 7$ 'de ise alüminatlar oluşur.  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 'in bu amfoterik özelliği demir(III) hidroksitte görülmez(bkz. Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Alüminyum ve demirin hidroksitlerinin çözünürlüklerinin pH'la değişimi.

En çok kullanılan çöktürücülerin ortamdaki iyonlarla verebileceği tepkimelerin bazıları şunlardır.

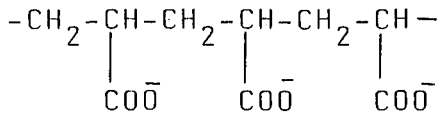


Bu çökelmeler sırasında koloidal tanecikler de sürüklenerek çöker(Şengül vd., 1982).

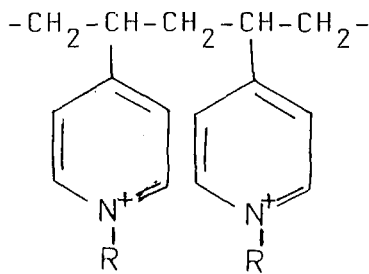
#### 4.1.4. Polielektrolitler

Polielektrolitler; belirli tekrarlanabilen küçük altbirimlerin bazen iki ya da üç değişik altbirimin, oluşturduğu doğrusal ya da dallanmış zincirlerden oluşur. Altbirimler iyonlaşabilen  $-COOH$ ,  $-OH$ ,  $-NH_2$  ve  $R_1NR_2^+$  gibi gruplar içerir. Proteinler; nükleik, peptik ve alginik asitler, polisakkaritler ve pek çok poliasit doğal polielektrolitlerdir. sentetik olanlar monomerlerin polimerizasyonu ile oluşur ve 2 den  $10^6$ 'ya kadar altbirim içerecek şekilde üretilebilir. Katyonik, anyonik ve amfolitik (hem anyonik hem katyonik) polielektrolitler uygun monomerler yardımıyla hazırlanabilir (Fair et al., 1968; McGraw-Hill, 1982).

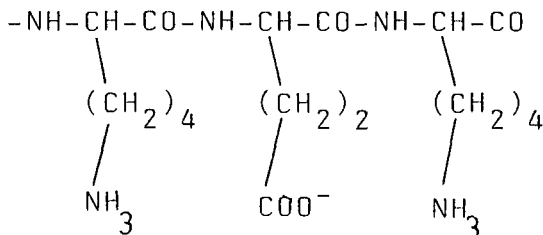
Anyonik polielektrolite örnek olarak poliakrilat,



katyonik polielektrolite örnek olarak polivinil piridinyum,



amfolitlere örnek olarak polilislin glutamik asit gibi poli aminoasitler



verilebilir.

Polielektrolitler su saflaştırma, çamur koşullandırma ve atıksu arıtımında kullanışlı pıhtılaştırıcılardır. Polimerlerle kolloidal dağılmış katıların yumaklaştırılması; 1) katılar üzerine polimerlerin adropsiyonuyla, 2) dağılan kolloidal tanecikler arasında köprü oluşturmak üzere polielektrolitlerin parçalarının karşılıklı bağlanmasıyla, 3) gevşek üç boyutlu yapının oluşması sonucunda gerçekleşir. Prensipde dağılmış parçacıkları optimum yumaklaştırma için gereken polielektrolit dozu, eğer dağılan parçalar üzerinde polielektrolit için adsorpsiyon izotermi bilinirse tahmin edilebilir.

Polielektrolitlerle yumaklaştırma, köprü kurma mekanizmasıyla kimyasal etkileşimlere yol açtığından hidrojen bağı oluşumu ve düzenleyici bağlar elektrostatik etkileşimden daha önemlidir. Buna göre polielektrolitler yumaklaştırılacak taneciklerin aynı işaretilinde net yüke sahip olduklarında bile yumaklaşma olabilir. Örneğin negatif yüklü killer, negatif yüklü poliakrilamidlerle uygun şekilde çöktürülebilir. Nötral tuzlarla ( $\text{CaCl}_2$  gibi) kolloidal çözeltilerin pıhtılaştırılması tamamen değişiktir; kolloidler birleşir, çünkü taneciklerin etrafındaki çift tabakanın itme potansiyeli azalır. İki mekanizmayla oluşturulan yumaklar değişik özelliklere sahiptir. Bu nedenle çökelme ve süzmede farklı davranış gösterirler (Fair et al., 1968; McGraw-Hill, 1982; Mishra, 1989).

#### 4.2. Adsorpsiyonun Kuramsal Temelleri

Gaz, sıvı ya da herhangi bir çözeltilde çözünmüş maddelere ait molekül, atom ya da iyonların katı bir maddenin yüzeyinde toplanması olayına adsorpsiyon denir. Adsorpsiyon derecesi, adsorplananın ve adsorbanın cinsine, sıcaklığa, adsorplanan maddenin derişimine ya da basıncına ve ikisi arasında kimyasal benzerliğe

bağlıdır. Adsorpsiyonda, adsorplanan miktar adsorplananın temas ettiği yüzeyle orantılı olduğundan adsorplayıcının geniş bir temas yüzeyine sahip olması gerekir(Satterfield, 1980; Treybal, 1969).

Günümüzde gaz ayırma işlemlerinde, nem gidermede, sulu şeker çözeltilerinin ve petrol ürünlerinin renginin giderilmesinde, suda istenmeyen koku ve lezzetin giderilmesinde, aromatik ve parafinik hidrokarbon karışımlarının kesimlerine ayrılmasında adsorpsiyon işlemi önem kazanır (Treybal, 1969).

Adsorpsiyon işlemi fiziksel ya da kimyasal olarak gerçekleşir. Adsorban ile adsorplanan arasındaki bağ dipol-dipol etkileşmesi ve van der Waals kuvvetleri sonucunda oluşuyorsa adsorpsiyon fiziksel adsorpsiyondur. Adsorban ile adsorplanan arasındaki elektron aktarımıyla gerçekleşen, yani aralarında kimyasal bağların olduğu adsorpsiyon ise kimyasal adsorpsiyondur(Berkem, 1980).

Fiziksel adsorpsiyon, karışımlardaki bileşenlerin bir fazdan diğer faza aktarılmasında; adsorbanların yüzey alanını, gözenek büyüklüğünü, gözeneklerin dağılımını belirlemede ve heterojen katalizli tepkimelerde önemlidir. Fiziksel adsorpsiyon ısısı düşüktür. Adsorplanmış tabaka birden fazla molekül kalınlığındadır. Genellikle hızlı cereyan eder. Adsorplanan gaz miktarı sıcaklıkla azalır. Fiziksel adsorpsiyon, kritik sıcaklığın üstündeki sıcaklıklarda önemli miktarda gözlenmez.

Kimyasal adsorpsiyonda ise aktivasyon enerjisi kimyasal reaksiyon ısısı mertebesinde dir. Adsorplanmış tabaka moleküler kalınlıktadır. Hızı düşüktür. Kritik sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda da gerçekleşir (Satterfield, 1980).

Çizelge 4.1'de fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon türlerinin belirlenmesinde önemli parametreler açıklanmıştır.

Çizelge 4.1. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun karşılaştırılması

Parametre	Kimyasal Adsorpsiyon	Fiziksel Adsorpsiyon
Bağ kuvvetleri	Moleküller içinde	Moleküller arasında
Adsorplayıcı	Bazı katı maddeler	Tüm katı maddeler
Adsorplanan	Kimyasal reaktif maddeler	Kritik sıcaklığın altındaki tüm gazlar, sıvılar ve çözülmüş katılar
Tersinirlik	Tersinir ya da tersinmez olabilir	Tersinir
Hız	Sıcaklığa bağlı olarak hızlı ya da yavaş olabilir	Hızlı ve yayınmayla denetimli
Entalpi etkisi	Çoğunlukla ekzotermik reaksiyon ısıları mertebesinde	Daima ekzotermik yoğunlaşma mertebesinde

#### 4.2.1. Adsorpsiyon izotermi

Sabit sıcaklıkta adsorplanan madde miktarı ile denge basıncı ya da derişimi arasındaki bağıntıya adsorpsiyon izotermi denir. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonlarda, dengeyi belirlemek amacıyla çeşitli matematiksel modeller verilmiştir. Bu modeller, Langmuir, Freundlich, Brauner-Emmet-Teller (BET) ve Temkin izotermi olarak bilinir. Bu izotermi gerçekte dengeye ulaşıldığı ve adsorpsiyonun tersinir olduğu varsayımı yapılarak türetilmiştir (Satterfield, 1980).

##### 4.2.1.1. Freundlich izotermi

Adsorpsiyon çok zaman amirik (görgül) bir bağıntı olan Freundlich denklemi ile ifade edilir:

$$x/m = k_p^{1/n}$$

ya da

$$x/m = k_c^{1/n} \quad (4.9)$$

Yukarıdaki denklemlerden birincisi yalnız gazlar için diğeri ise sabit sıcaklıkta gazlar ya da çözünmüş maddelerin adsorpsiyonu için kullanılır. Burada c adsorplanan maddenin derişimini, p basıncı, x adsorplanmış maddenin kütlesini ya da hacmini, m adsorplayanın kütlesini göstermektedir. k ve n herbir sıcaklıkta adsorplanan madde ve adsorplayan için deneyle tayin edilen sabitlerdir. Bu bağıntılar, orta derişim ve basınçlar için deneysel sonuçlar ile uygunluk gösterir. Freundlich denkleminde n'nin değerinin büyük olması adsorpsiyon izoterminin keskin bir köşe yaptığını ve adsorpsiyonun şiddetli olduğunu ifade eder, n'nin en küçük değeri birdir. Bu halde bağıntı gerçek çözeltiler için Henry kanunudur. Freundlich denklemini logaritmik olarak da

$$\log x/m = \log k + 1/n \log c \quad (4.10)$$

şeklinde ifade edilir(Üneri, 1969).

#### 4.2.1.2. Langmuir izotermleri

Daha çok kimyasal adsorpsiyon için türetilen Langmuir izotermleri kataliz uygulamalarında basitliği ve katalizli tepkimeler için kinetik ifadelerin türetilmesinde başlangıç noktası oluşturması açısından önemlidir(Çetişli, 1988).

Türetmede adsorplanan miktarın ölçüsü olarak, gazın derişimi ya da örtülmüş yüzey kesri kabul edilir. Bütün adsorpsiyon aynı mekanizma ile gerçekleşir. Yüzeyin her noktası aynı özelliktedir. Adsorplanmış moleküller arasında etkileşme yoktur. Katalizlerin bütün yüzeyi, adsorpsiyon için eşit aktiviteye sahiptir. Adsorpsiyon başlangıcında yüzeye çarpan her molekül yüzeyde tutunabilir; adsorpsiyon ilerledikçe ancak yüzeyin örtülmemiş kısmına çarpan moleküller adsorbe edilebilir.



Adsorpsiyon tam bir monomoleküler tabaka ile sınırlan-  
dığından, herhangi bir andaki yüzey iki kısımda düşünü-  
lebilir. Adsorplanan moleküllerle örtülmüş kesir  $\theta$  olsun,  
boş kesir  $1-\theta$  olduğundan, sadece yüzeyin örtülmemiş  
kısımlarına çarpan moleküller adsorplanabileceğinden,  
birim toplam yüzey başına adsorpsiyon hızı  $1-\theta$  ile orantılı  
olacaktır(Satterfield, 1980):

$$r_a = kp(1-\theta) \quad (4.11)$$

Langmuir adsorpsiyon izoterminin genel denklemi şu şekil-  
dedir:

$$x/m = \frac{abp}{1+bp} \quad (4.12)$$

(4.10) denkleminde  $a$  ve  $b$  sıcaklığa bağlı sabitlerdir.  
Langmuir izotermleri basıncın yüksekliğine göre farklı  
şekillerde ifade edilebilir. Alçak basınçta bir sayısı  
yanında  $bp$  terimi ihmal edilebilir:

$$x/m = abp = kp \quad (4.13)$$

Yüksek basınçlarda ise  $bp$  yanında bir sayısı ihmal edile-  
bileceğinden

$$x/m = a \quad (4.14)$$

şeklinde ifade edilebilir. Ara basınçlarda ise bu iki  
denklemden yola çıkılarak yazılan denklem Freundlich  
izoterminin denklemiyle aynı olmaktadır(bkz. Denk. 4.9)  
(Üneri, 1969).

#### 4.2.1.3. Brauner-Emmet-Teller (BET) izotermleri

Adsorban üzerinde adsorplanan gaz moleküllerinin  
sıkışarak çok tabakalı bir adsorpsiyon oluştuğu düşünö-  
lerek türetilmiştir. BET izotermi, Langmuir izoterminde  
izlenen yolun bütün tabakalara uygulanmasıyla çıkarılır  
(Üneri, 1969).

BET eşitliği şu denklemle ifade edilir:

$$\frac{P}{(x/m)(P_0 - P)} = \frac{1}{ah} + \frac{(h-1)P}{ahP_0} \quad (4.15)$$

Burada  $P$  buhar basıncını,  $P_0$  buharın doygunluk basıncını,  $a$  ve  $h$  ise birer sabiti gösterir.

#### 4.2.1.4. Temkin (Slygin-Frumkin) izotermi

Langmuir izoterminden, adsorpsiyon ısısının yüzey örtüsüyle doğrusal olarak değiştiği kabul edilerek türetilmiştir. Buna göre adsorpsiyon ısısı

$$q_{ads} = q_{ads,0} (1 - \alpha\theta) \quad (4.16)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $q_{ads,0}$  boş yüzeydeki adsorpsiyon ısısı ve  $\alpha$  ise bir sabittir.  $\theta$  ise

$$\theta = \frac{RT}{q_0\alpha} \ln A_0 P \quad (4.17)$$

ile ifade edilir.  $A_0$  ise şu denklemlerle verilir (Satterfield, 1980):

$$A_0 = a_0 \exp(-q_{ads,0}/RT) \quad (4.18)$$

#### 4.2.2. Sıvı çözeltilerde adsorpsiyon

Atıksularda organik bileşiklerin ve diğer safsızlıkların giderilmesi için adsorpsiyon yöntemi sık sık kullanılır.

Konu ile ilgili ilk çalışmalar Freundlich tarafından yapılmıştır. İlk deneylerde genellikle sulu çözeltiler ve adsorban olarak da çeşitli tipte odun kömürü kullanılmıştır.

Özellikle sıvı çözeltilerden katı çözünenin adsorpsiyonunda gözlenen en yaygın izoterm şekil 4.6'daki H sınıfı gibidir. Bu tür izoterm için Freundlich eşitliği düşük ve yüksek derişimlerde genelde iyi sonuç vermez. Çünkü düşük derişimlerde  $x/m$ ,  $c$ 'nin birinci

kuvvetiyle orantılıdır; yüksek derişimlerde ise  $x/m$ ,  $c'$ 'den bağımsız olan sabit bir limit değere ulaşır.

Freundlich eşitliği orta derişim aralığında kullanılır. Gazlar için iyi sonuç veren Langmuir eşitliği değiştirilerek çözeltilerden adsorpsiyona uygulanmıştır.

Langmuir eşitliği; Langmuir tarafından kinetik, Volmer tarafından termodinamik, Fowler tarafından da istatistik olarak türetilmiştir.

Langmuir eşitliği çözeltilerden adsorpsiyon için şu şekilde kullanılabilir (Berkem, 1980; Shoemaker, 1974):

$$\frac{c}{x/m} = \frac{1}{ab} + \frac{b}{a} \cdot c \quad (4.19)$$

Bu denklemde

- c: çözünen maddenin denge derişimi,
- $x/m$ : birim adsorban başına adsorplanan madde miktarı,
- a, b: sabitlerdir.

Langmuir eşitliği tamamen karışan sıvı çözeltilere uygulanamamasına rağmen seyreltik çözeltilerden katıların adsorpsiyonu için elde edilen izotermlere uygunluk gösterir. Giles ve çalışma arkadaşları tarafından çözeltilerden katıların adsorpsiyonunda gözlenen izotermler şekil 4.6'da gösterildiği şekilde başlıca dört tipe ayrılmıştır (Gregg and Sing, 1967).

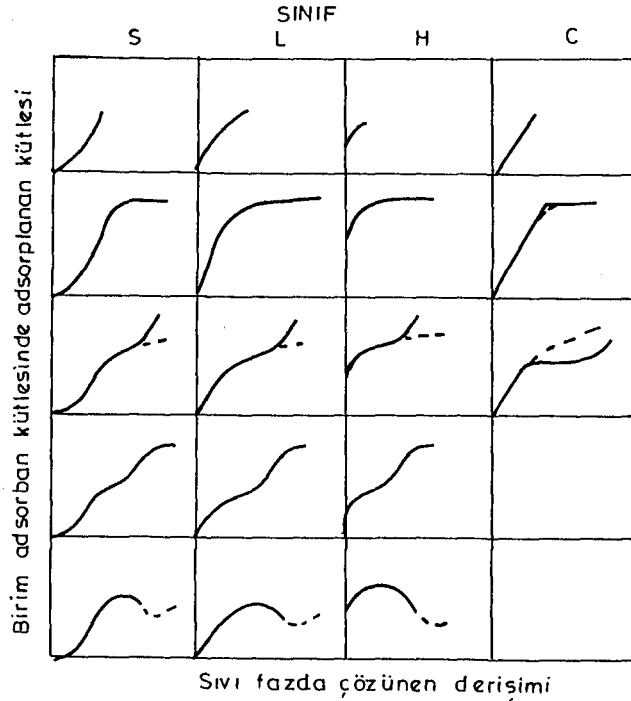
S tipi izotermlere şu hallerde rastlanır:

- a. Çözücünün kuvvetle adsorplandığı haller,
- b. Adsorbe tabakalar arasındaki çekim kuvvetlerinin büyük olduğu haller,
- c. Adsorplanan moleküllerin tek fonksiyonlu olduğu haller.

L (Langmuir) tipi izotermlere rastlandığı haller:

Bu izoterme yüzeydeki merkezlere çözücünden kuvvetli bir rekabet olmadığı hallerde rastlanır. Bu izoterme

sahip sistemlerde adsorplanan moleküller doğrusal ya da düzlemsel yapıda olup S tipinin aksine ana eksenleri yüzeye paraleldir.



Şekil 4.6. Çözeltiden katı adsorpsiyonu için izotermlerin sınıflandırılması(Gregg and Sing, 1967).

H tipi izotermlere rastlandığı haller:

Adsorplanan ile adsorban arasında kuvvetli bir çekimin olduğu hallerde rastlanır. bu tip izoterme sahip sistemlerde, çözeltinin çok seyreltik olduğu hallerde bile kimyasal adsorpsiyon söz konusudur.

C tipi izotermlere rastlandığı haller:

Bu tip izoterm, çözelti ile adsorban arasında adsorplananın sabit paylaşımını gösterir ve özellikle tekstil elyafında gözlenir(Gregg and Sing, 1967).

#### 4.3. Aktif Çamur Yönteminin Kuramsal Temelleri

Aktif çamurda arıtım sürecinde önem taşıyan çeşitli işletme parametreleri, çamur derişimi, çamur hacim indeksi,

hidrolik yük, organik yük, çamur yükleme faktörü, çamur geri devir oranı ve kalış süresidir. Bunlar kısaca aşağıda açıklanacaktır.

