

84973

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL ATIKSULARIN FİZİKO-KİMYASAL
ARITILABİLİRLİĞİNİN TAM ÖLÇEKLİ BİR TESİSTE
ARAŞTIRILMASI**

Çevre Yük. Müh. Eyyüp DEBİK

**F.B.E. Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 03 Mayıs 1999
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet DEMİR (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU (GYTE)
: Prof. Dr. Ahmet M. SAATÇİ (MÜ)

**YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DÜZENLİ MANTASYON MERKEZİ**

İSTANBUL, 1999

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ.....	i
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ATIKSULARIN KARAKTERİZASYONU	3
2.1 Atıksuların Özellikleri	3
2.1.1 Atıksuların fiziksel özellikleri.....	3
2.1.2 Atıksuların kimyasal özellikleri	4
2.1.2.1 Organik maddeler	4
2.1.2.2 İnorganik maddeler	4
2.1.2.3 Gazlar	5
2.1.3 Atıksuların biyolojik özellikleri	6
2.2 Evsel Atıksuların Sınıflandırılması	6
2.2.1 Evsel atıksuların kirletici konsantrasyonlarına göre sınıflandırılması	6
2.2.2 Evsel atıksularda kirleticilerin partikül boyutlarına göre sınıflandırılması	6
3. EVSEL ATIKSULARIN ARITILMASINDA KULLANILAN KLASİK YÖNTEMLER.....	11
3.1 Mekanik Arıtma	11
3.2 Biyolojik Arıtma	12
4. EVSEL ATIKSULARIN KİMYASAL ARITIMI.....	16
4.1 Giriş	16
4.2 Kimyasal Arıtma Prosesinin Teorisi	17
4.2.1 Kimyasal arıtmada kullanılan kimyasallar ve reaksiyonları.....	17
4.2.2 Kimyasal arıtma prosesinde koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme	22
4.2.2.1 Koagülasyon	23
4.2.2.2 Flokülasyon.....	24
4.2.2.3 Çöktürme	26
4.3 Çamur oluşumu ve çamurların susuzlaştırılması	26
4.3.1 Çamurların susuzlaştırılması.....	28
4.3.1.1 Çamur şartlandırma prosesini etkileyen faktörler	30
4.3.1.1.1 Çamur şartlandırma prosesini etkileyen fiziksel faktörler.....	31
4.3.1.1.2 Çamur şartlandırma prosesini etkileyen kimyasal faktörler	32
4.3.1.1.3 Çamur şartlandırma prosesini etkileyen biyolojik faktörler	33

4.3.2	Çamur şartlandırma deneyleri.....	34
4.4	Evsel Atıksuların Kimyasal Arıtımında Kullanılan Prosesler	36
4.4.1	Sadece kimyasal arıtma yapan tesisler	36
4.4.1.1	Kimyasalla güçlendirilmiş mekanik arıtma (CEMT).....	36
4.4.1.2	Ön kimyasal uygulamalı arıtma tesisleri	38
4.4.1.3	İkincil kimyasal uygulamalı arıtma tesisleri	40
4.4.1.4	Kireç/deniz suyu prosesleri.....	41
4.4.2	Kimyasal/biyolojik tesisler	42
4.4.2.1	Ön kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma tesisleri	42
4.4.2.2	İkincil kimyasal uygulamalı biyolojik tesisler	43
4.4.2.3	Eş zamanlı kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma	44
4.4.2.4	Birleştirilmiş kimyasal uygulamalı biyolojik tesisler	45
4.4.2.5	Azot giderimine sahip kimyasal biyolojik tesisler	46
5.	İSTANBUL'DAKİ EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİ.....	48
5.1	Çalışma Yapılan Atıksu Arıtma Tesisleri.....	49
5.1.1	Baltalimanı Ön Arıtma Tesisi	49
5.1.2	Yenikapı Ön Arıtma Tesisi	49
5.1.3	Ataköy Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi	51
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	54
6.1	Labaratuvar Çalışmaları	54
6.1.1	Atıksu karakterizasyonunun belirlenmesi.....	54
6.1.2	Jar test deneyleri.....	56
6.1.3	Çamur susuzlaştırma deneyleri	56
6.1.3.1	Çamur filtrasyonu (özgül direnç deneyi).....	57
6.1.3.2	Kapiler emme süresi-CST deneyi	57
6.2	Tam Ölçekte Yapılan Çalışmalar	58
7.	DENEY SONUÇLARI.....	59
7.1	Baltalimanı Tesisi Atıksularında Yapılan Çalışmalar ve Neticeleri	59
7.1.1	Baltalimanı tesisi atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ile yapılan çalışmalar	60
7.1.2	Baltalimanı tesisi atıksularında $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ile yapılan çalışmalar	66
7.1.3	Baltalimanı tesisi atıksularında $Ca(OH)_2$ ile yapılan çalışmalar	72
7.1.4	Baltalimanı tesisi atıksularında yardımcı kimyasallar ile yapılan çalışmalar	78
7.1.5	Baltalimanı tesisi atıksularının kimyasal arıtılabilirliğinde kullanılan koagülantların mukayesesi	87
7.1.6	Baltalimanı tesisi atıksularında kimyasal uygulamanın kirleticilerin çözünmüş ve partiküler kısımları üzerindeki etkisi	90
7.2	Yenikapı tesisi atıksularında yapılan çalışmalar ve neticeleri	91
7.2.1	Yenikapı tesisi atıksularında kimyasal uygulamanın kirleticilerin çözünmüş ve partiküler kısımları üzerindeki etkisi	100
7.3	Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisinde Yapılan Çalışmalar	102
7.3.1	Jar test çalışmalarının sonuçları	104
7.3.1.1	Ataköy arıtma tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışmaları	104

7.3.1.1.1	Ataköy arıtma tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan çalışmalar.....	104
7.3.1.1.2	Ataköy arıtma tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan çalışmalar...	110
7.3.1.1.3	Ataköy arıtma tesisi giriş atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yapılan çalışmalar.....	116
7.3.1.1.4	Ataköy arıtma tesisi giriş atıksularında yardımcı kimyasallar ile yapılan çalışmalar.....	122
7.3.1.1.5	Ataköy tesisi giriş atıksularının kimyasal arıtılabilirliğinde kullanılan koagülantların mukayesesi.....	130
7.3.1.1.6	Ataköy tesisi giriş atıksularında kimyasal uygulamanın kirleticilerin çözünmüş ve partiküler kısımları üzerindeki etkisi.....	133
7.3.1.2	Ataköy arıtma tesisi damlatmalı filtre çıkış suyunda yapılan jar test çalışmaları.....	134
7.3.2	Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisinde tam ölçekte yapılan çalışma sonuçları...	143
7.3.3	Evsel atıksuların kimyasal arıtımı ile oluşan çamurların susuzlaşabilirlik özelliklerinin belirlenmesi çalışmalarının neticeleri	152
7.3.3.1	Kimyasal arıtma sonucu oluşan çamur miktarının tesbiti	152
7.3.3.2	Biyolojik arıtmadan çıkan çamurların susuzlaşabilirlik özellikleri	155
7.3.3.3	Kimyasal ilavesinden sonra çıkan çamurların susuzlaşabilirlik özellikleri....	161
7.4	Çalışmada Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi	168
8.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	173
KAYNAKLAR		177
ÖZGEÇMİŞ		182