#### 4.3.1. Çamur derişimi

Çamur derişimi, askıda katı deşirimi cinsinden ifade edilebilir ve havalandırma tankındaki derişim "havalandırma tankında askıda katılar, HTAK (mixed liquor suspended solids, MLSS)" olarak gösterilebilir. Askıda katıların bir kısmı inorganik olabilir ve mikroorganizma içeriğinin daha yaygın bir ölçütü olan yanabilir askıda madde içeriğii "uçucu askıda katılar, UAK (volatile suspended solids, VSS)" olarak bilinir. Havalandırma basamağındaki yanabilir çamur derişimi buna göre "havalandırma tankında uçucu askıda katılar, HTUAK (mixed liquor volatile suspended solids, MLVSS)" olarak verilir. Bu, var olan organik madde miktarını gösterecektir, fakat biyolojik olarak aktif maddelerle inert olanları ayırt edemez(Winkler, 1981).

#### 4.2.2. Çamur hacim indeksi

Çamur hacim indeksi ÇHİ "(sludge volume index, SVI)" çamurun çökme niteliğini belirleyen bir parametredir. Karışım sıvısının 30 dakika çökeltilmesinden sonra bir gram HTAK'nın kapsadığı mililitre olarak hacim diye tanımlanmaktadır ve  $I_v$  ile de gösterilmektedir. Çamur hacim indeksi, 30-50 ml/g çok iyi, 100 ml/g orta, 120 ml/g ikaz düzeyi, 150 ml/g zayıf ve 200 ml/g'dan fazla ise çok kötü çökme sınıfına girer(Muslu, 1985).

En çok kullanılan indeksler, Donaldson (ÇYİ) ve Mohlman (ÇHİ) indeksleridir(Topacık, 1987).

$$\text{ÇYİ} = \frac{\text{HTAK (\%)} \times 100}{\text{HTAK'ın 30 dakika sonra işgal ettiği hacim(\%)}}$$

$$\begin{aligned} \text{ÇHİ} &= \frac{\text{HTAK'ın 30 dakika sonra işgal ettiği hacim(\%)}}{\% \text{ HTAK (Ağırlıkça)}} \\ &= \frac{\text{ml çökelmiş çamur} \times 100}{\text{mg/l HTAK}} \end{aligned}$$

Bu ikisi arasında şu ilişki vardır:

$$\text{ÇHİ} = \frac{100}{\text{ÇYİ}}$$

#### 4.3.3. Hidrolik yük

Hidrolik yük birim zamanda (1 günde) havalandırma tankına giren su hacminin birim tank hacmine karşılık gelen değeridir ve  $Q_v$  ile gösterilir.

$$Q_v = Q_b / V \text{ (1/gün)} \quad (4.20)$$

Burada  $Q_b$ , havalandırma tankına arıtılmak üzere gelen debi olup ( $\text{m}^3/\text{gün}$ ) içinde geri devir debisi yoktur.  $V$ , havalandırma tank hacmidir( $\text{m}^3$ ).

#### 4.3.4. Organik yük

Organik yük birim zamanda (1 günde) havalandırma tankına gelen suyun  $\text{BOI}_5$  değerini (ki bu, besi maddesi girişinin bir ölçütü olarak düşünülebilir) tank hacmine bölerek bulunur(Muslu, 1985):

$$B_v = F / V \text{ (kg BOI}/(\text{m}^3) \text{ (gün))} \quad (4.21)$$

Burada  $F$ , besi madesi giriş hızıdır(kg  $\text{BOI}/\text{gün}$ ).

#### 4.3.5. Çamur yükleme faktörü

Çamur yükleme faktörü  $f_m$  (bu aynı zamanda besin/mikroorganizma oranı olarak da bilinir), havalandırma basamağındaki çamurun miktarı ile ilgilidir ve çamur etkinliğini belirlemede kullanılabilir. Şöyle hesaplanabilir(Muslu, 1985):

$$f_m = S_o \cdot Q_b / V \cdot X \text{ (kg BOİ/(kg HTAK)(gün))} \quad (4.22)$$

Burada  $S_o$ , havalandırma basamağına gelen atıksuyun  $BOİ_5$  değeri (mg/l) ve  $X$ , havalandırma tankında askıda katı içeriğidir(mg/l).

Çamur yükleme faktörü  $f'_m$ , HTUAK cinsinden de ifade edilebilir:

$$f'_m = S_o \cdot Q_b / V \cdot X' \text{ (kg BOİ/(kg HTUAK)(gün))} \quad (4.23)$$

Burada  $X'$ , havalandırma tankında uçucu askıda katı içeriğidir(mg/l).

#### 4.3.6. Çamur geri devir oranı

Havalandırma tankına besleme akış hızı  $Q_b$ , çöktürme tankı altından alınıp havalandırma tankına geri verilen çamur akış hızı  $Q_r$  ise; çamur geri devir oranı,

$$r = Q_r / Q_b \quad (4.24)$$

olarak verilir.

#### 4.3.7. Kalış süresi

Havalandırma tankında atıksuyun ortalama alıkonma süresidir ve çamur ile atıksu arasındaki değme süresini verir. Sürekli bir sistemde; havalandırma tankı hacminin giren atıksuyun hacimsel akış hızına oranı olarak hesaplanır(Winkler, 1981).

$$t_r = V / Q_b \text{ (st)} \quad (4.25)$$

Kalış süresi (retention time), havalandırma süresi (aeration time) ya da alıkonma süresi (detention time) olarak adlandırılır. Kalış süresi ve hidrolik yük arasındaki ilişki  $t_r = 1 / Q_v$  şeklindedir.

Tam karıştırmalı sürekli bir sistemde, ortalama kalış süresi ya da hidrolik kalış süresi kullanılabilir ve havalandırma tankında besi maddesi uzaklaştırma hızı

$$(S_o - S_e) / t_r \text{ (kg BOİ/gün)} \quad (4.26)$$

olarak verilir; burada  $S_e$ , sistem çıkışındaki besi maddesi derişimidir(mg/l).



## 5. KAĞIT FABRİKASI ATIKSULARINDA YAPILAN ANALİZLER

Kağıt ve kağıt hamuru endüstrisi atıksularının zararlı etkilerini kontrol altına almak için, tespit edilecek en uygun arıtım teknolojisinin seçimine esas olacak parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Kağıt endüstrinin birbirinden oldukça farklı üretim yapan ve farklı üretim şekillerini uygulayan, bu nedenle de atıksu karakteristikleri çok farklı olan ve büyük sınırlar arasında değişen bir endüstri dalı olması sebebiyle Su Kirliliği Kontrolü Yönetmenliğinde de II kategori halinde ele alınmıştır(bkz. Ek Açıklamalar A). Kağıt fabrikası atıksularında en çok yapılan analizler ise aşağıdaki alt bölümlerde kısaca tayin yöntemleriyle birlikte verilmiştir.

### 5.1. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ<sub>5</sub>)

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>) havalı ortamda bakterilerin organik maddeleri parçalayarak kararlı hale getirmesi için gerekli oksijen miktarıdır. BOİ<sub>5</sub> testi, mevcut organik maddenin biyolojik olarak stabilizeasyonu için gerekecek oksijen miktarının yaklaşık olarak belirlenmesi ve atıksu arıtım birimlerinin boyutlarının belirlenmesi ve bazı arıtım tesislerinin veriminin ölçülmesi için kullanılmaktadır. Oksijenin sudaki sınırlı çözünürlüğü yüzünden (20°C'de 9 mg/l), çok kirli atıklarda, test sırasında kapta çözünmüş oksijen bulunması ve anlamlı sonuçların elde edilebilmesi; aynı zamanda bakteriyel büyüme için gerekli tüm besin maddelerinin (azot, fosfor ve bazı iz elementler gibi) ortamda bulunması gerektiğinden, numunenin <sup>2</sup>özel olarak hazırlanmış bir seyreltme suyu ile seyreltilmesi gerekir. Seyreltme suyu; fosfor tamponu (pH=7,2), magnezyum sülfat, kalsiyum klorür, demir(III)

klorür içerir ve çözünmüş oksijenle doymuş haldedir. Eğer atıksu numunesinde organik maddeleri parçalamak için gerekli mikroorganizma yoksa, ortama aşı mikroorganizmalar ilave edilir. Aşı olarak çöktürülüp 24 saat bekletilmiş taze kanalizasyon suyu, toprak özütleri ya da en iyisi  $BOİ_5$ 'ı tayin edilecek suyun döküldüğü akarsuyun bir kaç km aşağısından alınan su kullanılabilir. Aşının  $BOİ_5$  değeri de ayrıca tayin edilmeli ve düzeltme yapılmalıdır.

$BOİ_5$  testinde genel tepkime, organik madde ve çözünmüş oksijenin bakteriler tarafından alınıp, karbon dioksit ve bakterilere dönüştürülmesidir. İkincil tepkime ise bakteri hücrelerinin protozoalar tarafından besi olarak tüketilip yeni protozoa hücrelerinin oluşumudur.  $BOİ_5$  şişesindeki çözünmüş oksijenin azalması doğrudan doğruya ayrışabilen organik madde miktarıyla ilgilidir. Evsel atıksular gibi doğal olarak mikroorganizma içeren atıksularda, dışarıdan ayrıca mikroorganizma (aşı) eklemeye gerek yoktur. Standart  $BOİ_5$  testinde inkübasyon süresi  $20^{\circ}C$ 'de 5 gündür.

$BOİ_5$  hesaplaması:

Aşılama yapılmamışsa  $BOİ_5$  değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$BOİ_5 \text{ (g/m}^3\text{)} = (D_1 - D_2) / P \quad (5.1)$$

Aşılama yapılmışsa  $BOİ_5$  değeri şöyle hesaplanır:

$$BOİ_5 \text{ (g/m}^3\text{)} = [(D_c - D_2) - (B_1 - B_2) f] / P \quad (5.2)$$

Bu formüldeki simgeler şu anlama gelir:

$D_1$ : Seyreltmeden 15 dakika sonraki çözünmüş oksijen değeri(ÇO)

$D_2$ : 5 gün inkübasyondan sonra ÇO değeri.

$P$  : Kullanılan örnek hacim kesri = Atıksu hacmi/ $BOİ_5$  şişesi hacmi

$D_c$  : Sıfır anında seyreltilmiş örnekteki ÇO değeri

$$D_c = D_o p + SP$$

$D_o$  : Orijinal seyreltme suyunun ÇO değeri

$p$  : Kullanılan seyreltme suyu hacim kesri

$S$  : Orijinal örneğin ÇO değeri

$B_1$  : Seyrelmiş aşının seyreltmeden 15 dakika sonraki ÇO değeri

$B_2$  : İnkübasyondan sonra aşı örneğinin ÇO değeri

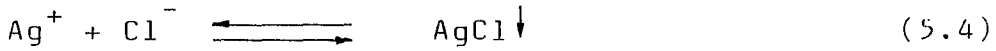
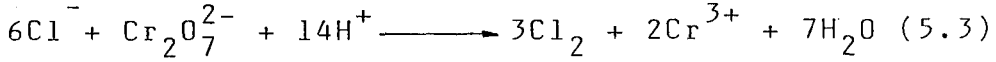
$$f : (D_1 \text{'deki aşı}) / (B_1 \text{'deki aşı})$$

Biyokimyasal oksidasyon yavaş bir işlemdir ve teorik tamamlanma süresi sonsuzdur. 20 günlük bir sürede, oksitleme %95-99 tamamlanır ve  $BOI_5$  testi için kullanılan beş günde, oksitleme %60-80 arasında gerçekleşir. Biyokimyasal tepkime hızları sıcaklığa bağlı olduğundan, değişik sıcaklıklarda farklı sonuçlar alınacaktır (Standard Methods, 1985).

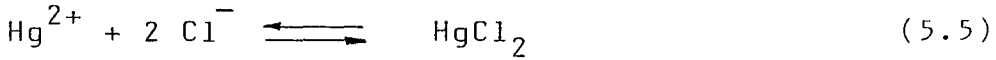
## 5.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Kimyasal oksijen ihtiyacı gerek atıksuların gerekse doğal suların organik madde içeriğini belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. Endüstri atıklarının zehirli maddeler ihtiva etmesi nedeniyle,  $BOI_5$  deneyi sonuçları çok küçük çıkar, hatta sıfır olabilir. Bu durumda  $BOI_5$  deneyi sonucu bu suyun içerdiği organik madde derişiminin bir ölçüsü olamaz. böyle durumlarda oksitlenebilir organik maddeye denk olan oksijen asitli bir ortamda, güçlü bir kimyasal oksitleyici olan potasyum dikromat kullanılarak ölçülebilir. Ancak potasyum dikromatın yağ asitlerini yükseltgeme gücü yetersizdir. Bu gibi durumlarda, ortamda gümüş iyonlarının bulunması (gümüş sülfatlı sülfürik asit) katalitik etki yapmakta ve yükseltgeme kolaylaşmaktadır (Standard Methods, 1985).

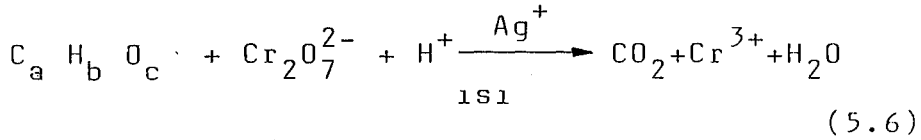
Bazı inorganik bileşikler deney sonuçlarını etkilediğinden bunların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Ortamda klorür bulunması halinde, bu iyon hem gümüşü çöktürmesi, hem de potasyum dikromat ile redoks reaksiyonuna girmesi açısından girişim oluşturur.



Klorür girişimi, ortama cıvı(II) sülfat ilavesiyle giderilebilir. Cıva(II) iyonu klorür iyonu ile birleşerek zayıf iyonlaşabilen cıvı(II) klorür bileşiğini oluşturur (Şengül vd., 1982).



KOİ tayininde biyokimyasal yükseltgeme yerine kimyasal yükseltgenme gerçekleşir.



Reaksiyonda  $\text{Cr}^{6+}$ 'dan  $\text{Cr}^{3+}$ 'e indirgenir. Organik madde yükseltgenerek, karbon 4+ değerini alır. Bu sırada tüketilen dikromatın oksijen eşdeğeri KOİ'ni verir.

KOİ değeri genelde  $\text{BOİ}_5$ 'ndan daha büyüktür. Çünkü biyolojik olarak oksitlenmeyen birçok bileşik kimyasal olarak oksitlenebilmektedir. Çeşitli atıksular için, KOİ ile  $\text{BOİ}_5$  arasında bağlantı kurulması mümkündür. Bu bağlantının kullanılması, KOİ'nin üç saatte belirlenmesine karşılık,  $\text{BOİ}_5$  için beş günün gerekmesinden dolayı yararlıdır.

### 5.3. Toplam Askıda Katı Madde

Askıda katı madde atıksuda sıkı cam filtre üstünde kalan maddelerin  $105^\circ\text{C}$  de kurutulup tartılmasıyla bulunur.

Atıksularda askıda katı madde tayini oldukça önemlidir. Evsel ve endüstriyel atıksuların kirlilik derecesini ve arıtım tesisleri verimini belirlemede önemli bir parametredir. Arıtım tesisi çıkışında askıda katı madde derişiminin belli bir limit değeri aşmasına izin verilmez, çünkü alıcı su ortamlarında çökelmelere ve fazla miktarda dip çamuru oluşmasına neden olur(Şengül, vd. 1982).

Atıksularda toplam askıda katı madde şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Toplam askıda katı madde (g/m}^3\text{)} = [(A-B \times 1000)]/C \quad (5.7)$$

Burada,

A: Filtre ve içindekilerin ağırlığı (mg)

B: Filtre ağırlığı (mg)

C: Örnek hacmidir( $\text{cm}^3$ ).

#### 5.4. Çökebilir Katı Madde Hacmi

Test Imhoff konisinde yapılır. Çökebilen katı madde içeren örnek iyice karıştırılarak  $1 \text{ dm}^3$ 'lük koniye konur ve 45 dakika çökmesine izin verilir, sonra bir bagetle hafifçe karıştırılarak yanlarda biriken katıların dibine çökmesi sağlanır ve 15 dakika daha beklenir. Örnekler oda sıcaklığına getirilmeli ve test oda sıcaklığında yürütülmelidir. Sonuç Imhoff konisinden okunur ve ml/l olarak çökebilen katı madde ifade edilir.

#### 5.5. Diğer Tayinler

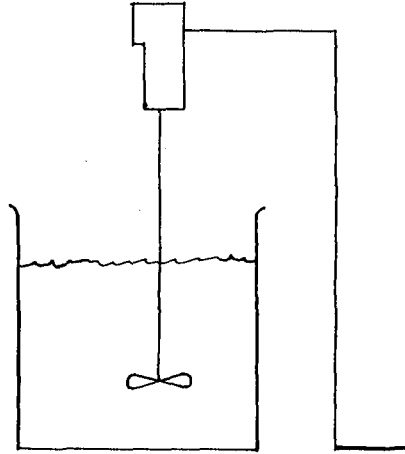
Kağıt fabrikası atıksularında, bilhassa yarı selüloz üretimi, saman ve kağıttan ağartılmamış selüloz üretimi ağartılmış selüloz üretimi, saf selüloz üretimi gerçekleştirilen kağıt işletmelerinde bu yapılan tayinler yanında balık biyodeneyi (ZSF) de yapılmaktadır.

## 6. ARITIM DENEYLERİNİN YAPILDIĞI DÜZENEKLER VE YÖNTEMLERİ

Bu bölümde deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği deney düzenekleri tanıtılacak ve deney yöntemleri hakkında bilgi verilecektir.

### 6.1. Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma Deney Düzeneği ve Yöntemi

Atıksuların arıtımında en iyi pıhtılaştırıcı ya da yumaklaştırıcı karışımıyla miktarının tayini ve uygun koşulların belirlenmesi için pıhtılaştırma-yumaklaştırma deneyleri (jar test) yapılır. Deney düzeneği şeması şekil 6.1'de görülmektedir. Ayarlanabilir hızlı karıştırıcılar ve beherlerden oluşur.



Şekil 6.1. Pıhtılaştırma-yumaklaştırma deney düzeneği.

Bu çalışmada çöktürücü olarak  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  (Kütahya'nın Şaphane ilçesinde üretilen),  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  (Merck) kullanılmıştır. Ayrıca  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ile bir organik polielektrolit olan "sedipur"un (Batı Almanya'nın BASF firmasının) bir arada kullanımı da denenmiştir.

Deneylerde pH'ın belli değerler 6-9 arasında kalması %10'luk kireç sütü ile sağlanmıştır. Kullanılan  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 'nun tarafımızdan analizi yapılmıştır (bkz. Ek Açıklamalar B).