Şekil 3.1	Mekanik arıtma tesisi akım şeması.....	11
Şekil 3.2	Aktif çamur tesisi akım şeması.....	14
Şekil 3.3	Damlatmalı filtre tesisi akım şeması.....	15
Şekil 4.1	Ön kimyasal uygulamalı arıtma tesislerinde kimyasal dozuna bağlı olarak oluşan çamur hacmi ve çamurun katı muhtevası	27
Şekil 4.2	Kimyasalla güçlendirilmiş mekanik arıtma tesisi akım şeması.....	38
Şekil 4.3	Ön kimyasal uygulamalı arıtma tesisi akım şeması.....	40
Şekil 4.4	İkincil kimyasal uygulamalı arıtma tesisi akım şeması	41
Şekil 4.5	Kireç/deniz suyu prosesi akım şeması	42
Şekil 4.6	Ön kimyasal uygulamalı aktif çamur tesisi akım şeması.....	43
Şekil 4.7	İkincil kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma tesisi akım şeması	44
Şekil 4.8	Eş zamanlı kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma tesisi akım şeması	45
Şekil 4.9	Birleştirilmiş kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma tesisi akım şeması	46
Şekil 4.10	Ön denitrifikasyona sahip aktif çamur arıtma tesisi akım şeması	47
Şekil 4.11	Son denitrifikasyona sahip aktif çamur arıtma tesisi akım şeması.....	47
Şekil 5.1	Baltalimanı Ön Arıtma Tesisi akım şeması.....	50
Şekil 5.2	Yenikapı Ön Arıtma Tesisi akım şeması	50
Şekil 5.3	Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisi akım şeması	53
Şekil 6. 1	Jar test prosedürünün akım şeması	56
Şekil 6. 2	Çamur filtrasyonu (özgül direnç deneyi) düzeneği	57
Şekil 6.3	Kapiler emme süresi (CST) düzeneği	58
Şekil 7.1	Baltalimanı tesisi atıksularında $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ dozuna göre KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	63
Şekil 7.2	Baltalimanı tesisi atıksularında $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ dozuna göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	64
Şekil 7.3	Baltalimanı tesisi atıksularında $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ dozuna göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	64
Şekil 7.4	Baltalimanı tesisi atıksularında $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ dozuna göre AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	65
Şekil 7.5	Baltalimanı tesisi atıksularında $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ dozuna göre kalan bulanıklık ve giderme verimleri	65
Şekil 7.6	Baltalimanı tesisi atıksularında $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ uygulamasıyla oluşan ortalama verimlerin doz ile değişimi	66
Şekil 7.7	Baltalimanı tesisi atıksularında $FeCl_3.6H_2O$ dozuna göre KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	69
Şekil 7.8	Baltalimanı tesisi atıksularında $FeCl_3.6H_2O$ dozuna göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	70
Şekil 7.9	Baltalimanı tesisi atıksularında $FeCl_3.6H_2O$ dozuna göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	70
Şekil 7.10	Baltalimanı tesisi atıksularında $FeCl_3.6H_2O$ dozuna göre AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	71
Şekil 7.11	Baltalimanı tesisi atıksularında $FeCl_3.6H_2O$ dozuna göre kalan bulanıklık ve giderme verimleri	71
Şekil 7.12	Baltalimanı tesisi atıksularında $FeCl_3.6H_2O$ uygulamasıyla oluşan ortalama verimlerin doz ile değişimi	72

Şekil 7.13	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dozuna göre KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	75
Şekil 7.14	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dozuna göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	76
Şekil 7.15	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dozuna göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	76
Şekil 7.16	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dozuna göre AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	77
Şekil 7.17	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dozuna göre kalan bulanıklık ve giderme verimleri	77
Şekil 7.18	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ uygulamasıyla oluşan ortalama verimlerin doz ile değişimi	78
Şekil 7.19	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi	82
Şekil 7.20	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi	82
Şekil 7.21	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi	83
Şekil 7.22	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasalkullanılması ile oluşan AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi	83
Şekil 7.23	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan çıkış bulanıklığı ve giderme verimi	84
Şekil 7.24	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi	84
Şekil 7.25	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi	85
Şekil 7.26	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi	85
Şekil 7.27	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi	86
Şekil 7.28	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan çıkış bulanıklığı ve giderme verimi	86
Şekil 7.29	Baltalimanı tesisi atıksularında kullanılan kimyasala göre KOİ giderme verimi.....	87
Şekil 7.30	Baltalimanı tesisi atıksularında kullanılan kimyasala göre TKN giderme verimi.....	88
Şekil 7.31	Baltalimanı tesisi atıksularında kullanılan kimyasala göre TP giderme verimi.....	88
Şekil 7.32:	Baltalimanı tesisi atıksularında kullanılan kimyasala göre AKM giderme verimi.....	89
Şekil 7.33	Baltalimanı tesisi atıksularında kullanılan kimyasala göre bulanıklık giderme verimi.....	89
Şekil 7.34	Yenikapı tesisi atıksuyunda kullanılan kimyasallara göre KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	94
Şekil 7.35	Yenikapı tesisi atıksuyunda kullanılan kimyasallara göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	95

Şekil 7.36	Yenikapı tesisi atıksuyunda kullanılan kimyasallara göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	95
Şekil 7.37	Yenikapı tesisi atıksuyunda kullanılan kimyasallara göre AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	96
Şekil 7.38	Yenikapı tesisi atıksuyunda kullanılan kimyasallara göre çıkışta bulanıklık değerleri ve giderme verimleri.....	96
Şekil 7.39	Yenikapı tesisi atıksuyunda $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ uygulamasının kirleticileri giderme verimi.....	97
Şekil 7.40	Yenikapı tesisi atıksuyunda $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ uygulamasının kirleticileri giderme verimi.....	97
Şekil 7.41	Yenikapı tesisi atıksuyunda $Ca(OH)_2$ uygulamasının kirleticileri giderme verimi.....	98
Şekil 7.42	Yenikapı tesisi atıksuyunda $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O + 0.2 \text{ mg/l APE}$ uygulamasının kirleticileri giderme verimi.....	98
Şekil 7.43	Yenikapı tesisi atıksuyunda $FeCl_3 \cdot 6H_2O + 0.2 \text{ mg/l APE}$ uygulamasının kirleticileri giderme verimi.....	99
Şekil 7.44	Ataköy arıtma tesisinde numune alma noktaları ve kimyasal dozlama noktası.....	102
Şekil 7.45	Ataköy tesisi giriş atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ dozuna göre KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	107
Şekil 7.46	Ataköy tesisi giriş atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ dozuna göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	108
Şekil 7.47	Ataköy tesisi giriş atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ dozuna göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	108
Şekil 7.48	Ataköy tesisi giriş atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ dozuna göre AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	109
Şekil 7.49	Ataköy tesisi giriş atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ dozuna göre kalan bulanıklık ve giderme verimleri.....	109
Şekil 7.50	Ataköy tesisi giriş atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ uygulamasıyla oluşan ortalama verimlerin doz ile değişimi.....	110
Şekil 7.51	Ataköy tesisi giriş atıksularında $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dozuna göre KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	113
Şekil 7.52	Ataköy tesisi giriş atıksularında $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dozuna göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	114
Şekil 7.53	Ataköy tesisi giriş atıksularında $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dozuna göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	114
Şekil 7.54	Ataköy tesisi giriş atıksularında $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dozuna göre AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	115
Şekil 7.55	Ataköy tesisi giriş atıksularında $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dozuna göre kalan bulanıklık ve giderme verimleri.....	115
Şekil 7.56	Ataköy tesisi giriş atıksularında $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ uygulamasıyla oluşan ortalama verimlerin doz ile değişimi.....	116
Şekil 7.57	Ataköy tesisi giriş atıksularında $Ca(OH)_2$ dozuna göre KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	119
Şekil 7.58	Ataköy tesisi giriş atıksularında $Ca(OH)_2$ dozuna göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	120
Şekil 7.59	Ataköy tesisi giriş atıksularında $Ca(OH)_2$ dozuna göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	120

Şekil 7.60	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dozuna göre AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	121
Şekil 7.61	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dozuna göre kalan bulanıklık ve giderme verimleri.....	121
Şekil 7.62	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ uygulamasıyla oluşan ortalama verimlerin doz ile değişimi.....	122
Şekil 7.63	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	125
Şekil 7.64	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri	125
Şekil 7.65	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	126
Şekil 7.66	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri ...	126
Şekil 7.67	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde çıkış bulanıklığı ve giderme verimleri.....	127
Şekil 7.68	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	127
Şekil 7.69	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri	128
Şekil 7.70	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	128
Şekil 7.71	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri ...	129
Şekil 7.72	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde çıkış bulanıklığı ve giderme verimleri.....	129
Şekil 7.73	Ataköy tesisi giriş atıksularında kullanılan kimyasala göre KOİ giderme verimi.....	130
Şekil 7.74	Ataköy tesisi giriş atıksularında kullanılan kimyasala göre TKN giderme verimi.....	131
Şekil 7.75	Ataköy tesisi giriş atıksularında kullanılan kimyasala göre TP giderme verimi.....	131
Şekil 7.76	Ataköy tesisi giriş atıksularında kullanılan kimyasala göre AKM giderme verimi.....	132
Şekil 7.77	Ataköy tesisi giriş atıksularında kullanılan kimyasala göre bulanıklık giderme verimi.....	132
Şekil 7.78	Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda kullanılan kimyasallara göre KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri	138
Şekil 7.79	Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda kullanılan kimyasallara göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri	138
Şekil 7.80	Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda kullanılan kimyasallara göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri.....	139
Şekil 7.81	Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda kullanılan kimyasallara göre AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri	139
Şekil 7.82	Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda kullanılan kimyasallara göre çıkışta bulanıklık değerleri ve giderme verimleri	140
Şekil 7.83	Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ uygulamasının kirleticileri giderme verimi.....	140