Pıhtılaştırma-yumaklaştırma deneyleri için temiz litrelik beherlere iyice çalkalanarak alınan ham atıksuya belirli dozlarda kimyasal madde eklendi.  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ve  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  küçük beherlerde hassas olarak tartılarak kullanıldı. Sedipur'un %3'lük çözeltisi kullanıldı. Kimyasal maddeler atıksu örneklerine hızlı karıştırma anında eklendi. Bir dakika hızlı karıştırmadan sonra 10 dakika yavaş karıştırıldı. Hızlı karıştırma mekanik karıştırıcı (EMSA-MK1) ile yavaş karıştırma yine başka bir mekanik karıştırıcı (TERMAL) ile yapıldı. Çökelmenin oluşması için bir saat bekletildi. Ayrıca deney sırasında atıksuyun pH'ı pH metre (Elektro-mag M-820) ile kontrol edilerek hızlı karıştırma sırasında %10'luk kireç sütü ilavesi ile pH değerinin 6'nın altına inmemesi sağlandı. Hızlı karıştırma çöktürücünün homojen dağılımının sağlanması için, yavaş karıştırma ise yumaklaştırma için gereklidir. Çökelmeden sonra üstteki berrak kısımdan uygun şişelere alındı ve  $+4^{\circ}C$ 'de buzdolabında analizler için saklandı. Bu arıtılmış atıksularda pH değerleri hemen, AKM ve KOİ değerleri ise 24 saat içinde tayin edildi.

## 6.2. Adsorpsiyon Deney Düzeneği ve Yöntemi

Adsorpsiyon pahalı bir yöntem olduğundan günümüzde atıksu arıtımında fazla uygulanmamaktadır. Ancak diğer yollarla giderilemeyen bazı organik maddeleri tutmak için baş vurulmaktadır.

Çalışmalarımızda standart bir adsorban olarak aktif kömür ve çok ucuz bir adsorban olarak cüruf kullanıldı. Bu adsorbanların bazı özellikleri Ek Açıklamalar C'de verilmiştir. Adsorpsiyon deneyleri pıhtılaştırma-yumaklaştırma deneylerinden alınan numuneler üzerinde gerçekleştirildi, çünkü o yöntemle arıtılan suda KOİ değerleri sınırın altına inmemiştir.

Adsorpsiyon deneyleri için ağız kapaklı erlenler, çalkalayıcı ve süzme gereçleri yeterlidir. Bu

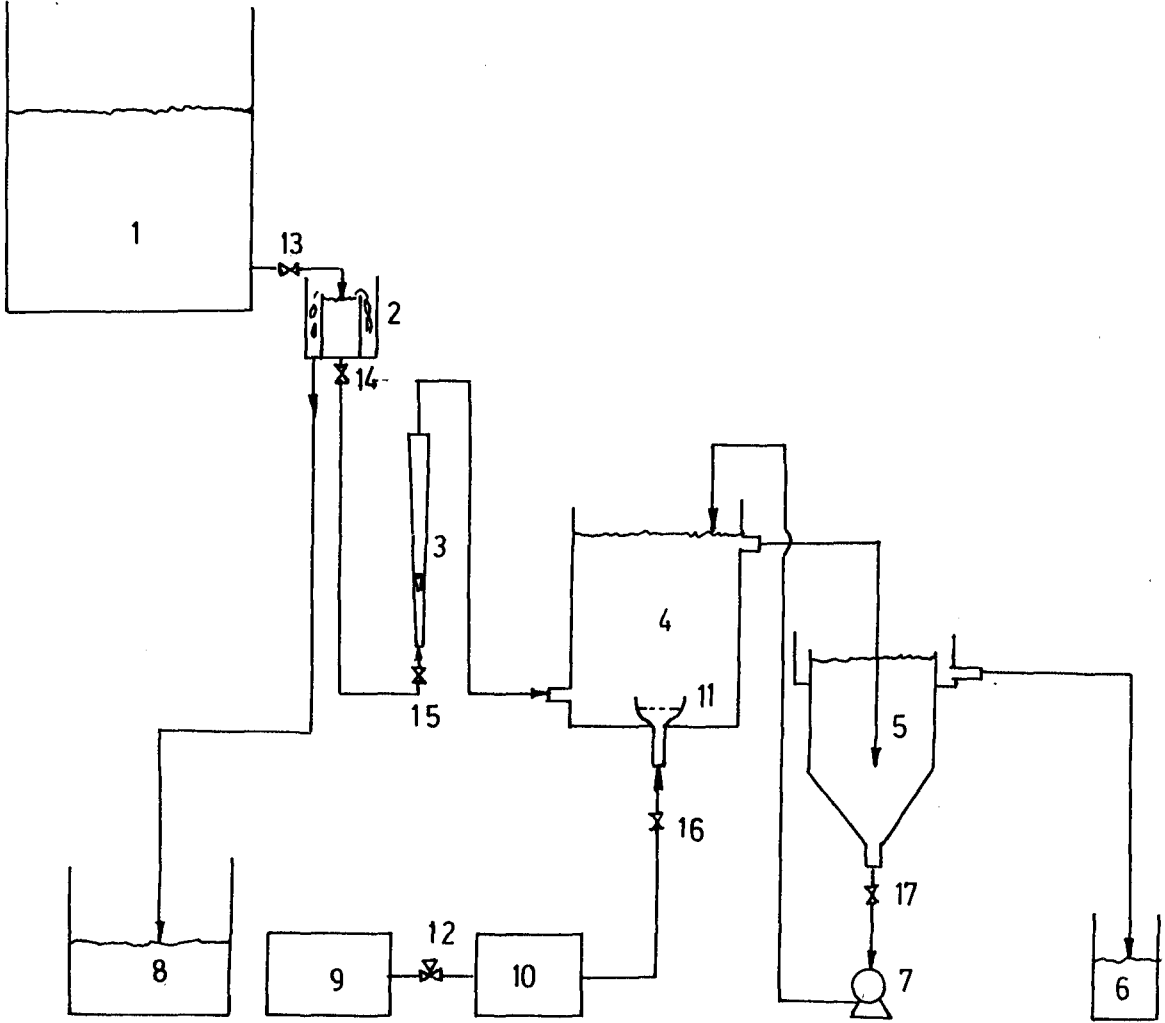
deneyler ağız kapaklı erlenlerde sık sık çalkalanarak yapılmıştır.

Yedi adet 300 ml'lik erlene dikkatlice tartılmış farklı miktarlarda adsorban ve 200'er ml örnek konuldu. Sıcaklığın önemli bir etkisi olmadığından (Doğan, 1989), işlemler oda sıcaklığında yürütüldü. Daha önceden yapılan çalışmalarda iki saat içinde dengeye erişildiği belirlendiğinden bu süre sonunda mavi bant süzgeç kağıdından süzüldü. Daha sonra bu süzüntülerde pH ve KOİ tayinleri yapıldı. Örnekler süzülmüş olduğundan AKM tayini yapılmadı ve tümüyle giderildiği varsayıldı.

### 6.3. Aktif Çamur yöntemiyle Arıtım Deneylerinin Yapılışı

Aktif çamur yöntemi arıtım deneyi Şekil 6.2'de şeması görülen düzende yapılmıştır. Sistemi oluşturan birimler ile özellikleri Ek Açıklamalar Ç'de verilmiştir. Numunelerin alınmasında 20 dm<sup>3</sup> kapasiteli çok iyi temizlenmiş bidonlar kullanılmıştır. Bidonlarla getirilen ham atıksu besleme tankına boşaltılarak bekletilmiş, çökebilen katılar dibe çöktürülmüştür. Atıksu besleme hızı havalandırma tankında 5,2 saat kalış süresine karşılık gelecek şekilde 1,3 dm<sup>3</sup>/saat'e ayarlanmıştır (Selek, 1988). Havalandırma tankında askıda katıları (HTAK) sabit tutabilmek için çamur geri devri, peristaltik pompa istenilen çamur devir debisine ( $Q_p$ ) ayarlanarak gerçekleştirilmiştir. Sistem 5-6 saat içerisinde yatışkın duruma geldiğinden (Selek, 1988) örnekler altı saat sonra 2,5 litrelik şişelere alınmaya başlanmıştır. Arıtılmış suda pH, BOİ<sub>5</sub>, KOİ ve AKM tayinleri yapılmıştır. Ayrıca bir deneyde de havalandırma tankına aktif karbon verilerek bunun etkisi gözlenmiştir.





Şekil 6.2. Aktif çamur ile arıtımda kullanılan deney düzeneği.

1) Besleme tankı, 2) sabit debi düzeneği, 3) rotametre, 4) havalandırma tankı, 5) çöktürme tankı, 6) arıtılmış su toplama kabı, 7) peristaltik pompa, 8) fazla atıksu toplama kabı, 9) hava pompası, 10) kuru gaz sayacı, 11) hava dağıtıcısı, 12) üç yollu cam vana; 13, 14, 15, 16, 17) teflonlu cam vanalar.

## 7. DENEYSEL BULGULAR

Atıksuyu ile çalışılan kağıt fabrikası ham atıksuyunun çeşitli pıhtılaştırıcılarla pıhtılaştırma-yumaklaştırma ile arıtım deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları izleyen altbölümlerde verilecektir.

### 7.1. Arıtım Tesisi Girişinden Alınan Ham Atıksuyun Ve Çıkışından Alınan Arıtılmış Suyun Özellikleri

Kağıt fabrikası ham atıksuyundan değişik tarihlerde alınan kompozit örneklerin bazı özellikleri çizelge 7.1'de verilmiştir. Ham atıksu debisini ölçmeye olanak bulunamamıştır.

Çizelge 7.1. Kağıt fabrikası işletmesinden değişik tarihlerde alınan ham atıksuyun özellikleri

Kompozit örnek alınış tarihleri	pH	AKM (mg/l)	ÇKMH (ml/l)	KOİ (mg/l)	BOİ <sub>5</sub> (mg/l)
23.11.1989 (2 saatlik)	7,70	379	71	678	171
1.2.1990 (24 saatlik)	7,30	248	65	598	108
27.2.1990 (2 saatlik)	6,10	71	1,5	305	37
13.3.1990 (24 saatlik)	7,40	691	60	1704	145

Çizelge 7.1'in incelenmesi bu işletmenin atıksuyunun son derecede değişken olduğunu gösterir. Ek 4'ten görülebileceği gibi arıtım tesisi girişinde yeterli bir dengeleme havuzu bulunmadığından bu durum doğaldır.

Çizelge 7.2'de ise arıtım tesisi çıkışından alınan dört ayrı örneğin analiz sonuçları verilmiştir. Bunlardan ilki 23.11.1989 tarihli ham atıksuyla aynı günde, ancak diğerleri farklı tarihlerde alınmıştır.

Çizelge 7.2. Kağıt fabrikası işletmesinden değişik tarihlerde alınan arıtılmış suyun özellikleri

Kompozit örnek alınış tarihleri	Kağıt Üretimi (ton/gün)	Ortalama Debi (m <sup>3</sup> /saat)	pH	ÇKM (ml/l)	KOİ		BOİ <sub>5</sub>	
					(mg/l)	(kg/t)	(ml/l)	(kg/t)
23.11.1989 (2 saatlik)	126,500	41,3	7,21	0,3	226	1,77	83	0,65
30-31.3.1990 (24 Saatlik)	154,300	61,1	7,26	0,05	272	2,58	42	0,40
5-6.4.1990 (24 saatlik)	154,800	45,1	6,76	0,0	224	1,57	63	0,44
9-10.4.1990 (24 Saatlik)	168,700	24,1	7,05	0,0	281	0,96	61	0,21

Arıtılmış suyun özellikle KOİ değerleri Ek Açıklamalar A'da verilen çizelge 13.5'teki 100 mg/l sınır değerini fazlaca aşmaktadır. Bu da çalışmamızın amacını seçim nedeninin en önemli etkeni olmuştur.

Atıksuyu ile çalışılan işletmenin endüstriyel atıksu arıtım tesisinde alüminyum sülfat ve organik polielektrolit ilavesiyle pıhtılaştırma arıtımın temelini oluşturduğundan çalışmamızda öncelikle bu yöntem üzerinde durulmuştur.

## 7.2. Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma Yöntemiyle Arıtım Sonuçları

Fabrika ham atıksuyunun arıtımında 100, 200, 300, 500, 1000, 1500, 2000 mg/l dozlarda  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ve aynı dozlarda  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  kullanılmıştır. Pıhtılaştırma esnasında ham atıksuya pıhtılaştırıcılar katıldıktan ve bir dakika kadar karıştırıldıktan sonra pH değerlerinde fazlaca azalmalar olmuş, bunun için %10'luk kireç sütü

kullanılarak atıksuyun pH'ı 6-9 arasında tutulmaya çalışılmıştır. Arıtmadan sonraki  $BOI_5$  değerleri fazla zaman aldığı için izlenmemiştir. Arıtım sonucu elde edilen pH, KOİ, AKM verileri ve KOİ ve AKM'de % azalma değerleri çizelge 7.3, 4, 5 ve 6'da verilmiştir. Arıtmadan sonraki KOİ ve AKM verileri çöktürücü niceliğine karşı grafiğe geçirilmiştir. Bu grafikler Şekil 7.1 ve 7.2'de görülmektedir. Her iki çöktürücü için de pıhtılaştırıcı dozunun artışıyla çökelmenin hızlandığı diğer bir deyişle daha çabuk berraklaşma sağlandığı gözlenmiştir.

Çizelge 7.3. Kağıt fabrikasından 23.11.1989 tarihinde alınan ham atıksuyun  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ve kireç ile pıhtılaştırma sonucu elde edilen analiz verileri

Çöktürücü dozu (mg/l)	Kireç katılmadan önceki pH	Katılan CaO (mg/l)	Kireç katıldıktan sonraki pH	KOİ (mg/l)	KOİ'de % azalma	AKM (mg/l)	AKM'de % azalma
100	6,50	-	7,00	447	34	10	97
200	5,00	60	6,40	451	33	26	93
300	4,40	200	6,90	440	35	34	91
500	3,90	250	7,30	436	36	8	98
1000	3,50	420	6,50	421	38	30	92
1500	3,40	610	7,20	403	40	50	87
2000	3,10	810	6,50	421	38	34	91

Çizelge 7.4. Kağıt fabrikasından 23.11.1989 tarihinde alınan ham atıksuyun  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  ve kireç ile pıhtılaştırma sonucu elde edilen analiz verileri

Çöktürücü dozu (mg/l)	Kireç katılmadan önceki pH	Katılan CaO miktarı (mg/l)	Kireç katıldıktan sonraki pH	KOI (mg/l)	KOI'de % azalma	AKM (mg/l)	AKM'de % azalma
100	6,50	0	6,50	407	40	0	100
200	5,00	50	6,20	405	40	20	95
300	3,90	150	6,20	398	41	18	95
500	3,40	140	5,00	388	43	52	86
1000	3,00	410	6,00	342	50	30	92
1500	2,90	580	6,00	289	57	30	92
2000	2,60	720	6,00	252	63	52	86

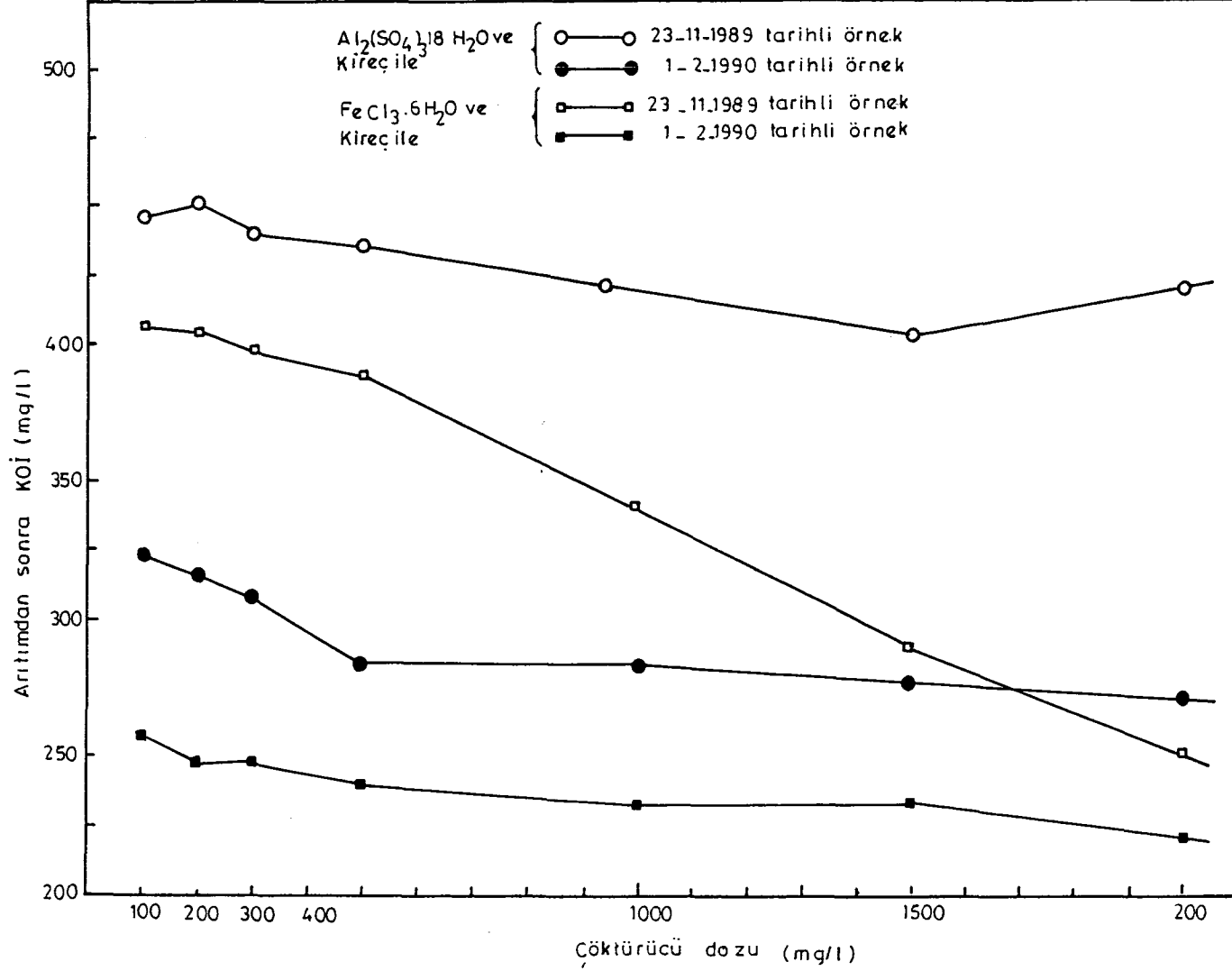
Yapılan arıtım deneyleriyle KOİ sınır değeri olan 100 mg/l'nin altına indirilemediğinden deneylerin aynı pıhtılaştırıcılarla tekrarlanmasına karar verilmiş ve alınan yeni bir örnekle deneyler tekrarlanmıştır. Elde edilen bulgular aşağıdadır.