Şekil 7.84	Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ uygulamasının kirleticileri giderme verimi	141
Şekil 7.85	Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ uygulamasının kirleticileri giderme verimi	141
Şekil 7.86	Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + 0.2 mg/l APE uygulamasının kirleticileri giderme verimi	142
Şekil 7.87	Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + 0.2 mg/l APE uygulamasının kirleticileri giderme verimi	142
Şekil 7.88	Ataköy biyolojik arıtma tesisinde kimyasalın uygulandığı nokta	144
Şekil 7.89	Ataköy arıtma tesisine kimyasal ilavesi ile tesisteki KOİ değişimi ve giderme verimi	145
Şekil 7.90	Ataköy arıtma tesisine kimyasal ilavesi ile tesisteki TKN değişimi ve giderme verimi	147
Şekil 7.91	Ataköy arıtma tesisine kimyasal ilavesi ile tesisteki TP değişimi ve giderme verimi	148
Şekil 7.92	Ataköy arıtma tesisine kimyasal ilavesi ile tesisteki $\text{PO}_4\text{-P}$ değişimi ve giderme verimi	149
Şekil 7.93	Ataköy arıtma tesisine kimyasal ilavesi ile tesisteki AKM değişimi ve giderme verimi	151
Şekil 7.94	Biyolojik arıtma esnasında oluşan ön çöktürme çamurlarının $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile susuzlaştırılması	157
Şekil 7.95	Biyolojik arıtma esnasında oluşan ön çöktürme çamurlarının $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ile susuzlaştırılması	157
Şekil 7.96	Biyolojik arıtma esnasında oluşan ön çöktürme çamurlarının polielektrolit ile susuzlaştırılması	158
Şekil 7.97	Biyolojik arıtma esnasında oluşan son çöktürme çamurlarının $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile susuzlaştırılması	160
Şekil 7.98	Biyolojik arıtma esnasında oluşan son çöktürme çamurlarının $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ile susuzlaştırılması	160
Şekil 7.99	Biyolojik arıtma esnasında oluşan son çöktürme çamurlarının polielektrolit ile susuzlaştırılması	161
Şekil 7.100	Kimyasal ilavesi ile oluşan ön çöktürme çamurlarının $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılarak susuzlaştırılması	163
Şekil 7.101	Kimyasal ilavesi ile oluşan ön çöktürme çamurlarının $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ kullanılarak susuzlaştırılması	163
Şekil 7.102	Kimyasal ilavesi ile oluşan ön çöktürme çamurlarının polielektrolit kullanılarak susuzlaştırılması	164
Şekil 7.103	Kimyasal ilavesi ile oluşan son çöktürme çamurlarının $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılarak susuzlaştırılması	166
Şekil 7.104	Kimyasal ilavesi ile oluşan son çöktürme çamurlarının $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ kullanılarak susuzlaştırılması	166
Şekil 7.105	Kimyasal ilavesi ile oluşan son çöktürme çamurlarının polielektrolit kullanılarak susuzlaştırılması	167

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Atıksuyun önemli fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri	3
Çizelge 2.2	Evsel atıksuların karakterizasyonu	7
Çizelge 2.3	Atıksudaki organik maddelerin kompozisyonu.....	8
Çizelge 2.4	Atıksudaki kirleticilerin sınıflandırılması	8
Çizelge 2.5	İsveç'te Eskilstuna Evsel Atıksu Arıtma Tesisine gelen ham atıksuda askıda maddelerle birleşmiş toplam metal bileşenlerin yüzdesi.....	9
Çizelge 3.1	Atıksu arıtımında kullanılan temel biyolojik arıtma prosesleri.....	13
Çizelge 3.2	Aktif çamur proseslerinin işletme özellikleri	14
Çizelge 4.1	Evsel atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamur hacimleri.	27
Çizelge 4. 2	Evsel atıksu çamurlarının şartlandırılması için gerekli FeCl_3 ve Ca(OH)_2 miktarları.	29
Çizelge 4.3	Kimyasal ilavesinin değişik yüzey yüklerinde çöktürme tankının verimine etkisi	37
Çizelge 4.4	Norveç'te 56 kimyasal arıtma tesisinde yapılan ölçümlerin sonuçları.....	39
Çizelge 4.5	Değişik yüzey yüklerinde ön kimyasal uygulamalı arıtma tesislerinin verimi	39
Çizelge 4.6	Norveç'te 87 kimyasal arıtma tesisinde yapılan ölçümlerin sonuçları.....	40
Çizelge 4.7	Norveç'teki 87 kimyasal arıtma tesisinde kullanılan ortalama kimyasal miktarları.....	41
Çizelge 4.8	Ön kimyasal uygulamalı ve ikincil kimyasal uygulamalı biyolojik tesislerin verimleri	44
Çizelge 7.1	Baltalimanı ön arıtma tesisine gelen atıksuların sınıflandırılması	59
Çizelge 7.2	Baltalimanı tesisinden alınan numunelerde ölçülen parametrelerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri.....	59
Çizelge 7.3a	Baltalimanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$).....	61
Çizelge 7.3b	Baltalimanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$).....	62
Çizelge 7.4	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ uygulamasının kirleticileri ortalama giderme verimi	63
Çizelge 7.5a	Baltalimanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	67
Çizelge 7.5b	Baltalimanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	68
Çizelge 7.6	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ uygulamasının kirleticileri ortalama giderme verimi	69
Çizelge 7.7a	Baltalimanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: Ca(OH)_2).....	73
Çizelge 7.7b	Baltalimanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: Ca(OH)_2).....	74
Çizelge 7.8	Baltalimanı tesisi atıksularında Ca(OH)_2 uygulamasının kirleticileri ortalama giderme verimi	75
Çizelge 7.9	Baltalimanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ / $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + Ca(OH)_2)	79
Çizelge 7.10	Baltalimanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + anyonik polielektrolit).....	80

Çizelge 7.11	Baltalimanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + anyonik polielektrolit).....	81
Çizelge 7.12	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 'ın çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi	90
Çizelge 7.13	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ün çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi	90
Çizelge 7.14	Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi	91
Çizelge 7.15	Yenikapı ön arıtma tesisine gelen atıksuların sınıflandırılması	91
Çizelge 7.16	Yenikapı tesisinden alınan numunelerde ölçülen parametrelerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri.....	92
Çizelge 7.17	Yenikapı tesisi atıksuyunda $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan jar test çalışması sonuçları.....	92
Çizelge 7.18	Yenikapı tesisi atıksuyunda $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan jar test çalışması sonuçları.....	93
Çizelge 7.19	Yenikapı tesisi atıksuyunda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yapılan jar test çalışması sonuçları.....	93
Çizelge 7.20	Yenikapı tesisi atıksuyunda APE'nin yardımcı kimyasal olarak kullanıldığı jar test çalışması sonuçları.....	94
Çizelge 7.21	Yenikapı tesisi atıksuyunda $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 'ın çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi	101
Çizelge 7.22	Yenikapı tesisi atıksuyunda $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ün çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi	101
Çizelge 7.23	Yenikapı tesisi atıksuyunda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi	101
Çizelge 7.24	Ataköy biyolojik arıtma tesisine gelen atıksuların sınıflandırılması	102
Çizelge 7.25	Biyolojik arıtma esnasında kirletici parametrelerin ünitelerdeki değişimi	103
Çizelge 7.26	Ataköy arıtma tesisinde her bir üniteadaki verimler	103
Çizelge 7.27	İSKİ tarafından yapılan ölçümlere göre tesisin 1997 yılına ait ortalama verimleri.....	103
Çizelge 7.28a	Ataköy tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$).....	105
Çizelge 7.28b	Ataköy tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$).....	106
Çizelge 7.29	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ uygulamasının kirleticileri ortalama giderme verimleri	107
Çizelge 7.30a	Ataköy tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	111
Çizelge 7.30b	Ataköy tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	112
Çizelge 7.31	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ uygulamasının kirleticileri ortalama giderme verimleri	113
Çizelge 7.32a	Ataköy tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{Ca}(\text{OH})_2$).....	117
Çizelge 7.32b	Ataköy tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{Ca}(\text{OH})_2$).....	118
Çizelge 7.33	Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ uygulamasının kirleticileri ortalama giderme verimi	119

Çizelge 7.34	Ataköy tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ / $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + $\text{Ca}(\text{OH})_2$)	123
Çizelge 7.35	Ataköy giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ / $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + APE)	124
Çizelge 7.36	Ataköy giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 'ın çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi	133
Çizelge 7.37	Ataköy giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ün çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi	133
Çizelge 7.38	Ataköy giriş atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi	134
Çizelge 7.39	Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan jar test çalışması sonuçları	135
Çizelge 7.40	Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan jar test çalışması sonuçları	135
Çizelge 7.41	Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yapılan jar test çalışması sonuçları	136
Çizelge 7.42	Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda APE'nin yardımcı kimyasal olarak kullanıldığı jar test çalışması sonuçları	137
Çizelge 7.43	Ataköy arıtma tesisinde kimyasal ilavesi süresince kullanılan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ 'ın teknik özellikleri (TS 1867, Mart 1975)	143
Çizelge 7.44	Ataköy arıtma tesisinde kimyasal uygulama süresince KOİ ölçümleri ve elde edilen verimler	145
Çizelge 7.45	Ataköy arıtma tesisinde kimyasal uygulama süresince TKN ölçümleri ve elde edilen verimler	146
Çizelge 7.46	Ataköy arıtma tesisinde kimyasal uygulama süresince TP ölçümleri ve elde edilen verimler	148
Çizelge 7.47	Ataköy arıtma tesisinde kimyasal uygulama süresince $\text{PO}_4\text{-P}$ ölçümleri ve elde edilen verimler	149
Çizelge 7.48	Ataköy arıtma tesisinde kimyasal uygulama süresince AKM ölçümleri ve elde edilen verimler	151
Çizelge 7.49	Kimyasal arıtma ile oluşacak çamurun tesbiti için kullanılan numunenin analiz sonuçları	152
Çizelge 7.50	Kimyasal arıtma ile oluşacak çamur miktarının tesbiti için yapılan deneylerin sonuçları	153
Çizelge 7.51	Deneysel çalışmalarla elde edilen çamur miktarları ile teorik olarak hesaplanan çamur miktarlarının mukayesesi	154
Çizelge 7.52	Ataköy damlatmalı filtre tesisinde biyolojik arıtma esnasında oluşan ön çöktürme çamurlarının susuzlaştırma sonuçları	156
Çizelge 7.53	Ataköy damlatmalı filtre tesisinde biyolojik arıtma esnasında oluşan son çöktürme çamurlarının susuzlaştırma sonuçları	159
Çizelge 7.54	Ataköy damlatmalı filtre tesisinde kimyasal ilavesiyle oluşan ön çöktürme çamurlarının susuzlaştırma sonuçları	162
Çizelge 7.55	Ataköy damlatmalı filtre tesisinde kimyasal ilavesiyle oluşan son çöktürme çamurlarının susuzlaştırma sonuçları	165
Çizelge 7.56	Labaratuvar çalışmalarından elde edilen jar test sonuçları	168
Çizelge 7.57	Evsel atıksuların kimyasal arıtılabilirliği ile alakalı olarak daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar	169

ÖNSÖZ

Çoğunluğunu yüzeysel suların oluşturduğu kullanılabilir su kaynaklarının atıksu deşarjlarıyla gün geçtikçe kullanılamaz hale gelmesi, oluşan atıksuları arıtma zorunluluğunu gündeme getirmiştir. Evsel atıksuların arıtılmasında biyolojik arıtma yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Evsel atıksuların içerdiği organik maddelerin önemli bir kısmının partiküler halde olması sebebiyle arıtmada kimyasal yöntemler de kullanılmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar, evsel atıksulardan organik maddelerin giderilmesinden ziyade, daha çok azot ve fosfor giderimi için kimyasal arıtmanın kullanıldığını göstermektedir. Bununla beraber, biyolojik arıtma sistemlerinde kimyasal madde kullanımının arıtma verimini artıracağı, buna bağlı olarak atıksuyun arıtma tesisinde bekleme süresinin düşeceği, dolayısıyla daha küçük alanlarda arıtma işlemlerinin gerçekleştirilebileceği gibi konular da üzerinde durulması gereken önemli hususlardır. Bu çalışmada, evsel atıksuların fiziko-kimyasal olarak arıtılabilirliği araştırılarak ve tam ölçekli bir uygulama yapılmıştır. Ayrıca, kimyasal ilavesiyle oluşacak çamur miktarının tesbitinin de yapıldığı çalışmada, bu çamurların susuzlaşabilirlik özellikleri de incelenmiştir.

Çalışmanın yürütülmesi ve yönlendirilmesinde büyük emeği geçen Sayın Hocam Doç. Dr. Ahmet DEMİR'e, fikirlerinden istifade ettiğim Sayın Hocam Doç. Dr. İsmail TORÖZ'e, deneylerin yapılmasında ve tez yazım safhalarında yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşım Araş. Gör. Ahmet GÜNAY'a, bizlerin yetişmesinde fedakarlıktan kaçınmayan değerli hocalarıma, çalışmam boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen mesai arkadaşlarıma, İSKİ tesislerinde yapılan çalışmalarda desteğini eksik etmeyen Sayın Faruk AVŞAR Bey'e, çalışma süresince emeği geçen tüm İSKİ personeline teşekkür ederim.

Özellikle çalışmam boyunca manevi desteklerini gördüğüm eşim ve çocuklarıma teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ocak, 1999

Eyyüp DEBİK

ÖZET

Evsel atıksuların arıtımında, yaygın olarak biyolojik arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte, evsel atıksuların içerdiği organik maddelerin önemli bir kısmının partiküler halde olması sebebiyle, fiziko-kimyasal yöntemler de kullanılmaktadır. Bu çalışmada, İstanbul'daki evsel atıksu arıtma tesislerinden Baltalıman ve Yenikapı Ön Arıtma Tesisleri ile Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisinden alınan numunelerde, bu atıksuların fiziko-kimyasal arıtılabilirliği incelenmiştir. Kimyasal arıtmanın veriminin, arıtılan atıksuyun karakterizasyonuna bağlı olarak değiştiği tesbit edilmiştir.

Üç ayrı tesisten alınan numunelerde kimyasal arıtmanın, kirletici parametrelerin çözünmüş ve partiküler kısımları üzerindeki etkisi araştırılmış ve kimyasal ilavesiyle KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) ve TKN (toplam azot)'nin partiküler kısımlarının, TP (toplam fosfor)'nin ise çözünmüş kısmının etkili bir şekilde giderildiği belirlenmiştir. Diğer taraftan,

Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisinde tam ölçekte kimyasal uygulama yapılarak atıksulara kimyasal ilavesi ile, mekanik/kimyasal ve mekanik/biyolojik/kimyasal proses alternatifleri için verimde meydana gelen değişiklikler belirlenmiştir. Biyolojik arıtma prosesine kimyasal madde ilavesiyle, ön çöktürme ve son çöktürme çıkışındaki tesis veriminde önemli miktarda artışın meydana geldiği tesbit edilmiştir.

Arıtma tesisine koagülant ilavesinden önce ve sonra oluşan, ön çöktürme ve son çöktürme çamurlarının susuzlaşabilirlik özellikleri incelenmiştir. Kimyasal ilavesiyle ortaya çıkan çamurların susuzlaşabilirlik özelliklerinin biyolojik arıtma esnasında oluşan çamurlardan daha iyi olduğu tesbit edilmiştir. Ayrıca, kimyasal ilavesiyle meydana gelen çamurların susuzlaştırılması için gerekli olan kimyasal ihtiyacı, biyolojik arıtma esnasında oluşan çamurlardan %30-50 daha az olmaktadır.

Yapılan çalışma sonuçları değerlendirilerek, ülkemizde uygulamaya yönelik öneriler getirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER : Atıksuların kimyasal arıtımı, jar test, koagülasyon-flokülasyon, çamur susuzlaştırma

ABSTRACT

Biological methods are commonly used for the treatment of domestic wastewaters. In addition, physico-chemical processes are also put into practise because municipal wastewaters has plenty of suspended organic materials. In this study, physico-chemical treatability of sewage water was investigated by performing a series of experiments on sewage water taken from Baltalimanı and Yenikapı Mechanical Treatment Plants and Ataköy Biological Treatment Plant in Istanbul City. Chemical treatment efficiency changed by the treated wastewater's characteristics.

The effect of physico-chemical treatment on the particulate and soluble parts of contaminants were investigated. It was found out that the removal efficiency of particulate COD (chemical oxygen demand) and TKN (total nitrogen) was higher than dissolved ones. On the other hand, removal efficiency of soluble part of TP (total phosphorus) was better than particulate form.

Full scale chemical treatment was applied at Ataköy Biological Wastewater Treatment Plant and changes in the treatment performance were stated after chemical addition for mechanical/chemical and mechanical/biological/ chemical treatment process alternatives. It was observed that the efficiency of outputs of the primary and secondary sedimentation tank were increased by the addition of coagulant to biological treatment process.

Dewaterability properties of primary and final sedimentation sludges were tested before and after coagulant addition to biological treatment plant. It was determined that dewaterability properties of the sludges formed with chemical addition to raw wastewater are better than sludges formed during the biological treatment. Furthermore, chemical conditioner requirement of sludges formed with chemical addition was lower by about 30-50% than sludges formed during the biological process.

In the conclusion, study results were evaluated and some suggestions have been recommended for local conditions in Turkey.

KEY WORDS: Chemical wastewater treatment, jar test, coagulation-flocculation, sludge dewatering

1. GİRİŞ

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de artan refah seviyesi ile birlikte, su kullanımı ve dolayısıyla atıksuların miktarı da gün geçtikçe artmaktadır. Çoğunluğunu yüzeysel suların oluşturduğu kullanılabilir su kaynaklarının atıksu deşarjlarıyla gün geçtikçe kullanılamaz hale gelmesi, oluşan atıksuları arıtma zorunluluğunu gündeme getirmiştir. Evsel atıksuların arıtılması belediyelerin sorumluluğunda olup, yapılacak olan tesislerin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle ülkemizde yaygın bir şekilde arıtma işlemi uygulanamamaktadır. Bu sebeple arıtma tesisi için planlamaların kademeli olarak geliştirilmesi (ilk olarak mekanik arıtma, sonra mekanik+kimyasal arıtma, daha sonra biyolojik tasfiye ve son olarak da ileri arıtma şeklinde yapılması), hem belediyeleri ekonomik sıkıntıya sokmayacak ve hem de tam arıtmasız olarak geçecek olan süreçte oluşacak kirlenmeyi azaltacaktır.