Çizelge 7.5. Kağıt fabrikasından 1.2.1990 tarihinde alınan 24 saatlik kompozit ham atıksuyun  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ve kireç ile pıhtılaştırma sonucu elde edilen analiz verileri

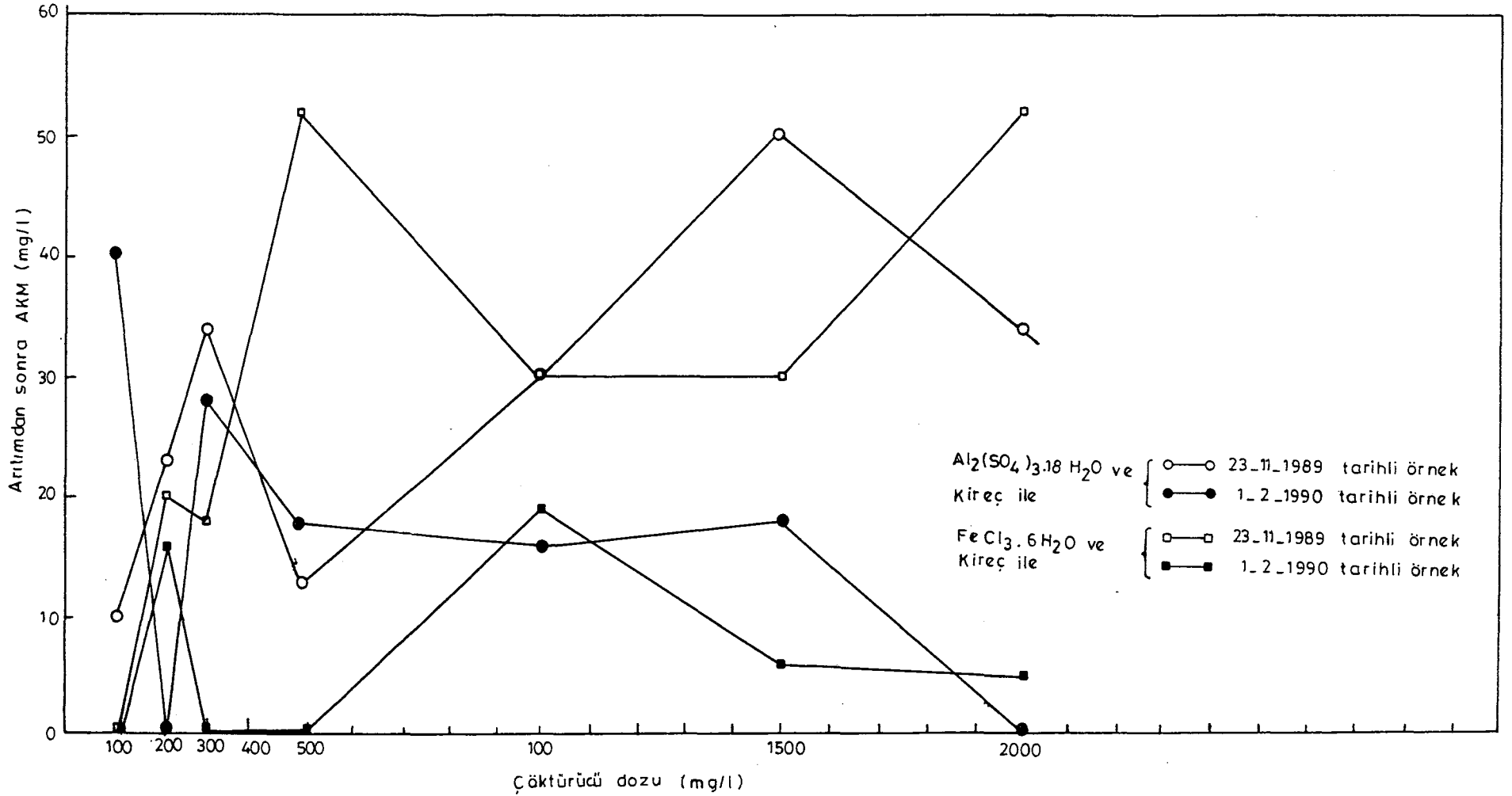
Çöktürücü dozu (mg/l)	Kireç katılmadan önceki pH	Katılan CaO miktarı (mg/l)	Kireç katıldıktan sonraki pH	KOI (mg/l)	KOI'de % azalma	AKM (mg/l)	AKM'de % azalma
100	5,30	20	7,30	323	46	40	84
200	5,00	60	7,00	316	47	0	100
300	4,00	60	9,00	308	48	28	89
500	4,60	150	8,50	284	53	18	93
1000	4,00	250	8,80	284	53	16	94
1500	4,00	430	7,80	276	54	18	93
2000	3,70	430	7,00	272	56	0	100

Çizelge 7.6. Kağıt fabrikasından 1.2.1990 tarihinde alınan 24 saatlik kompozit ham atıksuyun  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  ve kireç ile pıhtılaştırma sonucu elde edilen analiz verileri

Çöktürücü dozu (mg/l)	Kireç katılmadan önceki pH	Katılan CaO miktarı (mg/l)	Kireç katıldıktan sonraki pH	KOI (mg/l)	KOI'de % azalma	AKM (mg/l)	AKM'de % azalma
100	5,20	60	7,20	259	57	0	100
200	4,10	80	8,30	249	58	16	94
300	2,90	150	7,50	247	59	0	100
500	2,40	180	7,50	241	60	0	100
1000	1,80	310	7,50	233	61	19	92
1500	1,50	560	7,50	233	61	6	98
2000	1,80	680	8,00	220	63	5	98



Şekil 7.1. Kağıt fabrikası ham atıksuyunun  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ve  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 'ün kireç ile birlikte kullanımıyla arıtımında çöktürücü niceliğine karşı arıtımdan sonraki KOİ değerleri.



Şekil 7.2. Kağıt fabrikası ham atıksuyunun  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ve  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 'ün kireç ile birlikte kullanımıyla arıtımında çöktürücü niceliğine karşı arıtımdan sonraki AKM değerleri.



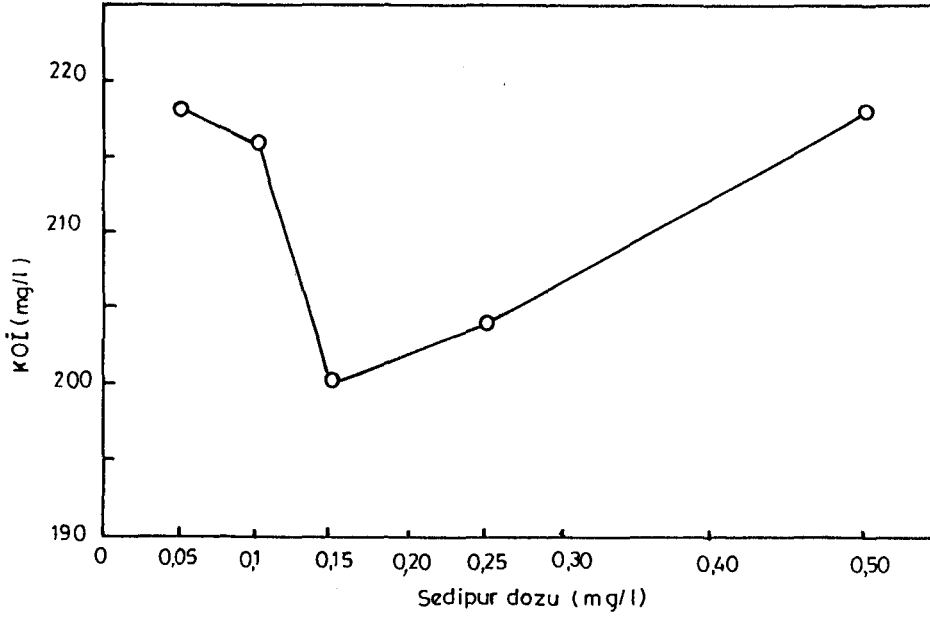
Yapılan ikinci grup deneylerde de istenilen ölçüde arıtım sağlanamadığından, 200 mg/l sabit  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  dozu yanısıra değişen niceliklerde sedipur (BASF Firmasının) adlı organik polielektrolit kullanılarak da bir seri deney yapılmıştır. pH ayarı için yine %10'luk kireçsütü kullanılmıştır. Arıtmadan sonraki pH, KOİ, AKM verileri ve KOİ ve AKM'de % azalmaları Çizelge 7.7'de verilmiştir. Arıtmadan sonraki KOİ verileri çöktürücü niceliğine karşı grafiğe geçirilmiştir. Bu grafik Şekil 7.3'te görülmektedir. Sedipur miktarının artması ile suyun berraklığı artmakta aynı zamanda pıhtılaştırma yumakları büyüyerek pamuk yumağı şeklinde dibe doğru çökmektedir.

Çizelge 7.7. 1.2.1990 tarihinde alınan 24 saatlik kompozit ham atıksu örneğinde  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , Sedipur ve kirecin bir arada kullanılmasıyla pıhtılaştırmada elde edilen analiz verileri

Çöktürücü dozu (mg/l)	Sedipur (mg/l)	Kireç katılmadan önceki pH	Katılan CaO miktarı (mg/l)	kireç katıldıktan sonraki pH	KOİ (mg/l)	KOİ'de % azalma	AKM (mg/l)	AKM'de % azalma
200	0,05	3,50	500	7,00	218	64	0	100
200	0,10	3,50	620	7,50	216	64	8	97
200	0,15	3,50	560	7,10	200	67	2	99
200	0,25	3,40	560	7,40	214	64	36	85
200	0,50	3,40	620	7,70	218	64	2	99

Denenen çok etkili ve yaygın olarak kullanılan pıhtılaştırıcıların yüksek dozlarında bile istenen arıtım sağlanamadığından daha az etkili oldukları bilinen başka pıhtılaştırıcıların denenmesine gerek görülmemiştir.

Pıhtılaştırma-yumaklaştırma deneylerinin KOİ değerlerini 100 mg/l'nin altına indirmemesi üzerine adsorpsiyonla arıtım deneyleri yapılmıştır. Bulgular izleyen altbölümlerde verilmiştir.



Şekil 7.3.  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , sedipur ve kireğin birlikte kullanılmasıyla arıtımda çöktürücü niceliğine karşı KOİ değerleri.

### 7.3. Adsorpsiyonla Arıtım Sonuçları

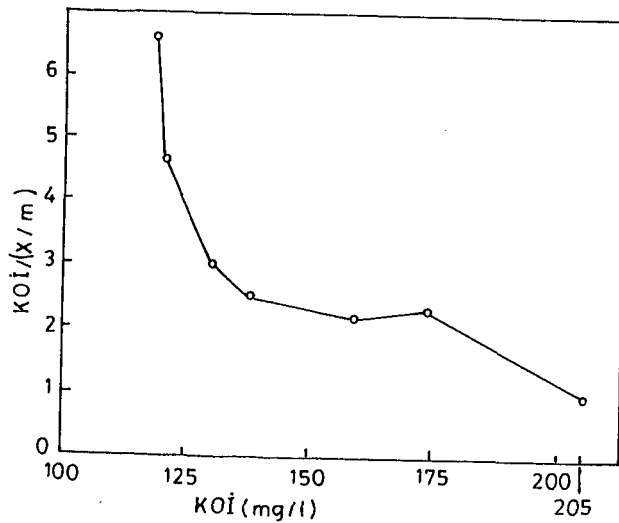
1.2.1990 tarihinde alınan 24 saatlik kompozit ham atıksu örneği GI nolu cam filtreden (en gevşek) süzüldükten sonra toz aktif karbon ile arıtımı gerçekleştirildi. Elde edilen bulgular Çizelge 7.8'de görülmektedir. Ayrıca ham atıksuyun GI filtresinden süzüldükten sonra pH ve KOİ tayini yapıldı. KOİ=303 mg/l ve pH=6,5 olarak tespit edildi. Yine bu örnekten 200 ml bir erlene alınıp 2 saat bekletilerek mavi bant süzgeç kağıdından süzülüp KOİ ve pH'ı ölçüldü.

1.2.1990 tarihli ham atıksuyun aktif karbonla adsorpsiyonuyla arıtımından sonra elde edilen KOİ değerlerine karşı  $KOİ/(x/m)$  değerleri aritmetik grafik kağıdına geçirildiğinden (bkz. Şekil 7.4), bu değerler bir doğru vermediğinden izotermlerin Langmuir tipine uymadığı anlaşıldı. Daha sonra çizelge 7.8'deki değerlerin KOİ'ye karşı  $x/m$  değerleri aritmetik kağıda geçirildiğinde

Çizelge 7.8. 1.2.1990 tarihinde alınan 24 saatlik kompozit ham atıksuyun GI süzütüsünün ( $KOİ=303$  mg/l) aktif karbonla arıtımından elde edilen deney verileri

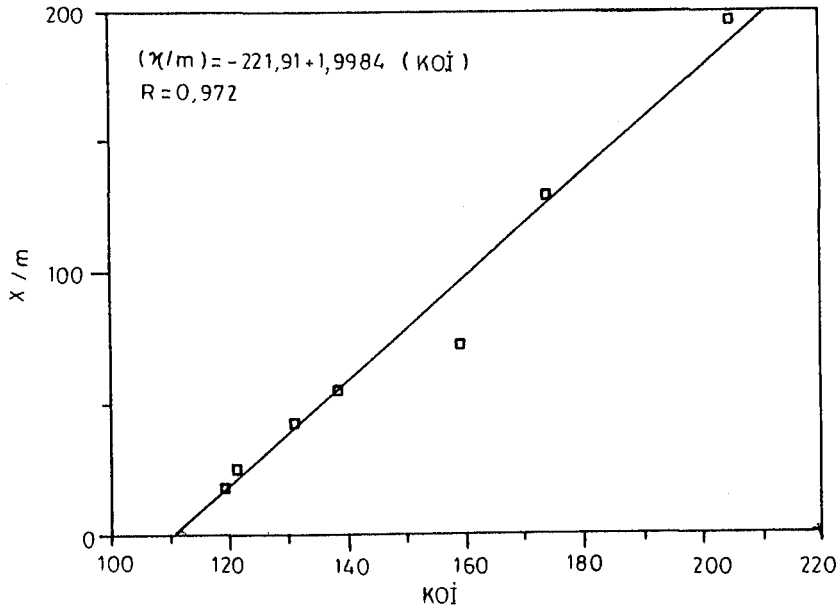
Adsorban niceliği (g/l)	pH	KOİ (mg/l)	KOİ'de adsorpsiyonla % azalma	KOİ'de toplam % azalma	x/m (mg/g)
0	7,00	250	17	58	-
0,5	6,80	205	32	66	196
1	6,80	174	43	71	129
2	7,00	159	46	73	72
3	7,00	138	54	77	55
4	6,90	131	57	78	43
7	6,90	121	60	80	26
10	7,00	119	61	80	18

Not: KOİ'de adsorpsiyonla % aratım GI filtreden süzülen atıksuyun KOİ değeri (303 mg/l) temel alınarak, KOİ'de toplam aratım ise ham atıksuyun KOİ değeri (598 mg/l) temel alınarak hesaplanmıştır. x/m(mg/g) değerleri bir gram adsorban(aktif kömür) başına adsorplanan KOİ miktarını (mg) göstermektedir ve izotermlerin çiziminde kullanılır.



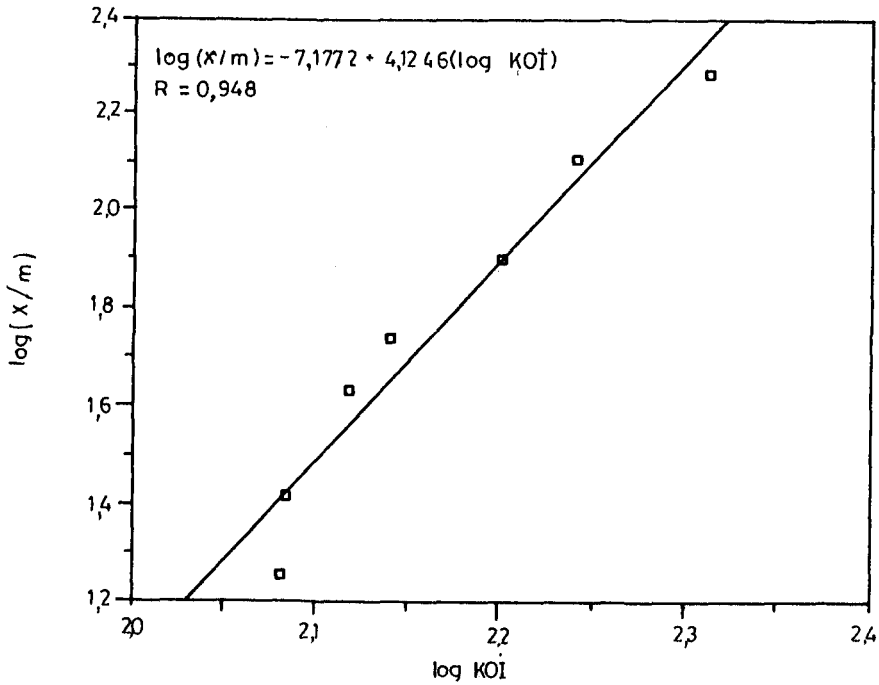
Şekil 7.4. 1.2.1990 tarihli ham atıksuyun toz aktif karbonla adsorpsiyonu ile arıtım sonrası KOİ değerlerine karşı  $KOİ/(x/m)$  grafiği.

Şekil 7.5'te görüldüğü gibi Langmuir izoterminin özel hali olan  $x/m=k(KOİ)$  bağıntısına uygun bir doğru verdiği görüldü. Bu verilerin Freundlich tipine uyabileceği düşünülerek bu değerlerin logaritmaları alınarak grafiğe geçirildi. Böylece Freundlich izoterminine uygun bir doğru elde edildi(bkz. Şekil 7.6).



Şekil 7.5. 1.2.1990 tarihli ham atıksuyun toz aktif karbonla adsorpsiyonu ile arıtım sonrası KOİ değerlerine karşı x/m grafiği.

Çizelge 7.8 incelendiğinde arıtımdan sonraki KOİ değerlerinin sınır değer olan 100 mg/l'ye yaklaştığı, ancak 10 g/l gibi çok fazla aktif kömür kullanılması durumunda bile sınırın altına inmediği anlaşılabilir. Bu durumda kaba süzme-adsorpsiyon-ince süzme işlemlerinin de yeterli arıtımı sağlamadığı anlaşıldığından, yeterli arıtımın pıhtılaştırma-yumaklaştırma işlemini izleyen bir adsorpsiyon-süzme işlemiyle sağlanabileceği düşünülmüştür.



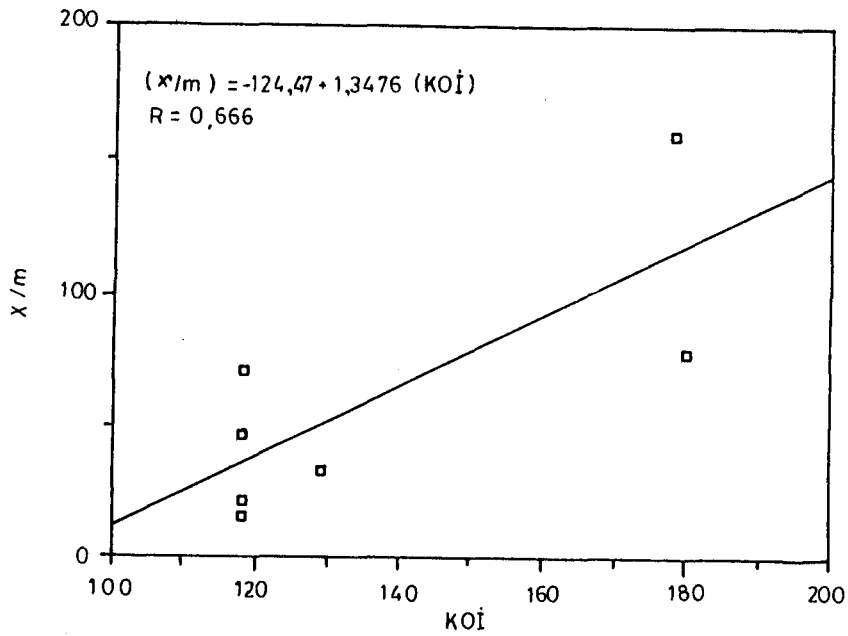
Şekil 7.6. 1.2.1990 tarihli ham atıksuyun toz aktif karbonla adsorpsiyonu ile arıtım sonrası log KOİ değerlerine karşı log x/m grafiği.

#### 7.4. Pıhtılaştırma-Yumaklaştırmadan Sonra Adsorpsiyonla Arıtım Sonuçları

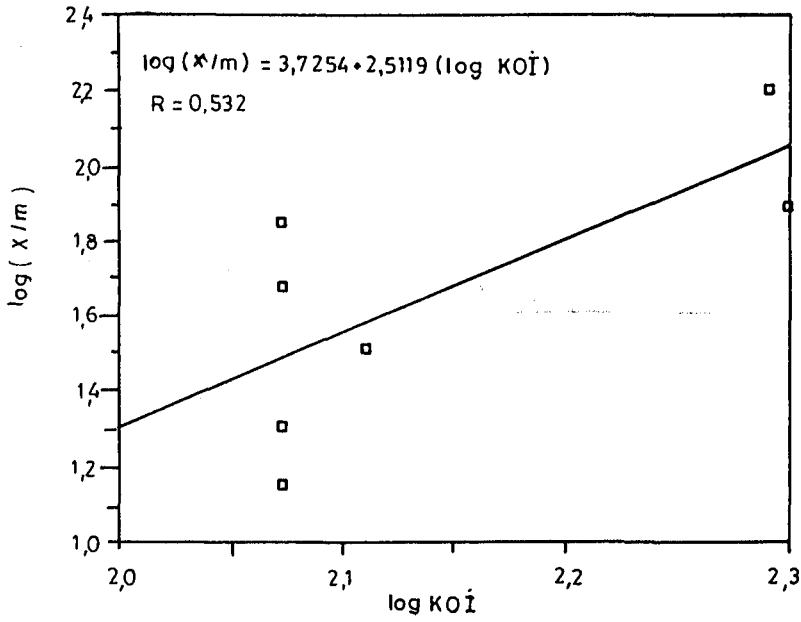
Yine kağıt fabrikasından alınan 1.2.1990 tarihli örnekte 100 mg/l  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  kullanılarak pıhtılaştırma-yumaklaştırma ile arıtım yapıldıktan sonra elde edilen atıksuda aktif karbon ve cüruf ile adsorpsiyon deneyleri yapılmıştır. Cürufun daha az etkin bir adsorbon olduğu bilindiğinden aktif karbonun iki katı dozlarda çalışılmıştır (Doğan, 1989). Bu arıtmılardan elde edilen veriler Çizelge 7.9 ve 7.10'da görülmektedir. Adsorpsiyonla % arıtım ve toplam % arıtım önceki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 7.9. Pıhtılaştırma-Yumaklaştırmadan sonra (KOİ= 258 mg/l) aktif karbon ile yapılan arıtmadan elde edilen deney verileri

Adsorbon niceliği (g/l)	pH	KOİ (mg/l)	Adsorpsiyonla KOİ'de % arıtım	KOİ'de toplam % arıtım	x/m (mg/g)
0	6,00	258	-	57	-
0,5	6,50	178	31	70	160
1	6,80	180	30	70	78
2	6,80	118	54	80	70
3	6,70	118	54	80	47
4	6,80	129	50	78	32
7	6,80	118	54	80	20
10	6,60	118	54	80	14



Şekil 7.7. 1.2.1990 tarihli ham atıksuyun  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ile pıhtılaştırma-yumaklaştırma arıtımından sonra toz aktif karbonla adsorpsiyonu sonucu KOİ değerlerine karşı x/m grafiği.

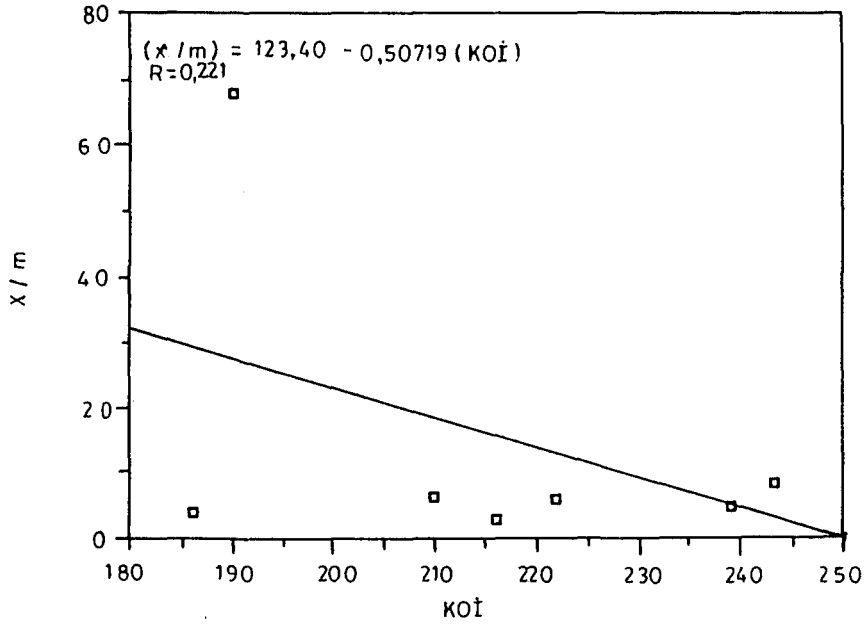


Şekil 7.8. 1.2.1990 tarihli ham atıksuyun  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ile pıhtılaştırma-yumaklaştırma arıtımından sonra toz aktif karbonla adsorpsiyonu sonucu log (KOİ) değerlerine karşı log (x/m) grafiği.

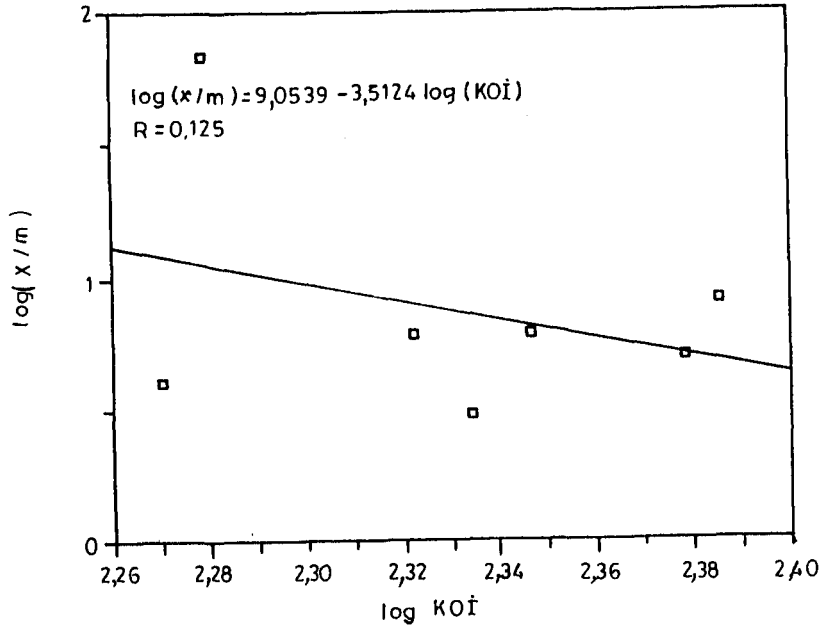
Çizelge 7.10. Pıhtılaştırma-yumaklıştırmadan sonra (KOİ= 258 mg/l) cüruflla yapılan arıtımdan elde edilen deney verileri

Adsorbon niceliği (g/l)	pH	KOİ (mg/l)	Adsorpsiyonla KOİ'de % arıtım	KOİ'de toplam % arıtım	x/m (mg/g)
0	6,00	258	-	57	-
1	6,00	190	26	68	68
2	6,00	243	6	59	8
4	6,00	239	7	60	5
6	6,30	222	14	63	6
8	6,40	210	19	65	6
14	6,50	216	16	64	3
20	6,50	186	28	69	4

Çizelge 7.9 ve 7.10'da görülmekte olan bulgularda KOİ'ye karşı x/m değerleri grafiğe geçirildiğinde elde edilen izotermlerin lineerlikten saptığı (bkz. Şekil 7.7; 7.8) görüldüğü gibi, regresyon analizi ile de bu



Şekil 7.9. 1.2.1990 tarihli ham atıksuyun  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ile pıhtılaştırma-yumaklaştırma arıtımından sonra cüruflla adsorpsiyonu sonucu ( $KOİ$ ) değerlerine karşı ( $x/m$ ) grafiği.



Şekil 7.10. 1.2.1990 tarihli ham atıksuyun  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ile pıhtılaştırma-yumaklaştırma arıtımından sonra cüruflla adsorpsiyonu sonucu  $\log(KOİ)$  değerlerine karşı  $\log(x/m)$  grafiği.



doğrulanmıştır. Aynı verilerin  $\log(KOİ)$ 'ye karşı  $\log(x/m)$  değerleri grafiğindeki izotermlerin de lineerlikten saptığı Şekil 7.9 ve 7.10'da görülmektedir.

Çizelge 7.9 ve 7.10'dan görülebileceği gibi pıhtılaştırma-yumaklaştırma işlemini izleyen farklı iki adsorbanla adsorpsiyon denemeleri de  $KOİ$  değerini sınır değer olan 100 mg/l'nin altına düşürememiştir. Bunun üzerine akla gelen ekonomik bir alternatif olan biyolojik arıtım denemeleri yürütülmüştür.

#### 7.5. Aktif Çamur Yöntemiyle Arıtım Bulguları

Kağıt fabrikasından 27.2.1990 tarihinde 10 dakika aralarla alınan 40 l kadar ham atıksuda altbölüm 6.3'te tanıtılan düzenele aktif çamur yöntemiyle arıtım gerçekleştirilmiştir. Ham atıksuda pH,  $KOİ$ ,  $BOİ_5$ , AKM, ÇKMH tayinleri yapılmıştır (bkz. Çizelge 7.1). Bu arıtımda Anadolu Üniversitesi arıtım tesisi ve Vitra (Bozüyük) evsel atıksu arıtım tesisinden alınan aktif çamur kullanılmıştır. Aktif çamur hemen havalandırma tankına konarak havalandırmaya başlanmıştır. Hava sisteme hem oksijen sağlamak hem de çamur-su karışımını etkin bir şekilde karıştırmak ve mikroorganizmaların dibe çökmesini önlemek için verilir. Hava hızında bir kısıtlama yapılmayarak hava hattındaki vanalar iyice açılmıştır. Hava hızı kuru gaz sayacıyla ölçülmüştür. Ortalama hava debisi  $60 \pm 3$  l/saat bulunmuştur.

Bidonlarla getirilen atıksu örneği besleme tankına boşaltılarak bir saat kadar bekletilmiş ve çökebilen katılar dibe çöktürülerek iri katıların sisteme girmesi ve su yollarında tıkanıklığa neden olmaması sağlanmıştır. Bunun için besleme tankının vanası özellikle tank dibinden 10 cm kadar yukarıya takılmıştır. Atıksu besleme hızı  $1,3 \pm 0,2$  l/saat değerinde tutularak yatışkın durumda çalışılmıştır (Selek, 1988).  $BOİ/N/P$  oranları biyolojik arıtım için tavsiye edilen 100/5/1 oranını sağlayacak

şekilde, hesaplı miktarlarda  $NH_4Cl$  ilavesiyle azot ve  $NaH_2PO_4$  ilavesiyle fosfor takviyesi de yapılmıştır. Arıtım süresince değişik zamanlarda alınan arıtılmış su örneklerinin pH, KOİ,  $BOİ_5$  ve AKM tayinleri yapılmış ve % arıtları hesaplanmış olup bunlar Çizelge 7.11'de görülmektedir.

Çizelge 7.11. 27.2.1990 tarihli ham atıksuda gerçekleştirilen biyolojik arıtım esnasında değişik zamanlarda alınan arıtılmış suyun analiz sonuçları

Alınan örnek no	pH	KOİ (mg/l)	KOİ'de % azalma	$BOİ_5$ (mg/l)	$BOİ_5$ nda % azalma	AKM (mg/l)	AKM'de % azalma
1	7,00	65	79	24	35	26	63
2	7,30	84	72	26	30	32	55
3	7,00	71	77	27	27	21	70
4	6,90	71	77	20	46	11	84
5	6,90	61	80	22	41	16	77

Tüm deney süresince havalandırma tankında belli aralıklarla pH, çözünmüş oksijen ve çökebilir katı madde hacmi de ölçülmüştür. Ortalama olarak pH değeri  $7\pm 0,8$  dolayında çözünmüş oksijen değeri  $7\pm 0,3$  mg/l dolayında ve çökebilir katı madde hacmi  $1,0\pm 0,2$  ml/l dolayında gerçekleşmiştir.

Bu deneye girdi olan ham atıksuyun 2 saatlik kompozit örnek olup, daha önce alınanlara göre çok daha az kirli oluşu, yalnızca aktif çamur yöntemiyle arıtımla KOİ'nin (ve diğer parametrelerin de) sınır değerinin altına düşmesini sağladığı düşünüldüğünden daha sonra 24 saatlik kompozit örnek alınarak deney tekrarlanmıştır.

Aynı fabrikadan 12.3.1990 ile 13.3.1990 tarihleri arasında ikişer saat ara ile alınan 24 saatlik kompozit örnek üzerinde de yine aktif çamur yöntemiyle biyolojik

arıtım gerçekleştirilmiştir. Daha önce ham atıksuyun pH, KOİ, BOİ<sub>5</sub> ve AKM değerleri tayin edilmiştir (bkz. Çizelge 7.1). Arıtımda Anadolu Üniversitesi atıksu arıtım tesisinden temin edilen aktif çamur kullanılmıştır. Deney başlangıçta bir önceki deneydeki gibi yürütülmüştür. Ortalama hava debisi 60±3 l/saat bulunmuştur.

İlk iki örnek alındıktan sonra KOİ deneyleri hemen yapılarak bulunan değerlerin sınır değerinin çok üzerinde olduğu gözlemlendiğinden, arıtımı takviye amacıyla havalandırma tankına 50 g toz aktif karbon atılmış, çökeltme tankı boşaltılıp böylece deney sürdürülmüş ve üç örnek daha alınmıştır. Alınan örneklerde pH, KOİ, BOİ<sub>5</sub> ve AKM tayinleri yapılmış ve % azalmalar hesaplanarak Çizelge 7.12'deki değerler bulunmuştur.

Deney süresince havalandırma tankında belli aralıklarla ölçülen pH, çözünmüş oksijen ve çökebilen katı madde hacmi sırasıyla ortalama olarak 7±0,1, 7±0,4 mg/l ve 1,0±0,2 ml/l dolayında gerçekleşmiştir.

Çizelge 7.12. 13.3.1990 tarihinde alınan 24 saatlik ham atıksuyun biyolojik arıtımından elde edilen deney verileri

Alınan örnek no	pH	KOİ (mg/l)	KOİ'de % azalma	BOİ <sub>5</sub> (mg/l)	BOİ <sub>5</sub> 'nda % azalma	AKM (mg/l)	AKM'de % azalma
1	6,90	538	68	80	45	248	64
2	6,90	278	84	59	59	88	87
3	6,90	160	91	25	83	74	89
4	6,90	327	81	76	48	-	-
5	6,90	190	89	63	57	62	91

Tüm örneklerin KOİ değerleri incelendiğinde hiçbirinin sınırın altında olmadığı görülebilir. Örneklerin bulanık görünmeleri nedeniyle bir pıhtılaştırıcı ilavesiyle

daha temiz bir su elde edilebileceği düşünülendiğinden, 3 ve 5 nolu örnekler birleştirilip  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ve %10'luk kireç sütü kullanılarak ek arıtım deneyleri gerçekleştirildi. Bu deneylerin bulguları Çizelge 7.13'te verilmiş bulunmaktadır.

Çizelge 7.13. Biyolojik arıttımdan sonra alınan örnekler üzerinde  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ve kireçle pıhtılaştırma-yumaklaştırma deneyleri bulguları

Çöktürücü dozu (mg/l)	Katılan CaO miktarı (mg/l)	pH	KOİ' (mg/l)	KOİ'de % azalma	KOİ'de toplam % azalma
100	50	7,00	25	86	99
200	50	7,00	30	83	98
500	70	5,00	46	74	97
1000	100	5,50	29	83	98
1500	150	5,00	38	78	98
2000	300	5,70	23	87	99

Not: KOİ'de % azalma pıhtılaştırma-yumaklaştırma deneyi için hesaplanmıştır. KOİ'de toplam % azalma ise ham atıksuya göre hesaplanmıştır.

Son işlemlerle arıtılmış atıksuyun KOİ değerinin sınır değer olan 100 mg/l'nin çok altına düştüğü ve gayet berrak bir su elde edildiği görüldüğünden deneysel çalışmalara burada son verilmiştir.

## 8. BULGULARIN TARTIŞILMASI, SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kağıt fabrikası ham atıksuyundan değişik tarihlerde alınan kompozit örneklerle, değişik arıtım yöntemleri uygulanarak ham atıksudaki  $KOİ$  ve  $BOİ_5$  değerlerini SKKY'nin öngördüğü sınır değerlerinin altına düşürebilmek ve fabrikadaki arıtım tesisinin etkin bir şekilde çalışabileceği koşulları belirlemek için pıhtılaştırma-yumaklaştırma, adsorpsiyon ve biyolojik(aktif çamur) arıtım deneyleri yapılmış; elde edilen bulgular 7,1, 2, 3, 4 ve 5 altbölümlerinde verilmiş bulunmaktadır. Bu bölümde ise bulgular ayrı ayrı tartışılıp sonuçlar çıkarılacaktır.

### 8.1. Arıtım Tesisinin Etkinliğinin Tartışılması

Çizelge 7.1 ve 7.2'nin incelenmesi fabrikada mevcut endüstriyel atıksu arıtım tesisine giren atıksuyun ve buradan çıkan arıtılmış atıksuyun (ki bu doğrudan doğruya deşarj edilmektedir) nitelikleri hakkında fikir verir.

Ham atıksuyun debisini ölçme olanağı bulunmamakla birlikte arıtılmış atıksuyun debisi ile ilgili olacağı açıktır. Ancak zaman zaman arıtılmış atıksuyun bir kısmının (nicelik bilinmiyor) bazı kullanım amaçlarıyla işletmeye geri alındığı bilindiğinden, bu iki debi her zaman aynı olmayacaktır. Arıtılmış atıksu debisi çok değişkendir (bkz. Çizelge 7.2). Bu da ham atıksuyun debisinin çok değişken olduğunu gösterir. İşletmede iki kağıt makinesi bulunması, bunların bazen aynı anda çalışması ve bazen birinin çalışması, diğerinin temizleniyor olması atıksu debi değişimlerinin başlıca nedenidir. Gerçi arıtım tesisi öncesinde bir dengeleme havuzu bulunduğu belirtilmektedir ama hacminin çok yetersiz oluşu ( $16 m^3$ ) debiyi yeterli ölçüde dengeleyememektedir. Hemen her atıksu

arıtım tesisinin başarılı çalışması olabildiğince sabit debide atıksu beslenmesi koşuluna bağlıdır.