Evsel atıksuların arıtılmasında biyolojik arıtma yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Biyolojik arıtma olarak; klasik aktif çamur sistemleri, damlatmalı filtre sistemleri, biodiskler, nitrifikasyon-denitrifikasyon gibi değişik prosesler kullanılmaktadır. Biyolojik proseslerle atıksulardan organik maddeler uzaklaştırıldığı gibi, nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi ile de nütrient giderimi sağlanmaktadır.

Yüzeysel suların kirlenmesinde önemli bir etkiye sahip olan azot ve fosfor gibi nütrientlerin arıtılması da gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bu kirleticilerin ikisi de birincil besi maddesi olmasına karşılık arıtma yöntemleri birbirinden çok farklıdır. Azot, nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi, ters osmos, iyon değişirme, arazide arıtma, yüksek pH'da kesif havalandırma gibi yöntemlerle giderilmektedir. Fosforun sudan giderilmesi çözünmeyen kompleksler oluşturması sebebiyle, azotun giderilmesine göre daha kolay gerçekleşir. Fosfor, biyolojik yöntemlerle etkili bir şekilde giderilemezken, kimyasal çöktürme ile giderilmesi verimli ve daha kolaydır.

Evsel atıksuları kimyasal arıtma metodu özellikle nütrientlerin atıksulardan uzaklaştırılması için kullanılan bir yöntemdir. Yapılan araştırmalar, sadece kimyasal arıtma ile AKM'nin %80, organik maddenin %70 ve toplam fosfor (TP)'un %90 civarında

giderilebileceğini göstermiştir. Bunun yanında, mevcut mekanik arıtma tesislerinin kimyasal madde ilavesi ile güçlendirilmesi halinde, organik maddeler için %50'nin üzerinde, AKM için %60'ın üzerinde ve TP için %70 civarında giderme verimlerinin elde edilmesi kimyasal arıtmanın kullanımını cazip hale getirmektedir.

Bu çalışmanın amacı, evsel atıksuların biyolojik olarak arıtılmasına bir alternatif olarak kimyasal arıtmanın uygulanabilirliği ile, mekanik/biyolojik arıtmayla birlikte kimyasal ilavesinin tesis verimi üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaçla İstanbul'daki Baltalıman ve Yenikapı Mekanik Arıtma Tesisleri ile Ataköy Damlatmalı Filtre Tesisinden alınan numunelerde jar test çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca, Ataköy Damlatmalı Filtre Tesisinde tam ölçekte kimyasal uygulamasının etkileri ve kimyasal ilavesiyle ortaya çıkan arıtma çamurlarının nihai bertarafı için susuzlaşabilirlik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, yeni arıtma alternatifleri için öneriler getirilmiştir.



2. ATIKSULARIN KARAKTERİZASYONU

Bir yerleşim bölgesindeki evsel atıksular, meskenler ile otel, bar, havaalanı, lokanta gibi ticari sahalardan; hastane, hapishane, okul gibi kamu kurumlarından; kafeterya, yüzme havuzları, tiyatro gibi rekreasyon amaçlı faaliyetlerden oluşur.

2.1 Atıksuların Özellikleri

Atıksular fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak birçok bileşen içerir. Atıksuların bu özellikleri ve bileşenleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Atıksuyun önemli fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri
(Metcalf ve Eddy, 1991)

Fiziksel özellikler	Kimyasal bileşenler			Biyolojik bileşenler
	Organikler	İnorganikler	Gazlar	
– Renk	– Karbonhidratlar	– Alkalinite	– Metan	– Canlı hücreler
– Koku	– Yağ ve gres	– Klorür	– Oksijen	– Bitkiler
– Top. katı mad.	– Pestisidler	– Ağır metaller	– Hidrojen	– Tek hücreliler
– Sıcaklık	– Fenoller	– Azot	sülfür	– Virüsler
	– Proteinler	– pH		
	– Yüzey akt. mad.	– Fosforlar		
		– Sülfür		
		– Toksik bileşenler		

2.1.1 Atıksuların fiziksel özellikleri

Atıksuların en önemli fiziksel özelliği, atıksuyun toplam katı madde bileşenidir. Bu bileşenler genel olarak atıksuda; yüzen maddeler, süspansiyon maddeler, kolloidal maddeler ve çözünmüş maddeler şeklinde bulunur. Katı maddeler; evsel ve endüstriyel atıkların atıksuya karışması, toprak erozyonu ve sızma gibi sebeplerle atıksu içeriğinde bulunmaktadır.

Renk ve koku atıksuyun genel tabiatından olmasına rağmen, organik bileşenlerin ayrışması da ayrıca atıksuda değişik renk ve kokuların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Ham atıksuyun rengi, gri bir tonda olmasına karşılık bakteriler tarafından organik maddelerin ayrıştırılması, oksijenin tamamen yok olması gibi sebeplerle koyulaşmaktadır. Endüstriyel atıksuların karışması, anaerobik faaliyetler gibi sebepler atıksuda kokuların oluşmasına sebep olmaktadır.

2.1.2 Atıksuların kimyasal özellikleri

Atıksuların kimyasal özellikleri üç başlık altında incelenebilir. Bunlar; organik maddeler, inorganik maddeler ve gazlardır.

2.1.2.1 Organik maddeler

Orta kirlilikteki bir atıksuyun, askıda katı maddesinin %70'i ve filtre edilebilen katıların %40'ı organik yapıdadır. Atıksuda bulunan organik maddelerin %40-60'ı proteinler, %25-50'si karbonhidratlar ve %10'u da yağlar şeklindedir. Yüzey aktif maddeler ve fenoller atıksu bileşiminde bulunan diğer önemli organik maddelerdir. Bunların yanında, atıksu içerisinde pestisitler ve tarım sahalarından gelen kimyasallar da bulunabilir.

2.1.2.2 İnorganik maddeler

pH olarak ifade edilen hidrojen iyonu konsantrasyonu suların ve atıksuların kalitesinin belirlenmesinde önemli bir parametredir.

Klorür, su ve atıksu kalitesini gösteren diğer önemli bir parametredir. Bu bileşen atıksuya tarımsal alanlardan, endüstrilerden ve evsel kullanımlardan gelmektedir.

Atıksuların bir diğer inorganik kimyasal bileşeni olan alkalinite, şehre temin edilen sudan, yeraltısuyundan ve evsel kullanımlar esnasında suya ilave edilen maddelerden dolayı genellikle alkali özelliktedir.

Azot; atıksuda genellikle, ürede ve proteinli maddelerde bağı olarak bulunur. Bağı bulunan bu azot türü anaerobik şartlarda, bakteriler tarafından amonyak, nitrit ve nitrat'a çevrilir. Fosfor, su ve atıksu ortamında ortofosfat, polifosfat ve organik fosfat şeklinde bulunur. Azot ve fosfor, canlı hücre ve bitkilerin gelişimini sağılayan ve besi maddesi olarak bilinen önemli kimyasal bileşenlerdendir. Bu bileşenlerin atıksu ile birlikte alıcı ortamlara verilmesiyle, su kütlelerinde ötrofikasyon meydana gelmektedir. Ayrıca bu bileşenler, atıksuların biyolojik olarak arıtılması için, mikroorganizmalara besi maddesi olarak atıksuda bulunması gereklidir. Eksikliği durumunda bu besi maddeleri arıtma esnasında dışarıdan temin edilmelidir.

Sülfat doğal olarak su kaynaklarında ve atıksuda bulunur. Anaerobik şartlarda bakteriler tarafından SO_4^{2-} kullanılarak açığa çıkarılan S^{2-} , sudaki hidrojen iyonu ile reaksiyona girerek borular için zararlı olan ve kötü kokuya sebep olan H_2S gazının meydana gelmesine sebep olur.

Endüstriyel kaynaklardan gelen bakır, kurşun, gümüş, krom, arsenik ve bor gibi toksik maddeler yapılacak olan biyolojik arıtmayı olumsuz yönde etkileyebilir. Örneğin; çamur çürütmede, bakır 100 mg/l ve krom 500 mg/l konsantrasyonda toksik etki yapmaktadır.

Nikel, mangan, kurşun, krom, kadmiyum, çinko, bakır, demir ve civa gibi ağır metallerin biyolojik faaliyetlerin gerçekleşebilmesi için eser miktarda atıksuda bulunması gereklidir. Bu maddelerin fazla olması biyolojik faaliyeti engelleyeceğinden, bunların atıksudaki miktarları sık sık kontrol edilmelidir.