Çizelge 7.1 ve 7.2 incelendiğinde hem ham atıksuyun hem de arıtılmış atıksuyun pH değerlerinin fazla değişken olmayıp yedi dolayında bulunduğu görülebilir. Arıtılmış atıksuyun pH değerinin 6-9 arasında(bkz. Ek Açıklamalar A) bulunması gerekmektedir ve bu bakımdan tüm örnekler uygundur. Ancak, arıtım tesisinin  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ve zaman zaman organik polielektrolit kullanarak pıhtılaştırma-yumaklaştırma yöntemiyle arıtım yaptığı düşünülürse, yeterli çöktürücü dozu verilseydi çıkışta pH değerlerinin daha düşük olması beklenirdi; çünkü herhangi bir baz ilavesi yapılmamaktadır.

Ham atıksuda AKM tayinleri yapılmış ve oldukça yüksek değerler bulunmuştur(bkz. Çizelge 7.1). Ancak SKKY'nde bu parametre için sınır değer verilmediğinden arıtılmış atıksuda bu tayin yapılmamıştır. SKKY'nde ÇKMH sınır değeri verilen bir parametredir ve bu da AKM'nin bir tür göstergesidir. ÇKMH ham atıksuda genellikle yüksek değerler aldığı halde, arıtılmış atıksuda sınır değer olan 0,5 ml/l'nin altında kalmaktadır(bkz. Çizelge 7.2 ve Ek Açıklamalar A). Arıtım tesisinin iyi bir fiziksel çökeltim sağladığı söylenebilir. Elbette çökelticiden çıkan suyun kum filtrelerinden geçirilmesi de katı madde tutmada etkili olmaktadır.

Çizelge 7.1'in incelenmesiyle ham atıksu KOİ değerlerinin hem çok yüksek hem de değişken olduğu anlaşılabilir. Bu değişkenlik yine yeterli bir dengeleme havuzu bulunmamasından ileri gelir. Arıtılmış atıksu örneklerinin tümünde KOİ değerlerinin derişim birimiyle SKKY'nin öngördüğü 100 mg/l'nin çok üstünde olduğu (iki katından fazla) Çizelge 7.2'de görülmektedir; ancak birim üretim başına verilen yük birimiyle (kg/ton) hesaplanmış değerler sınırın (6 kg/ton) altında kalmaktadır. SKKY'nin incelenmesiyle bu sınır değerlerin birinin sağlanmasının yeterli

olmayıp ikisinin de sağlanması gerektiği anlaşılmaktadır (Resmi Gazete, 1988).

$BOI_5$  değerleri bakımından çizelge 7.1 incelendiğinde  $KOI$  değerlerinden beklenen ölçüde yüksek değerler bulunmadığı görülmektedir. Bunun çeşitli nedenleri olabilir. Bunlardan en önemli ikisi ya kimyasal olarak yükseltgenebilen fakat biyokimyasal olarak (mikroorganizmalar tarafından) parçalanması güç olan organik maddeler bulunmaktadır ya da ortamda mikroorganizma faaliyetlerini yavaşlatan zehirli maddeler vardır. Çoğu zaman örneklerin  $H_2S$  kokulu oluşu (sülfat indirgeyen bakteri faaliyetlerinden ileri geldiği düşünülmektedir) ikinci olasılığı kuvvetlendirmektedir.

Çizelge 7.2'deki arıtılmış atıksuların  $BOI_5$  değerleri derişim birimiyle sınır değer olan 40 mg/l'yi aşmakla birlikte, birim üretim başına sınır değer olan 3 kg/ton değerinin altında bulunmaktadır.

Sonuç olarak mevcut durumda atıksu arıtım tesisinin gerekli ölçüde arıtım yapmadığı söylenebilir. Bunun nedenleri seçilen yöntemin (pıhtılaştırma-yumaklaştırma) uygun olmaması olabileceği gibi, yöntem uygun olsa bile uygulanan çalışma koşullarının doğru seçilmemesi de olabilir. Dengeleme havuzunun çok yetersiz oluşu zaten sabit çalışma koşullarının uygulanmasına olanak tanımayacaktır.

## 8.2. Kağıt Fabrikası Ham Atıksuyunun Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma Yöntemiyle Arıtım Bulgularının Tartışılması

Mevcut arıtım tesisinin doğru seçilen bir yönteme dayandığı varsayılarak, öncelikle çok yaygın olarak kullanılan iki pıhtılaştırıcı ile pıhtılaştırma-yumaklaştırma denemeleri yürütülmüş ve sonuçlar topluca 7. bölümde verilmiştir.

Çizelgeler 7.3, 4, 5 ve 6 ile Şekil 7.1 birlikte incelenerek  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ve  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 'ün kullanılma-  
sıyla elde edilen bulgularda görüldüğü gibi KOİ değeri  
azalmakla beraber sınır değerinin altına inmediği, çöktürücü  
dozu arttıkça KOİ'nin azaldığı tespit edilmiştir.  $FeCl_3 \cdot$   
 $6H_2O$  ile daha düşük KOİ değerlerine inilmektedir (bkz.  
Şekil 7.1). Fakat pH'nın 2-3 gibi çok düşük değerlere  
düştüğü görülmektedir. pH değeri ortama kireç ilavesi  
ile 6-9 arasına çıkarılabilmektedir. AKM değeri, her  
iki pıhtılaştırıcının tüm dozlarıyla çok iyi giderilebil-  
mektedir (bkz. Şekil 7.2).

Bu gözlemler katılan pıhtılaştırıcıların askıda  
katıları (kolloidler dahil) çökeltilmede etkili olduğunu,  
ancak muhtemelen yüksek KOİ değerlerinden sorumlu olan  
çözünmüş organik maddeleri gideremediğini düşündürmektedir.  
Kağıt üretiminde kullanılan modifiye nişastalar (Kimyasal  
işlemlerle daha düşük moleküllü ve çözünür hale getiril-  
mişlerdir.) daha çok suda çözünmüş halde bulunacağından  
bu durumdan sorumlu olabilecektir.

Çizelge 7.3 ve 4 ile Çizelge 7.5 ve 6 karşılaştırıl-  
dığı anda aynı pıhtılaştırıcıların aynı dozları için farklı  
arıtım değerleri bulunduğu görülmektedir. Bu farklılık  
ham atıksu örneklerinin oldukça farklı karakterlerde  
(biri 2 saatlik diğeri 24 saatlik kompozit örnek) oluşundan  
ileri gelmektedir. Beklendiği gibi daha az kirli olan  
örnekle aynı pıhtılaştırıcı dozunda daha yüksek yüzde  
arıtım gözlenmektedir.

Öte yandan  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 'nun sedipur'la birlikte  
kullanılmasında da KOİ'da sınır değerinin altına inilmemek-  
tedir (bkz. Çizelge 7.7 ve Şekil 7.3); üstelik 1,5 mg/l'den  
daha büyük sedipur dozlarında KOİ değerinde artış başla-  
maktadır. Bunun nedeni organik bir madde olan sedipur'un  
kendi KOİ'dir (Uygan, 1989).

Sonuç olarak şu denilebilir: Kimyasal pıhtılaştırma-  
yumaklaştırma yöntemi ile bu kağıt fabrikası atıksularının



arıtılarak SKKY'nin derişim birimiyle sınır deęerlerinin altına dūřurūlmesi mūmkūn olmamaktadır. Deęişik arıtım yōntemleri denenmelidir.

### 8.3. Adsorpsiyonla Arıtım Bulgularının Tartışılması

Altbōlūm 7.3'teki Çizelge 7.8 incelendięinde kaba sūzme işlemini izleyen toz aktif karbonla adsorpsiyon ve ince sūzme işlemlerinin ayrı ayrı ve topluca etkileri deęerlendirilebilecektir.

Çalışılan 1.2.1990 tarihli ham atıksuyun KOİ deęeri 598 mg/l olup kaba GI cam filtresinden sūzme ile KOİ deęeri 303 mg/l'ye dūřmektedir. Bu hemen tamamı selūloz liflerinden oluřan irice askıda katı maddelerin uzaklařtırılmasından ileri gelir.

Çizelge 7.8'in sıfır adsorban nicelięine karřı gelen satırı incelendięinde KOİ deęerinin %17 daha azalarak 250 mg/l'ye indięi gōrūlebilir ki bu tūmūyle mavi bant sūzgeç kaęıdından sūzme (ince sūzme) işleмиyle tutulan ince liflerden ileri gelmelidir. řu halde adsorban kullanıldıęında KOİ'nin 250 mg/l'dan daha ařaęı dūřmesinin tūmūyle adsorpsiyondan ileri geldięi sōylenbilir.

Çizelge 7.8 ve řekil 7.4, 5 ve 6 incelendięinde adsorban nicelięinin artmasıyla önceleri KOİ'da hızlı bir azalma olduęu ancak daha sonra bu azalmanın önemsizleřtięi gōrūlebilir. Bu da beklenen bir durumdur; çūnkū aktif karbon tarafından adsorplanabilen maddelerin çoęu adsorplandıktan sonra adsorban nicelięini artırmanın bir yararı olmayacaktır.

Kaba sūzme-adsorpsiyon- ince sūzme işlemlerinin toplam sonucu en fazla %80'lik bir KOİ giderimidir. řu halde çalışılan örnek için KOİ'nı oluřturan maddelerin %20'sinin ne sūzme ile ne de aktif karbonla giderilemeyen tūrden olduęu ileri sūrūlebilir. Bazı indirgen ya da dięer bir deyiřle yükseltgenebilen inorganik maddeler

(sülfür ve sülfid gibi) bulunduğu düşünülmektedir. Örneklerin çoğunlukla  $H_2S$  kokulu olduğu daha önce belirtilmişti(bkz. Altbölüm 8.1).

Şekil 7.5 ve 6'da çizilmiş olan izotermler sıvılarda beklendiği gibi Freundlich tipi bir ilişki vermektedir ve izoterm denklemleri şekillerin üzerinde verilmiş bulunmaktadır. İzotermlerin (0,0) noktasından geçmemesi, KOİ'nin saf bir madde derişimi olmayıp çeşitli inorganik ve organik maddelerin bir toplam ölçütü oluşundan ileri gelir. Önceden değinildiği gibi KOİ oluşturan (bikromatı indirgeyen) ancak adsorplanmayan maddeler atıksuda bulunmalıdır.

Sonuç olarak uygulanan işlemler dizisiyle KOİ değeri sınır değer(100 mg/l) altına indirilememiş, ancak ona bir hayli yaklaşmıştır. Adsorpsiyondan önceki kaba süzme işlemi yerine bir pıhtılaştırıcı ile pıhtılaştırma yumaklaştırma işlemi uygulanıp bundan sonra adsorpsiyon-ince süzme işleminin yeterli arıtımı sağlayabileceği düşünüülerek aynı atıksuda bu yol izlenmiştir.

#### 8.4. Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma-Adsorpsiyonla Arıtım Bulgularının Tartışılması

Çizelge 7.9'dan incelenebileceği gibi başlangıçtaki KOİ değeri 598 mg/l olan ham atıksu pıhtılaştırma-yumaklaştırma işleminden sonra 258 mg/l KOİ değerine düşürülmüştür. Kaba süzme ile KOİ'nin 303 mg/l'ye indiği anımsanırsa pıhtılaştırma yumaklaştırma ile biraz daha fazla arıtım sağlanmaktadır. Böylece önarıtımdan sonra öncekiyle aynı koşullarda uygulanan adsorpsiyon işlemi öncekiyle benzer sonuçlar vermiş ve yine sınır değer altına inilememiştir.

Şekil 7.7 ve 7.8'de öncekine(Şekil 7.5 ve 6) benzer izotermler çizilmek istenmişse de noktaların çok dağınık olduğu gözlenmektedir. Regresyon katsayıları da doğrusal ilişki bulunduğunu iddia etmeye uygun değildir( $R \ll 1$ ).

Bunun nedeni pıhtılaştırma işlemi ile atıksuyun niteliğinin değişmesi olabilir.

Aktif karbon standart bir adsorban olduğundan öncelikle denenmiştir. Ancak aktif karbonun çok pahalı olduğu, rejenere edilmesi gerektiği, bunun maliyetinin yüksek olduğu düşünülerek; bir kez kullanıp atılabilecek nitelikteki linyit kömürü cürufu(külü) daha önceki bir çalışmaya dayanılarak(Doğan, 1989) denenmiştir. Cürufun aktif karbon kadar etkin olması beklenmediğinden ve maliyet çok az olduğundan fazla miktarlarda kullanılmıştır. Çizelge 7.10'daki veriler aktif karbonla yapılabilecek benzer koşullardaki deneylerle elde edilmiştir. Çizelgenin göze çarpan yanı genel olarak yine adsorban niceliğinin artışıyla az da olsa arıtım veriminin artmasıdır; ancak aktif karbona göre daha yüksek son KOİ değerleri elde edilmiştir. Tümüde sınır değer iki katı dolayındadır. Bu durumda cüruf da yeterli arıtımı sağlayamamaktadır denilebilir. Şekil 7.9 ve 10'da izotermler çizilmek istenmiş ancak regresyon sonucunda doğrusal ilişki bulunamamıştır. 1 g adsorban niceliğine karşı gelen ve hatalı olduğu sanılan nokta atılırsa kalan noktalardan doğrular geçirilebilir, ancak veri sayısının az olması nedeniyle bu yola gidilmemiştir.

Sonuç olarak gerekli arıtımın sağlanabileceği umularak denenilen iki basamaklı pıhtılaştırma-yumaklaştırma ve adsorpsiyon uygulaması da deşarj edilebilir nitelikte bir atıksu vermemiştir.

#### 8.5. Aktif Çamur Yöntemiyle Arıtım Bulgularının Tartışılması

Fabrikadaki arıtım tesisinde bulunan donanımlardan yararlanılarak uygulanabileceği düşünülen arıtım yöntemleri ve bunların birleşimi yeterli sonuç vermediğinden, bazı değişiklik ve eklemeler de gerektirse, biyokimyasal arıtım yönteminin denenmesi yoluna gidilmiştir. Kağıt

fabrikası atıklarına biyolojik arıtım yöntemlerinin uygulanabileceği bilinmektedir.

Bölümümüzde daha önce kurulmuş ve başka atıksularla uygun çalışma koşulları saptanmış bir aktif çamur düzeneğinde yapılan ilk deneyin sonuçları çizelge 7.11'de görülmektedir. Çizelgenin incelenmesiyle uygulanan çalışma koşullarında, yeterli aktif çamur derişimi sağlanamamasına karşın(havalandırma tankında çökebilen katı madde hacmi= 1,070,2 ml/l ki 200 ml/l dolayında olması istenir), KOİ ve BOİ<sub>5</sub> değerlerinin sırasıyla sınır değerler olan 100 mg/l ve 40 mg/l'nin altına düştüğü görülebilir. Bu olumlu sonuç yanıltıcı olabilir; çünkü o deneyde kullanılan ham atıksu diğerlerine hiç benzemeyecek ölçüde temizdir. Çizelge 7.1'in incelenmesiyle bu durum kolayca anlaşılabilir. Alınan örnek hem iki saatlik kompozittir, hem de işletmenin duruş anına denk gelmiş olmalıdır. Bu kuşkuvar nedeniyle ikinci kez ve 24 saatlik kompozit örnek alınmış ve bununla deney yinelenmiştir. Bu kez de çalışılan atıksuların en kirlisi ile (bkz. Çizelge 7.1) deney yürütüldüğünden alınan ilk iki arıtılmış su örneğinin KOİ değerlerine hemen bakılmış ve sınır değerler çok üstünde değerler bulunması önceki kuşkuvarı doğrulamıştır. Bu aşamada takviye amacıyla havalandırma tankına bir kez 50 g aktif karbon atılmış ve çizelge 7.12'deki son üç örnek alınmıştır. Çalışma düzenindeki aksamaya denk gelmesi nedeniyle 4. örnek göz önüne alınmayacaktır. 3 ve 5. örnekler ele alındığında çok kirli bir sudan yola çıkılmasına karşın %90 KOİ azalışı elde edildiği görülmektedir. Bu sonucun ancak aktif karbon takviyesi ile elde edilmiş olduğu unutulmamalıdır ve arıtılmış suyun KOİ değerinin sınır değerler üstünde olduğuna da dikkat edilmelidir. Bu nitelikte bir su deşarj edilemeyeceğine göre bir işlem daha uygulanması gerekecektir ve suyun bulanık olması pıhtılaştırmanın sonuç verebileceğini düşündürmüştür.

Çizelge 7.12'deki örnek 3 ve 5 birleştirilerek  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ve kireçle pıhtılaştırma-yumaklaştırma deneyleri yapıldığında elde edilen bulguların verildiği Çizelge 7.13 incelendiğinde 100 mg/l gibi düşük bir pıhtılaştırıcı dozunun bile sınır değerini çok altında KOİ'na sahip atıksu verdiği anlaşılabilir. Böylece sorun çözülmüş görünmektedir. Çizelgede çöktürücü dozu arttığında görülen arıtımda düşmeler yetersiz kireç ilavesi nedeniyle pH'ın 5 gibi düşük değerlerde kalmasından ileri gelir. Bu pH'ta  $Al(OH)_3$  çökmesi tam olarak gerçekleşmez. Yine de tüm dozlarda KOİ sınır değerinin yarısından bile azdır. Ancak pH değeri 6,0'ın üstünde olacak şekilde kireç ilave edilmesinin zorunlu olduğu da unutulmamalıdır (bkz. Ek Açıklamalar A).

#### 8.6. Genel Sonuçlar ve Öneriler

İncelenen kağıt fabrikasının endüstriyel atıksuyu arıtılmadan deşarj edilemez. Arıtım derecesini ise Çevre Kanunu uyarınca yayınlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği belirlemektedir (bkz. Ek Açıklamalar A). Mevcut arıtım tesisi uygulanmakta olan çalışma düzeninde gerekli arıtımı sağlayamamaktadır. Pıhtılaştırıcı dozunu ya da türünü değiştirmekle de istenilen nitelikte atıksu elde edilememektedir.

Kaba süzme-adsorpsiyon-ince süzme ve pıhtılaştırma-yumaklaştırma-adsorpsiyon-ince süzme birleşik işlemlerinden sonra da gerekli deşarj standartlarına erişilememektedir.

Aktif çamur yöntemiyle biyokimyasal arıtım işlemi, uygulanan koşullarda, ham atıksu az kirli olduğunda tek başına deşarj edilebilir nitelikte atıksu verebilmekle birlikte, ham atıksu çok kirli olduğunda aktif karbon takviyesi ile dahi istenen nitelikte atıksu vermemektedir. Bu işlemi izleyen küçük dozda bir  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ile pıhtılaştırma-yumaklaştırma işlemi çok yüksek nitelikte atıksu elde edilmesini sağlamaktadır.

Atıksu arıtım tesisinin önüne, sürekli debi ölçümlerine dayanılarak hesaplanan uygun hacimde bir dengeleme tankı konulmadıkça arıtım tesisine giren ham atıksu debisi ve niteliği sürekli değişerek güvenli bir çalışma düzenine olanak vermeyecektir. Ancak iyi dengelenmiş ham atıksu özellikleri belirlenip bununla deneyler yapıldığında tasarıma temel oluşturacak daha sağlıklı bilgiler elde edilebilecektir.

Dengeleme havuzu konulmadıkça, biyokimyasal arıtıma geçilse de güvenilir bir çalışma düzeni sağlanamaz ve sistemde çok sık analizler yapıp sık sık müdahale etmek gerekecektir. Ham su KOİ değerine göre, belli değerlerin üzerinde havalandırma tankına aktif karbon ilave etmek bununla yeterli sonuç alınamazsa aktif çamurun ayrıldığı tanktan sonraki ikinci bir çökeltme tankında pıhtılaştırma-yumaklaştırma işlemi yapmak gerekecektir. Bu çalışma düzeni ise hem çok sayıda nitelikli personel hem de fazlaca analiz giderleri gerektirecektir.

Yapılabilecek öneriler şunlardır:

- 1-2 ay gibi bir süre saatte bir ham atıksu debisi ölçülmelidir.
- Aynı sürede 1-2 saatlik kompozit ham atıksu örnekleri alınıp analiz edilerek değişim gözlenmeli ve her örnek alma zaman aralığında işletmedeki çalışma koşulları izlenip not edilmelidir.
- Yukarıda elde edilen verilere dayanarak gerekli dengeleme havuzu hacmi hesaplanmalıdır.
- Dengelenmiş atıksu özelliklerine yakın nitelikte atıksu örnekleri ile aktif çamurla arıtım deneyleri yapılmalıdır. Deneylerde önemli bazı parametreleri değiştirip etkilerini gözlemek ve olabildiğince uygun çalışma koşullarını belirlemek uygun olacaktır.
- Belirlenen çalışma koşulları için mevcut arıtım tesisinin olanaklarını en fazla kullanacak şekilde bir tasarım yapılmalıdır.

## EK AÇIKLAMALAR A

SELÜLOZ, KAĞIT, KARTON VE BENZERİ SANAYİLERİN  
ALICI ORTALAMA DEŞARJ STANDARTLARI  
(Resmi Gazete, 1988)

TABLO 13.1: SEKTÖR: SELÜLOZ, KAĞIT, KARTON VE BENZERİ  
SANAYİ (YARI SELÜLOZ ÜRETİMİ)

P A R A M E T R E	BİRİM	ANLIK NUMUNE	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
DEBİ	(m <sup>3</sup> /t)		100
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/l)		300
	(kg/t)		30
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/l)		800
	(kg/t)		80
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/l)		50
	(kg/t)		5
ÇÜKEBİLİR KATI MADDE	(ml/l)	3	
BALIK BİYODENEYİ (ZSF)			8

TABLO 13.2: SEKTÖR: SELÜLOZ, KAĞIT, KARTON VE BENZERİ SANAYİ  
(HURDA KAĞIT, SAMAN VE KAĞITTAN AĞARTILMAMIŞ  
SELÜLOZ ÜRETİMİ)

P A R A M E T R E	BİRİM	ANLIK NUMUNE	KOMPOZİK NUMUNE 24 SAATLİK
DEBİ	(m <sup>3</sup> /t)		150
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/l)		270
	(kg/t)		40
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/l)		870
	(kg/t)		130
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/l)		80
	(kg/t)		12
ÇÜKEBİLİR KATI MADDE	(ml/l)	4,5	
BALIK BİYONEDEYİ (ZSF)			8

TABLO 13.3: SEKTÖR: SELÜLOZ, KAĞIT, KARTON VE BENZERİ SANAYİİ  
(AĞARTILMIŞ SELÜLOZ ÜRETİMİ)

P A R A M E T R E	BİRİM	ANLIK NUMUNE	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
DEBİ	(m <sup>3</sup> /t)		200
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/l)		350
	(kg/t)		70
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/l)		1000
	(kg/t)		220
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/l)		50
	(kg/t)		10
ÇÖKEBİLİR KATI MADDE	(ml/l)	6	
BALIK BİYODENEYİ (ZSF)			8

TABLO 13.4: SEKTÖR: SELÜLOZ, KAĞIT, KARTON VE BENZERİ SANAYİİ  
(SAF SELÜLOZ ÜRETİMİ)

P A R A M E T R E	BİRİM	ANLIK NUMUNE	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
DEBİ	(m <sup>3</sup> /t)		230
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/l)		500
	(kg/t)		120
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/l)		1500
	(kg/t)		350
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/l)		50
	(kg/t)		11.5
ÇÖKEBİLİR KATI MADDE	(ml/l)	7	
BALIK BİYODENEYİMİ (ZSF)			8

TABLO 13.5: SEKTÖR: SELÜLOZ, KAĞIT, KARTON VE BENZERİ SANAYİİ  
(NİŞASTA KATKISIZ KAĞIT)

P A R A M E T R E	BİRİM	ANLIK NUMUNE	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/l)		40
	(kg/t)		3
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/l)		100
	(kg/t)		6
ÇÖKEBİLİR KATI MADDE	(ml/l)	0.5	



TABLO 13.6: SEKTÖR: SELÜLOZ, KAĞIT, KARTON VE BENZERİ SANAYİİ  
(NİŞASTA KATKILI KAĞIT)

P A R A M E T R E	BİRİM	ANLIK NUMUNE	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/l) (kg/t)		40 3
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/l) (kg/t)		100 8
ÇÖKEBİLİR KATI MADDE	(ml/l)	0.5	

TABLO 13.7: SEKTÖR: SELÜLOZ, KAĞIT, KARTON VE BENZERİ SANAYİİ  
(SAF SELÜLOZDAN ELDE EDİLEN ÇOK İNCE DOKULU KAĞIT)

P A R A M E T R E	BİRİM	ANLIK NUMUNE	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/l) (kg/t)		40 6
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/l) (kg/t)		120 15
ÇÖKEBİLİR KATI MADDE	(ml/l)	0.5	

TABLO 13.8: SEKTÖR: SELÜLOZ, KAĞIT, KARTON VE BENZERİ SANAYİİ  
(YÜZEY KAPLAMALI, DOLGULU KAĞIT)

P A R A M E T R E	BİRİM	ANLIK NUMUNE	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/l) (kg/t)		35 0.7
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/l) (kg/t)		75 2*
ÇÖKEBİLİR KATI MADDE	(ml/l)	0.5	

(\*) %50'sinden fazlası termomekanik hamur ise bu değer 5 olur.

TABLO 13.9 : SEKTÖR: SELÜLOZ, KAĞIT, KARTON VE BENZERİ SANAYİİ  
(%5'TEN FAZLA ODUN LİFLERİ İHTİVA EDEN ANCAK  
KIRPINTI KAĞIT YÜZDESİ YÜKSEK OLMAYAN KAĞIT)

P A R A M E T R E	BİRİM	ANLIK NUMUNE	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/l) (kg/t)		35 0.8
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/l) (kg/t)		100 5
ÇÖKEBİLİR KATI MADDE	(ml/l)	0.5	

TABLO 13.10: SEKTÖR: SELÜLOZ, KAĞIT, KARTON VE BENZERİ SANAYİİ  
(KIRPINTI KAĞITTAN İMAL EDİLEN KAĞIT)

P A R A M E T R E	BİRİM	ANLIK NUMUNE	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/l) (kg/t)		45 1.2
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/l) (kg/t)		120 6
ÇÖKEBİLİR KATI MADDE	(ml/l)	0.5	

TABLO 13.11: SEKTÖR: SELÜLOZ, KAĞIT, KARTON VE BENZERİ SANAYİİ  
(PARŞÖMEN KAĞIDI)

P A R A M E T R E	BİRİM	ANLIK NUMUNE	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/l) (kg/t)		40 6
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/l) (kg/t)		100 12
ÇÖKEBİLİR KATI MADDE	(ml/l)	0.5	

## EK AÇIKLAMALAR B

## KULLANILAN ALÜMİNYUM SÜLFATIN ANALİZİ

Kullanılan alüminyum sülfat Kütahya ilinin Şaphane ilçesinde kurulu DOSTEL ALÜMİNYUM SÜLFAT FABRİKA'ndan sağlanmış teknik saflıkta bir maddedir. İri parçalar (yaklaşık 5-6 mm) halindeki madde dövülerek 100 mesh'lik elekten tamamı geçirilmiştir. Analiz Türk Standartları Enstitüsü'nün (Türk Standartlar Enstitüsü, 1975) belirlediği analiz metoduna göre yapılmış, elde edilen değerler aşağıda çizelgede gösterilmiştir.

ÖZELLİKLER	%
Alüminyum ( $Al_2O_3$ ) olarak	14,63
Suda çözünmeyen madde	0,28
Demir (Fe olarak)	0,05
Sülfat ( $SO_3$ olarak)	37,04
$H_2O$	48

## EK AÇIKLAMALAR C

## KULLANILAN CÜRUF VE AKTİF KARBONUN ÖZELLİKLERİ

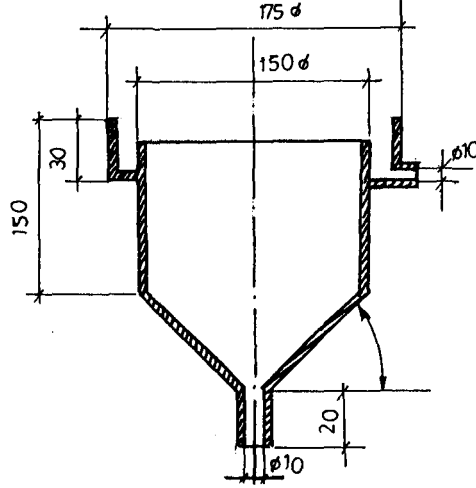
Aktif karbonların adsorpsiyon kapasiteleri ve seçicilik özellikleri türetildiği maddenin cinsine göre ve üretildiği koşullara göre farklılık gösterir. Ortak özellikleri, yüzey polariteleri az olduğundan diğer adsorbanlara göre polar olmayan molekülleri daha iyi tutarlar.

Çalışmada kullanılan aktif karbon bitkisel kökenli 250 g'lık paketler halinde satılan bir toz aktif karbondur.

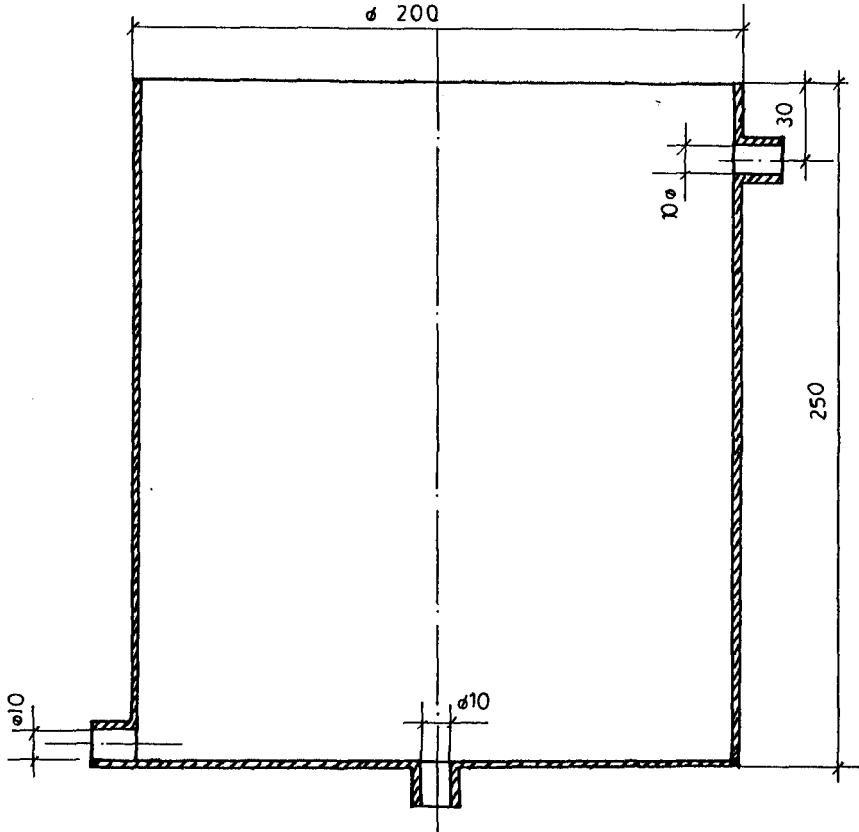
Çalışmamızda kullanılan cüruf ise Sümerbank Eskişehir Basma Fabrikası kazanında Siyetömer linyit kömürünün yakılması sonucunda meydana gelen atıktır. İçerisinde %5-6 civarında karbon bulunduğu işletme yetkilileri tarafından belirtilmiştir. Aktif karbon ve cüruf ile ilgili özellikler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Adsorban	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Özgül yüzey alanı (cm <sup>2</sup> /g)	Tanecik çapı (cm)	Nem %
Aktif karbon	1,4118	1219,67	6,097×10 <sup>-3</sup>	-
Cüruf	1,935	147,95	0,0366	17,8

EK AÇIKLAMALAR Ç  
 AKTİF ÇAMUR ARITIM DÜZENİĞİNİ OLUŞTURAN  
 BİRİMLER VE ÖZELLİKLERİ



Çökeltme tankı (304 paslanmaz çeliğinden).



Havalandırma tankı (304 paslanmaz çeliğinden).

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akdeniz, K., 1985, "Bazı endüstriyel ve evsel atıksuların adsorpsiyon yöntemi ile arıtılması", Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 64s.(Yayımlanmamış).
- Baban, A. ve Çamlılar, S. 1986, Boya endüstri atıksularının arıtılması, Kimya Mühendisliği Dergisi, 119, 18-20.
- Bayraktar, T.C., Ünal, G., Atak, S., Yalçın, T., Kaytaç, Y., Maytalman, D., Ateşok, G., Gürkan, V., Acarkan, N. ve Acarkan, S., 1978, Bozüyük Vitra Seramik Fabrikası atıksularının arıtılması deneyleri, İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Kürsüsü, 12 s. (Yayımlanmamış Rapor).
- Berkem, A.R. ve Baykut, S., 1980, "Fizikokimya", İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 812 s.
- Berkün, M., 1982, Effect of inorganic metal toxicity on BOD-I, Methods for the estimation of BOD parameters-II, Water Research, 16, 559-564.
- Billings, M.R. and DeHaas, G.G., 1984, Pollution control in the pulp and paper industry, "Industrial Pollution Control Handbook", H.F. Lund (Ed.), McGraw-Hill Book Company, NewYork, Chapter 18, 1-17.
- Böhler, E., Kolobava, Z.A., Vejster, V.I. und Valther, H.J., 1978, Zur Wirkung von Flockulanten bei der Wasser-und Schlammbehandlung, Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 28, 27-33.
- Constable, F.H., 1975, "Fizikokimyaya Giriş", (Çev. D.H. Feridun) İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi Besimevi, İstanbul, 100 s.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Çelebi, S. ve Yeşilnacar, Ş., 1988, The use of polymers in the treatment of river water, Çevre'88 Dördüncü Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi, İzmir.
- Çetişli, H., 1988, Heterojen katalizler ders notları, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir (Yayımlanmamış).
- Dean, R.B., 1956, "Modern Kolloidler", (Çev. B. Baysal), T.C. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, İstanbul, 332 s.
- Doğan, A., 1989, "Bir pamuklu tekstil fabrikası atıksuyunun adsorpsiyon yöntemiyle arıtılabilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 99 s. (Yayımlanmamış).
- DSİ, 1980, "Department of Water Supply and Sewerage, Protection of Inland Water Quality", Porsuk River Pilot Project, TUR/77/019.
- Enuysal, M., 1977, Basma Sanayisinin atıksu problemleri, Eskişehir Sümerbank Basma Fabrikasında atıksu karakter belirleme çalışmaları, TÜBİTAK VI. Bilim Kongresi, Çevre Arartırma Grubu Tebliğleri, Ankara, 101-112.
- Fair, M.G., Geyer, I.C., and Okun, D.A., 1968. "Water and Wastewater Engineering", John Wiley and Sons, USA Toppan Company, Japan, Chapter 28, 30.
- Gregg, S.J. and Sing, K.S.W., 1967, "Adsorption, Surface Area and Porosity," Academic Press, London, 371p.
- Gürbüz, E., 1985, "Bazı Endüstriyel ve evsel atıksuların fizikokimyasal çöktürme yöntemi ile arıtılması", Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 70 s. (Yayımlanmamış).

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Karman, E., 1990, Türkiye Kağıt ve Selüloz Sanayii İle Çevre Sorunları, Kağıt Sanayii ve Çevre Paneli, 26 Mart 1990, İstanbul.
- Kestioğlu, K., Şengül, F., 1983, Endüstri atıksularının biyolojik ayrışabilirliklerinin incelenmesi, Çevre'83 II. Ulusal Çevre Mühendisliği Sempozyumu, Atatürk Kültür Merkezi, SÇ. 37-45, İzmir.
- Kor, N., 1974, "Çevre Sağlığı ve Teknolojisi, Cilt: I, Kullanılmış Suların Uzaklaştırılması ve Tasfiyesi", İTÜ Matbaası, sayı: 994, Gümüşsuyu, İstanbul, 525 s.
- McGraw-Hill, 1982, "Encyclopedia of Science and Technology Per-prog., New York, vol.3, 861 p.
- Mert, I., 1990, Su Ürünleri Mevzuatı, Sanayi ve Çevre İlişkileri, Kağıt Sanayii ve Atıkları. Kağıt Sanayii ve Çevre Paneli, 26 Mart 1990, İstanbul.
- Mishra, S.K., 1989, Polymer flockulation of fine particles, The Practical developments, Pollution Engineering, part 1, 21, 102-105.
- Muslu, Y., 1985, "Su Temini ve Çevre Sağlığı", Cilt III, İTÜ Kütüphanesi, sayı: 1314, Gümüşsuyu, İstanbul, 792 s.
- Özgen, S. ve Sürücü, G., 1983, Kanalizasyon sularının fizikokimyasal arıtımında sodyum alüminat kullanımı, Çevre' 83 II. Ulusal Çevre Mühendisliği Sempozyumu, Atatürk Kültür Merkezi , ÇT.8-11, İzmir.
- Öztürk, B., Akyüz, F., Diler, İ. ve Yıldız, G., 1989, Bir pamuklu Tekstil Fabrikası Atıksuyunun Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, Bitirme Ödevi, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 45 s. (Yayımlanmamış).



## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Resmi Gazete, 4 Eylül 1988, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Sayı: 19919.
- Resmi Gazete, 12 Mart 1989, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Suda Tehlikeli ve Zararlı Maddeler Tebliği, Sayı: 20106.
- Rudolfs, W., 1967, "Pis Su Tasfiyesinin Prensipleri," (Çev. Y. Muslu), İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 692, 141 s.
- Samsunlu, A., 1980, Endüstri kullanılmış sularının evsel pis sularla birlikte arıtılabilmelerinin "indirgenbilirlik faktörü" yardımı ile belirlenmesi, TÜBİTAK VII. Bilim Kongresi, Çevre Araştırma Grubu Tebliği, İstanbul, 259-265.
- Sang, E., Shin, H.S., and Paik, B.C., 1988, Treatment of chromium(vi) containing wastewater by addition of powdered activated carbon to the activated sludge process, 47, 121-130 (Chemical Abstracts, 30 may.1988, vol.108).
- Satterfield, C.N., 1980, "Heterogeneous Catalysis in Practise," McGraw-Hill Book Company Ltd., New York, 416 p.
- Schlichting, P., Ditrich, H.W., Schmook, K.H., Blitzke, R., 1980, Anwendung des Belebtschlammverfahrens zur gemeinsamen Renigung von unterschiedlichen Industriel-und Kommunalabwassern, Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 30(7), 247-249.
- Sehic, O.A., 1981, Fluidised sand recycle reactor for aerobic biological treatment of sewage, Cooper, P.F. and Atkinson, B. (Eds.), Biological fluidised bed treatment of Water and wastewater, 179-189.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Şelek, A., 1988 "Eskişehir evsel ve endüstriyel atıksularının aktif çamur yöntemiyle birlikte arıtılabilirliği", Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 172s.(Yayımlanmamış).
- Sekizawa, T., Fujie, K., Kubota, H., Kasakura, T., Mizuno, A., 1985, Air diffuser performance in activated sludge aeration tanks, JWPCF, 57(1), 53-59.
- Shoemaker, D.P., Garland, C.W., and Steinfeld, J.I., 1974, Experiments in Physical Chemistry, McGraw-Hill Book Company, 336 p.
- "Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater" 1985, 16th Edition, APHA, AWWA, WPCF, Washington, DC. 1268p.
- Suschka, J., 1980, Biooxidation in a continuous activated sludge process, Water Research, 14, 197-205.
- Şengil, A., 1983, Su tasfiyesinde alunit ile pıhtılaştırma üzerine bir araştırma, Çevre' 83, II. Ulusal Çevre Mühendisliği Sempozyumu, Atatürk Kültür Merkezi ÇT.19-21, İzmir.
- Şengül, F., Müezzinoğlu, A. ve Samsunlu, A., 1982, "Çevre Mühendisliği Kimyası", Ege Üniversitesi İnşaat Fakültesi Ders Notları, İzmir, 267 s.
- Şengül, F., 1983, Tekstil sanayi atıksularında organik madde ve renk giderme ile ilgili laboratuvar model çalışmaları, Çevre' 83, II. Ulusal Çevre Mühendisliği Sempozyumu, Atatürk Kültür Merkezi SÇ.23-29, İzmir.
- Tchobanoglous, G., 1979, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, second edition, Tata - McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi, 920 p.
- Topacık, D., 1987, "Atıksu Arıtma Tesisleri İşletilmesi", İller Bankası Yayınları, Yayın No: 42, İstanbul.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- TÜBİTAK Bülteni, 1985, Yüksek Organik madde içerikli endüstriyel atıksuların arıtılması, biyogaz ve gübre üretimi, cilt: 2, sayı: 6, TÜBİTAK Matbaası, Ankara, sayfa: 18.
- Tünay, O., 1976, Kullanılmış suların arıtılmasında biyolojik yöntemler, Kimya Mühendisliği Dergisi, Ekim Sayısı, 28-34.
- Treybal, R.E., 1969, "Mass-Transfer Operations," Third Edition, McGraw-Hill Book Company Ltd., Tokyo, 784 p.
- Türk Standartları Enstitüsü, TS 1867/Mart 1975, UDK 661.862.8, Ankara.
- Uğurlu, A. ve Kalaoğlu, E., 1989, "Atıksu Arıtım Tesisleri Proses-İşletme-Bakım El Kitabı"; İller Bankası, UNDP WHO TUR/86/01/14, Ankara.
- Uygan, N., 1989, "Bozüyük yöresindeki fabrikaların atıksularının özelliklerinin belirlenmesi ve arıtım olanaklarının araştırılması" Yüksek lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 90s. (Yayımlanmamış).
- Üneri, S., 1969, "Kolloid Kimyası"; Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Ankara, 192 s.
- Vosloo, P.B.B., 1973, Oxygen requirements in the activated sludge process, Water Pollution Control, 72(2), 209-212.
- Voyutsky, S., 1978, "Colloid Chemistry," Mir Publishers, Moskow, 560p.
- Yeğin, M. ve Özdemir, M., 1988, "Eskişehir Sümerbank Basma Fabrikası Atıksuyunun Kimyasal Pıhtılaştırma ve Adsorpsiyon Yöntemleriyle Arıtılması," Bitirme Ödevi, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 55 s. (Yayımlanmamış).

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Wang, L.K., 1977, Adsorption, coagulation and filtration make a useful treatment combination, Part 2, Water and Sewage Works, 124, 32-36.
- Winkler, M.A., 1981, "Biological Treatment of Wastewater", Ellis-Horwood Publishers, John Wiley and Sons Ltd., 301 p.
- Wruble, W.E., Plummer, C.C., Hammer, M., 1974, Biological denitrification and phosphate removal, Journal of the Environmental Engineering Division, 100, EE5, 1199-1203.
- Wu, Y.C., Hsieh, H.N., Carey, D.F., and Ou, K.C., 1984, Control of activated sludge bulking, Journal of Environmental Engineering, 110(2), 472-491.

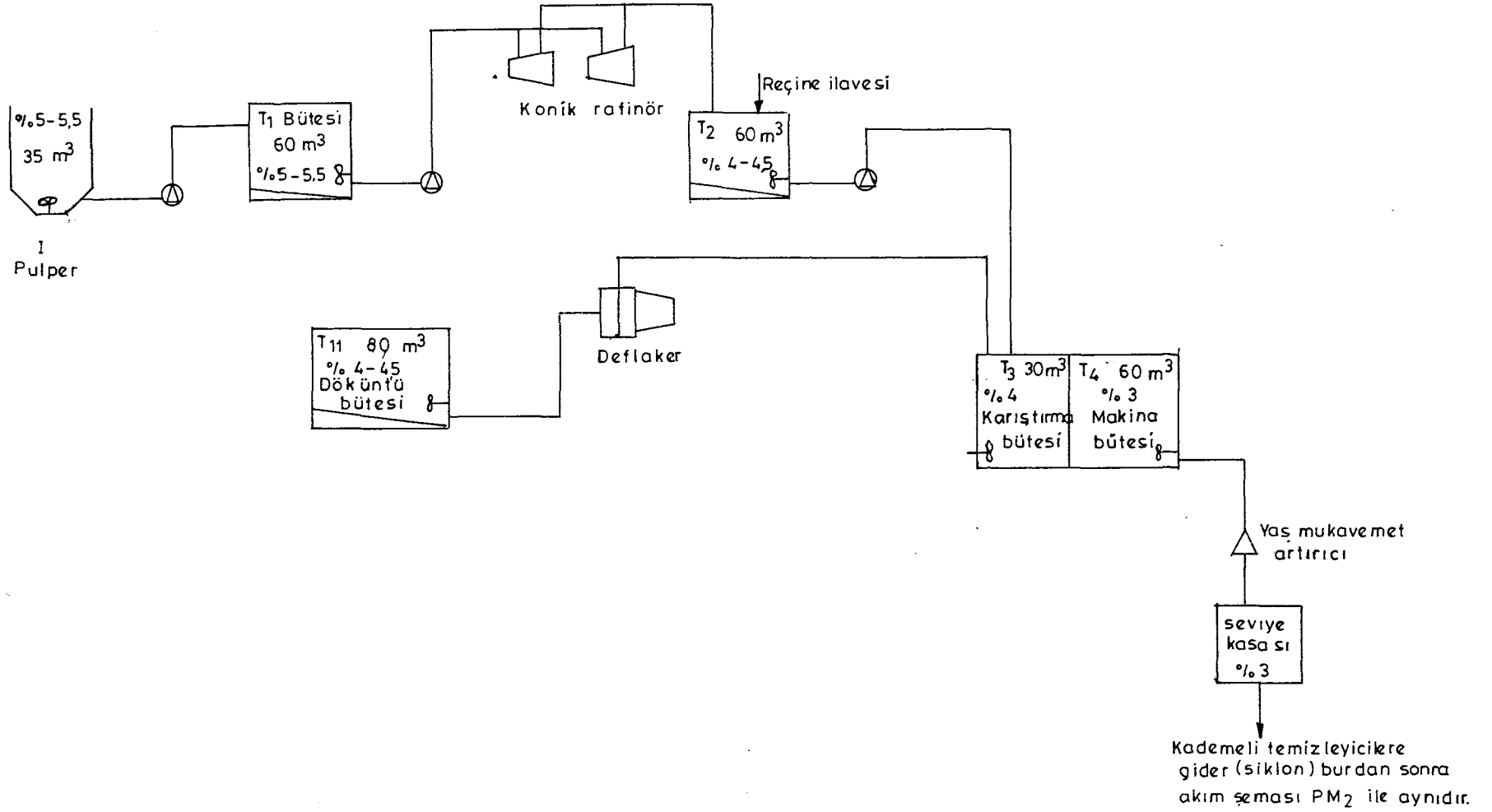
## EKLER

Ek-1. PM-1 Akış Şeması

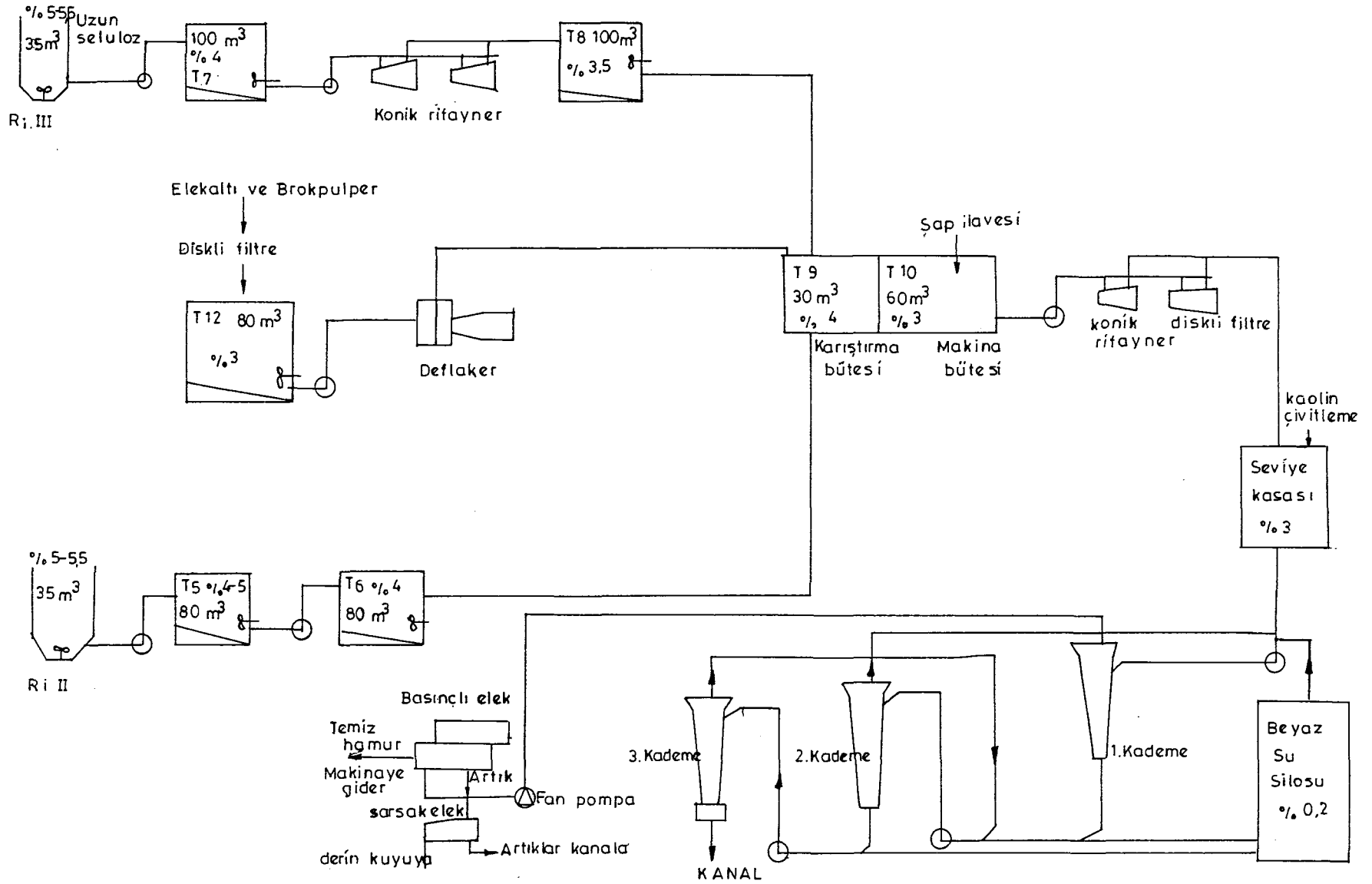
Ek-2. PM-2 Akış Şeması

Ek-3. Evsel Atıksu Arıtım Tesisi Akış Şeması

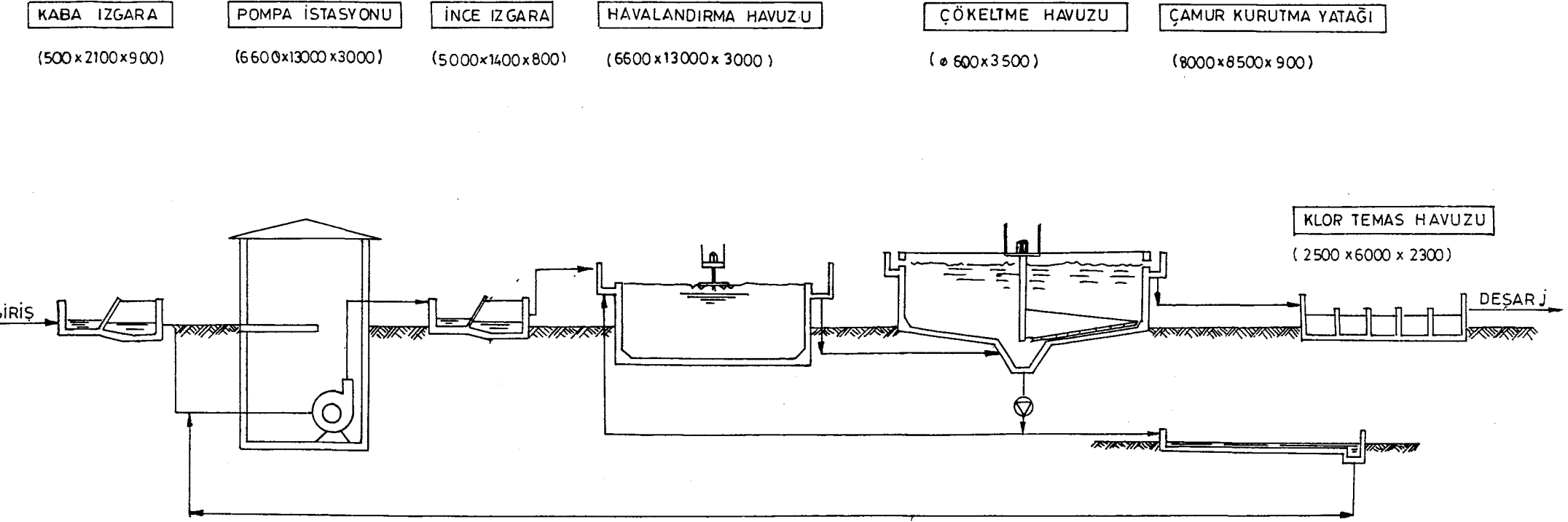
Ek-4. Endüstriyel Atıksu Arıtım Tesisi Akış Şeması



Ek-1. PM-1 AKIŞ ŞEMASI.

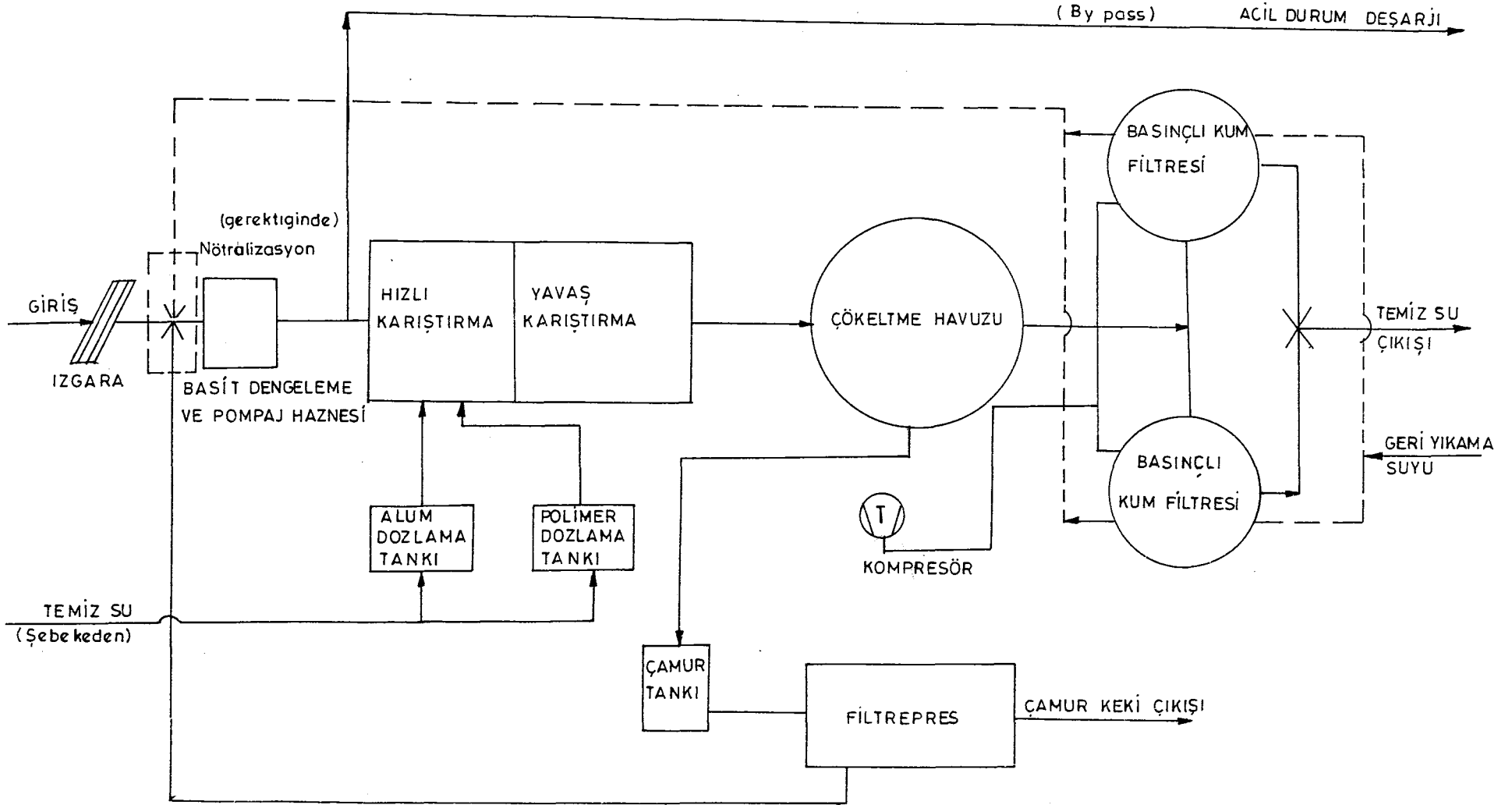


Ek-2. PM-2 AKIŞ ŞEMASI.



Ek-3. EVSEL ATIKSU ARITIM TESİSİ AKIŞ ŞEMASI.





Ek-4. ENDÜSTRİYEL ATIKSU ARITIM TESİSİ AKIŞ ŞEMASI.