2.1.2.3 Gazlar

Arıtılmamış bir atıksuda genellikle; azot, oksijen, karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak ve metan gazları bulunur. Bu gazlardan ilk üçü atmosfer gazları olması sebebiyle su ve atıksuda bulunurlar. Diğer gazlar ise, atıksudaki organik maddelerin ayrışmasından meydana gelmektedir.

2.1.3 Atıksuların biyolojik özellikleri

Atıksu içerisindeki mikroorganizmaların ve bu mikroorganizmaların biyolojik arıtmadaki fonksiyonlarının bilinmesi gereklidir. Atıksuda bulunan mikroorganizmalar tek hücreliler, virüsler, bitki ve hayvanlar olarak üç kısımda incelenebilir. Tek hücrelilerden en önemli mikroorganizma grubu bakteri, alg ve protozoalardır. Bakteriler, atıksudaki organik maddelerin parçalanması ve stabilizasyonu için en önemli mikroorganizma çeşididir. Protozoalar, biyolojik arıtmada bakteriler tarafından besin maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu sebeple, biyolojik arıtma için protozoalar önemli mikroorganizma grubundandır.

2.2 Evsel Atıksuların Sınıflandırılması

Atıksuların doğasını anlamak; projelendirmede, toplama işlemlerinde, arıtmada, bertaraf işlemlerinde ve çevre kalitesinin mühendislik yönetiminde önemli bir unsurdur. Evsel atıksular, kirletici konsantrasyonlarına ve partikül dağılımına göre iki sınıfta incelenebilir.

2.2.1 Evsel atıksuların kirletici konsantrasyonlarına göre sınıflandırılması

Evsel atıksular kirletici konsantrasyonlarına göre kuvvetli, orta ve zayıf atıksular olarak 3 sınıfa ayrılmaktadır (Metcalf ve Eddy, 1991). Buna göre evsel atıksuların bileşimleri Çizelge 2.2' de verilmiştir. Atıksuların içerik ve konsantrasyonları; aylık, günlük ve hatta saatlik değişimler gösterebilirler.

2.2.2 Evsel atıksularda kirleticilerin partikül boyutlarına göre sınıflandırılması

Atıksuyun arıtılabilme özelliği bileşenlerinin boyut dağılımına oldukça bağlıdır. Çökelme verimi, kütle transferi, adsorbsiyon, difüzyon ve biokimyasal reaksiyonun tamamı partikül boyutlarından etkilenir. Bu yüzden, atıksudaki bileşenlerin boyut dağılımı karakterizasyonu, arıtma proseslerinde ve birim ünitelerde kompleks etkileşimlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamak için önemlidir. Atıksuyun boyut dağılım analizleri proses seçimi ve değerlendirmesi için de kullanışlıdır (Levine vd., 1985).

Çizelge 2.2 Evsel atıksuların karakterizasyonu (Metcalf ve Eddy, 1991)

İçerik	Konsantrasyon, mg/l		
	Kuvvetli	Orta	Zayıf
Katı maddeler,			
• Toplam	1200	720	350
• Çözünmüş toplam	850	500	250
– Sabit	525	300	145
– Uçucu	325	200	105
Askıda madde,			
• Toplam	350	220	100
• Sabit	75	55	20
• Uçucu	275	165	80
Çökebilir madde (ml/l)	20	10	5
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅ , 20°C)	400	220	110
Toplam organik karbon (TOK)	290	160	80
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	1000	500	250
Azot,			
• Toplam N	85	40	20
• Organik	35	15	8
• Serbest amonyum (amonyak)	50	25	12
• Nitrit	0	0	0
• Nitrat	0	0	0
Fosfor,			
• Toplam	15	8	4
• Organik	5	3	1
• İnorganik	10	5	3
Klorürler	100	50	30
Alkalinite (CaCO ₃ cinsinden)	200	100	50
Gres	150	100	50

Atıksulardaki kirleticilerin boyutları 0.001-100 µm arasında değişmektedir. Bazı çalışmalarda (Balmat 1957, Heukelekian ve Balmat 1959, Richert ve Hunter 1971); atıksudaki organik bileşenler, çöktürme, santrifüj ve filtrasyona bağlı olarak 4 sınıfa

ayrılmış ve kirleticiler boyut aralığına göre çökebilir ($>100 \mu\text{m}$), supra kolloidal ($1-100 \mu\text{m}$), kolloidal ($0.08-1.0 \mu\text{m}$) ve çözünmüş ($<0.08 \mu\text{m}$) olarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 2.3) (Odegaard, 1989). Çizelgeden görüleceği gibi, KOİ ve TOK'un sadece %25-30'u çözünmüş halde bulunmaktadır. Ayrıca çalışmada, $1 \mu\text{m}$ 'den düşük boyutlu organik maddelerin $1 \mu\text{m}$ 'den büyük boyutlu organik maddelerden daha kolay bir şekilde biyolojik olarak parçalandığı ifade edilmiştir. Munck et al. (1980) yaptıkları çalışmada; boyut aralıklarını farklı tanımlayarak, sınıflandırma için filtrasyonu kullanmışlardır. Çalışma sonucunda Çizelge 2.4'deki sonuçlar elde edilmiştir (Odegaard, 1989).

Çizelge 2.3 Atıksudaki organik maddelerin kompozisyonu (Odegaard, 1989)

	Sınıflandırma			
	Çözünmüş	Kolloidal	Supra-kolloidal	Çökebilir
Boyut aralığı	$<0.08 \mu\text{m}$	$0.08-1.0 \mu\text{m}$	$1-100 \mu\text{m}$	$>100 \mu\text{m}$
KOI (toplamın %'si)	25	15	26	34
TOK(toplamın %'si)	31	14	24	31
Org. bil.(top. Katılar. %'si)				
Yağ	12	51	24	19
Protein	4	25	45	25
Karbonhidratlar	58	7	11	24
Biyokim. oks.hızı, $\text{k}(\text{gün}^{-1})$	0.39	0.22	0.09	0.08

Çizelge 2.4 Atıksudaki kirleticilerin sınıflandırılması (Odegaard, 1989)

	Sınıflandırma			
	Çözünmüş	Kolloidal	Supra-kolloidal	Çökebilir
Boyut aralığı	$<0.025 \mu\text{m}$	$0.025-3.0 \mu\text{m}$	$3.0-106 \mu\text{m}$	$>106 \mu\text{m}$
BOİ (toplamın %'si)	17	16	46	21
KOI(toplamın %'si)	12	15	30	43
TOK(toplamın %'si)	22	6	36	36
Toplam P(toplamın %'si)	63	3	12	22
Organik N(toplamın %'si)	27	15	38	20

Çizelge 2.4'den, atıksudaki toplam fosforun önemli bir kısmının çözünmüş olduğu görülmektedir. Buna ilaveten partiküllerle birleşen fosfor içeriği de ihmal edilemeyecek kadar önemli miktarlarda bulunmaktadır. Organik azotun ise partiküllerle birleşen kısmının miktarı fazla iken, çözünmüş kısmının miktarı daha az bulunmaktadır.

Boller (1993), atıksulardaki partikül boyutlarının $1\mu\text{m}$ 'den daha düşük ve $1000\mu\text{m}$ 'den daha büyük bir aralıkta olduğunu ve çökelmeden sonra partiküllerin maksimum çaplarının $150\mu\text{m}$ 'den daha düşük çaplara ulaşacağını belirtmektedir. Ayrıca çalışmada, çöktürülmüş bir atıksuda organik bileşenlerin yaklaşık olarak %45-55'inin çözünmüş bileşenler ($<0.001\mu\text{m}$), %20-35'inin kolloidal partiküller ($0.001-1\mu\text{m}$) ve %25-35'inin kolloidlerden büyük kısımlar ($1-100\mu\text{m}$) şeklinde bulunacağı ifade edilmiştir.

Aynı zamanda atıksudaki metaller, bakteriler, virüsler ve organik mikrokirleticiler gibi diğer bileşenler, partiküllerle güçlü bir ilişki içerisinde. Çizelge 2.5, İsveç'teki bir atıksu arıtma tesisine gelen ham suda, askıda maddelerle birleşmiş toplam metal bileşeninin %'sini vermektedir. Çizelgeden görüleceği gibi, nikel dışında diğer metaller %50-75 arasında askıda halde bulunmaktadır.

Çizelge 2.5 İsveç'te Eskilstuna Evsel Atıksu Arıtma Tesisine gelen ham atıksuda askıda maddelerle birleşmiş toplam metal bileşenlerin yüzdesi (Odegaard, 1989)

Metal	Zn	Cu	Ni	Cr	Pb	Cd
% askıda	51	48	13	71	71	82

Atıksudaki bakteri ve virüsler de $0.01-10\mu\text{m}$ boyutlarında partiküller şeklindedir ve bunların %60-100'ü partiküller vasıtasıyla adsorplanır (Lewis vd., 1986).

Henze (1992), atıksu içerisindeki organik maddeleri; inert çözünmüş, biyolojik olarak kolayca parçalanabilen, hızlı hidroliz olan, yavaş hidroliz olan, biyokütle ve inert askıda malzeme şeklinde sınıflandırmıştır. Çalışmada; toplam KOİ'nin %20-25'i toplam inert KOİ, %20'si kolayca parçalanabilen organikler, %35-45'i hidroliz olabilen ve %15-20'sinin heterotrofik biyokütleden oluştuğu ifade edilmektedir.

Çökelme verimi, kütle transferi, adsorbsiyon, difüzyon ve biokimyasal reaksiyonun tamamı partikül boyutlarından etkilenir. Bu yüzden, arıtma proseslerinde ve arıtma ünitelerinde kompleks etkileşimlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamak için atıksudaki bileşenlerin boyut dağılım karakterizasyonunun belirlenmesi önemlidir. Atıksuyun boyut dağılım analizleri proses seçimi ve değerlendirmesi için de kullanışlıdır.

Atıksudaki bileşenlerin büyük bir kısmı partikül halinde bulunduğu için, atıksuların arıtımında iyi bir partikül giderimi ilk adım olarak uygulanmalıdır.



3. EVSEL ATIKSULARIN ARITILMASINDA KULLANILAN KLASİK YÖNTEMLER

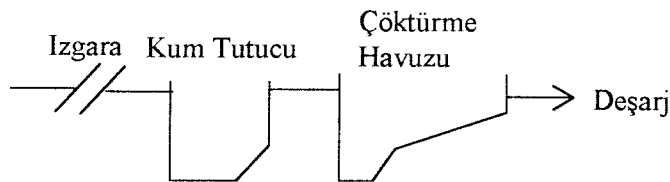
Atıksuların arıtılması, öncelikle halk sağlığı ve deşarj edilen atıksuların çevreye vereceği muhtemel zararların önlenmesi için üzerinde hassasiyetle durulması gereken bir konudur. Arıtma hedefi, ekonomiye ve alıcı ortamların özelliklerine göre dikkatli bir şekilde belirlenmelidir. Seçilecek olan bu hedefler, atıksu arıtımı ve bertaraf işlemlerinin dizaynını etkileyecektir. Böylece, optimum arıtma kombinasyonu ve bertaraf işlemleri gerçekleştirilmiş olacaktır.

Evsel atıksuların arıtılmasında aşağıdaki prosesler yaygın olarak kullanılmaktadır:

3.1. Mekanik Arıtma

Mekanik arıtma (ön arıtma) genel olarak; ızgara, kum tutucu ve çöktürme havuzu birimlerini içeren arıtma tesisleridir (Şekil 3.1). Bu tesisler alıcı ortamlara deşarj halinde ve biyolojik tesisin ilk yatırım maliyetinin karşılanamadığı durumlarda inşa edilir (Debik vd., 1998a).

Atıksuların arıtılmasında çökeltme, diğer proseslerden daha yaygın bir şekilde kullanılır. Ön çökeltme havuzları inorganik maddeleri ve çökelebilen organik katıları atıksudan uzaklaştırmak için kullanılır ve tesiste bir bakıma dengeleme havuzu olarak görev yapar (Heinke, 1980). İyi dizayn edilen bir mekanik arıtma tesisinde AKM'nin %50-70'i giderilirken, BOİ₅'in de %25-40'ını gidermek mümkündür (Metcalf ve Eddy, 1991).



Şekil 3.1 Mekanik arıtma tesisi akım şeması

3.2. Biyolojik Arıtma

Atıksuların arıtılmasında kullanılan temel biyolojik prosesler Çizelge 3.1’de verilmiştir (Metcalf ve Eddy, 1991). Bu prosesleri, aerobik, anoksik, anaerobik ve aerobik/anoksik veya aerobik/anaerobik olarak dört temel grupta incelemek mümkündür. Bu prosesler; (1) atıksudaki karbonlu organik maddeleri gidermek, (2) nitrifikasyon, (3) denitrifikasyon, (4) stabilizasyon maksatları için kullanılır.

Evsel atıksular, biyolojik olarak parçalanabilen bileşenler ihtiva ettiği için genellikle biyolojik aktiviteden faydalanılarak arıtılmaktadır. Biyolojik olarak parçalanabilen bileşenler, kullanılan prosesle bir kısmı gaz haline dönüştürülerek atmosfere verilir, bir kısmı da biyokütle olarak çöktürülür ve sistemden çamur şeklinde uzaklaştırılır.

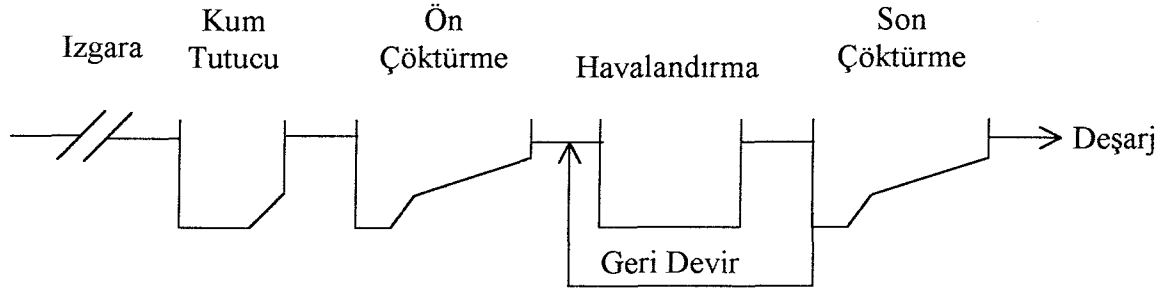
Çizelge 3.1’de verilen aerobik biyolojik arıtma proseslerinden yaygın olarak kullanılan aktif çamur ve damlatmalı filtre sistemleri hakkında aşağıda bilgi verilmiştir.

Aktif çamur tesisleri: Aktif çamur prosesleri 1914’te İngiltere’de geliştirildi. Atık aerobik şartlarda stabilize edilerek, aktifleştirilmiş mikroorganizma kütleleri meydana getirilmesinden dolayı “aktif çamur” ismi verilmiştir. Bugün birçok değişik versiyonları kullanılmakla beraber esas itibariyle aynıdırlar. Organik atık, süspansiyonda bakteri kültürü ihtiva eden reaktöre verilir. Reaktörde aerobik koşullar, difüzör veya mekanik havalandırma ile sağlanır. Bu havalandırma işlemi, aynı zamanda reaktörün tam karışım olmasını sağlar. Daha sonra yeni ve ölmüş hücrelerin bulunduğu bu karışım çökeltme tankına alınır ve burada arıtılmış sudan uzaklaştırılır. Çöktürülen hücrelerin bir kısmı, reaktördeki organizma konsantrasyonunu sabit tutmak için geri devrettirilir ve geri kalan kısmı ise atık olarak tesisten atılır. Reaktördeki mikroorganizma konsantrasyonu istenilen arıtma derecesine bağlı olarak ayarlanmalıdır. Bu işlem aktif çamur tesislerinin işletilmesini zorlaştıran bir unsurdur. Aktif çamur tesislerinde, aynı tankta veya ayrı bir tankta nitrifikasyon işlemi gerçekleştirilebilir. Şekil 3.2’de klasik bir aktif çamur tesisinin akım şeması verilmiştir.

Çizelge 3.1 Atıksu arıtımında kullanılan temel biyolojik arıtma prosesleri (Metcalf ve Eddy, 1991)

Proses tipi	Proses ismi	Kullanım amacı
Aerobik prosesler – Askıda gelişen	- Aktif çamur prosesleri - Klasik (piston akım) - Sürekli akım tam karışimli tank - Basamak havalandırma - Saf oksijen - Modifiye edilmiş havalandırma - Kontakt stabilizasyon - Uzun havalandırma - Oksidasyon havuzu	- BOİ giderimi, nitrifikasyon - Nitrifikasyon - BOİ giderimi, nitrifikasyon - Stabilizasyon, BOİ giderimi - BOİ giderimi, nitrifikasyon - BOİ giderimi - BOİ giderimi, nitrifikasyon - Nitrifikasyon - BOİ giderimi, nitrifikasyon
	- Askıda gelişen nitrifikasyon - Havalandırmalı lagünler - Aerobik çürütme - Klasik havalandırma - Saf oksijen	
	- Damlatmalı filtreler - Düşük hızlı - Yüksek hızlı - Pürüzlendirilmiş filtreler - Dönen biyolojik diskler - Paket yataklı reaktörler	
	- Damlatmalı filtre, aktif çamur - Aktif çamur, damlatmalı filtre	
Birleşik prosesler		
Anoksik prosesler – Askıda gelişen – Bağlı gelişen	Askıda gelişen denitrifikasyon Sabitleştirilmiş denitrifikasyon	Denitrifikasyon
Anaerobik prosesler Askıda gelişen	Anaerobik çürütme - Standart yüklü, tek kademeli - Yüksek yüklü, tek kademeli - İki kademeli Anaerobik kontak proses UASB proses	Stabilizasyon, BOİ giderimi BOİ giderimi BOİ giderimi
Bağlı gelişen	Anaerobik filtre Anaerobik lagünler	BOİ giderimi, stabilizasyon, denitrifikasyon BOİ giderimi, stabilizasyon

Bu tesisler genel olarak mekanik arıtmadan sonra havalandırma havuzu ve son çöktürme havuzuna sahip tesislerdir. Uzun havalandırma sistemlerinde ön çöktürme yoktur. Bu tesislerin verimleri kullanılan prosese göre Çizelge 3.2’de verilmiştir.



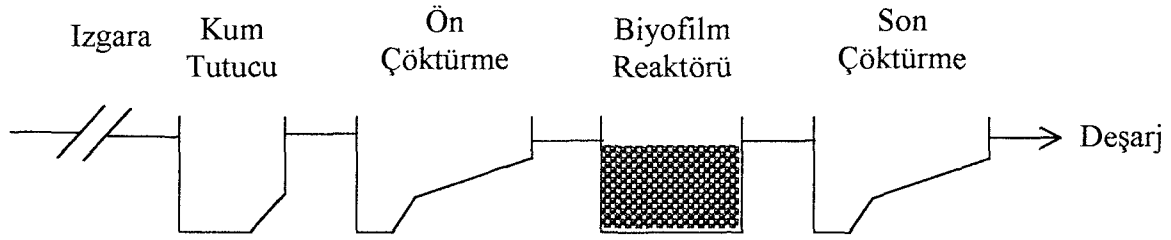
Şekil 3.2 Aktif çamur tesisi akım şeması

Çizelge 3.2 Aktif çamur proseslerinin işletme özellikleri (Metcalf ve Eddy, 1991)

Proses şekli	Akım modeli	Havalandırma sistemi	BOİ giderme verimi, %
Klasik	Piston akım	Difüzör, mekanik	85-95
Azaltarak havalandırma	Piston akım	Difüzör	85-95
Sürekli akımlı tam karışımli reaktör	Sürekli akımlı tam karışımli reaktör	Difüzör, mekanik	85-95
Kademeli havalandırma	Piston akım	Difüzör	85-95
Tadil edilmiş havalandırma	Piston akım	Difüzör	60-75
Kontakt stabilizasyon	Piston akım	Difüzör, mekanik	80-90
Uzun havalandırma	Sürekli akımlı tam karışımli reaktör	Difüzör, mekanik	75-95
Kraus prosesi	Piston akım	Difüzör	85-95
Yüksek oranlı Havalandırma	Sürekli akımlı tam karışımli reaktör	Mekanik	75-90
Saf oksijen sistemi	Sürekli akımlı tam karışımli reaktör	Mekanik dispersiyonla saf oksijen	85-95

Damlatmalı filtre tesisleri: Damlatmalı filtreler, kırma taş veya iri taneli malzeme yığınlarından meydana gelir. İlk damlatmalı filtre, İngiltere’de 1893, ABD’de ise 1908 senesinde işletmeye konulmuştur. Damlatmalı filtre tesislerinde, organik maddeler aerobik bağlı biyokütle geliştirilerek giderilmektedir. Bu tesisler nitrifikasyonu geliştirmek amacıyla da kullanılır. Damlatmalı filtreler; düşük yüklü ($0.08-0.32 \text{ kg BOI}_5/\text{m}^3 \cdot \text{gün}$), orta

yüklü ($0.24-0.48 \text{ kg BOI}_5/\text{m}^3 \cdot \text{gün}$), yüksek yüklü ($0.32-1.0 \text{ kg BOI}_5/\text{m}^3 \cdot \text{gün}$) ve aşırı yüklü ($0.8-6.0 \text{ kg BOI}_5/\text{m}^3 \cdot \text{gün}$) işletilenler olmak üzere dört kısma ayrılır. Damlatmalı filtrelerde nitrifikasyonun gerçekleşmesi için $0.16-0.3 \text{ kg BOI}_5/\text{m}^3 \cdot \text{gün} \cdot \text{gün}$ yüklerinde işletilmesi gereklidir. Bu yükte işletilen bir tesiste kullanılan malzeme ve organik yüke bağlı olarak nitrifikasyon verimi %75-95 arasında değişmektedir (Metcalf ve Eddy, 1991). İşletme yüküne bağlı olarak bu tesisler %65-95 arasında organik madde giderme verimi sağlarlar (Muslu, 1990). Bu tesislerin akım şeması Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Damlatmalı filtre tesisi akım şeması

4. EVSEL ATIKSULARIN KİMYASAL ARITIMI

4.1 Giriş

Evsel atıksular oldukça yüksek bulanıklık ve askıda katı muhtevaları sebebiyle, genellikle yüzeysel sulardan daha iyi koagüle edilmeye hazırdırlar (Reynolds 1977; Odegaard 1989). Evsel atıksuların arıtılmasında kimyasal kullanımı, yeni bir yaklaşım olmayıp, 1740 yılından 1800'li yılların sonlarına kadar çökeltme amacıyla kimyasal kullanımı yaygın bir şekilde kullanılmıştır. 1934 yılında Amerika'da 34 kimyasal uygulamalı arıtma tesisi kullanılmaktaydı. II. Dünya Savaşı esnasında yüksek maliyet ve kimyasalın eldesinin zor olması sebebiyle kimyasal kullanımına ara verilmiştir. Çözünmüş organiklerin biyolojik arıtma ile daha yüksek oranda giderilmesine karşılık, kimyasallarla sınırlı bir şekilde giderilmesi biyolojik arıtmayı ön plana çıkarmıştır (WPCF ve ASCE, 1977).

Klasik biyolojik atıksu arıtma tesisleri, atıksu içerisindeki askıda katı maddeleri, organik maddeleri ve bakterileri azaltmak amacıyla inşa edilirler. Nütrientleri, biyolojik olarak kolayca ayrışamayan organikleri, ağır metalleri ve diğer toksik maddeleri içeren tam olarak arıtılmamış atıksuların alıcı ortamlara verilmesi, su kütlelerinin bozulmasına sebep olur. Bu sebeple ikincil arıtma, atıksuların arıtılmasında yeterli olmayıp, fiziko-kimyasal arıtma proseslerini de içine alan üçüncül arıtma veya ileri arıtma yöntemleri önem kazanmıştır (Narkis vd., 1975). Atıksuların kimyasal arıtımında kullanılan proseslerden bazıları; fosfor giderimi için kimyasal uygulama, organik bileşenlerin giderilmesi için aktif karbon adsorpsiyonu ve azot giderimi için kırılma noktası klorlaması işlemleri olarak sayılabilir.

Atıksu arıtımında kimyasal uygulama, askıda ve çözünmüş katıların fiziksel özelliklerini değiştirmek ve onları çöktürmeyle kolayca gidermek için kimyasal ilavesini içeren proseslerdir. Geçmişte kimyasal arıtma askıda katıları ve BOİ giderimini artırmak için, atıksuyun konsantrasyonunun mevsimlik değişimlerinin bulunduğu yerlerde, orta derecede arıtma ihtiyacı olan yerlerde ve çöktürme prosesine yardımcı olarak kullanılmıştır. 1970'lerden sonra, atıksuda bulunan organiklerin ve nütrientlerin daha yüksek giderilmesinin gerekliliği kimyasal arıtmaya tekrar ilgiyi artırdı. Değişik fiziksel işlemlerle birleştirilmiş kimyasal prosesler; fosfor, azot veya her ikisini de birden gidermeyi de içine alan, atıksuların ikincil arıtımı için geliştirilmiştir. Diğer kimyasal prosesler de kimyasal

uygulama ile fosforu gidermek ve biyolojik arıtmayla birlikte kullanmak için geliştirilmiştir (Metcalf ve Eddy., 1991). Kimyasal arıtma, evsel atıksuların hassas olmayan deniz sularına deşarjı halinde, biyolojik arıtma gibi ikincil arıtma olarak değerlendirilen en uygun metot olarak kabul edilmektedir (Karlsson, 1996).

Kimyasal arıtma, ağır metalleri ihtiva eden sıvı atıkların arıtılması için de kullanılmaktadır (WPCF, 1990). Yapılan çalışmalarda; Pb, Cd, Hg, Cu, Cr, Ni, Zn gibi ağır metallerin %50-80 arasında giderildiği tesbit edilmiştir (Odegaard, 1992). Koagülasyon-flokülasyon prosesi ile, su ortamındaki bazı aromatik bileşikleri de gidermek mümkündür (Lefebvre ve Legube, 1993). Evsel atıksulardan mikroorganizmaları uzaklaştırmak için de koagülasyon prosesi kullanılmakla birlikte, kimyasal maliyeti, enerji maliyeti ve optimum dozun sürekli olarak sağlanamaması gibi olumsuzlukları da vardır (Tanaka vd. 1995; Hahn 1968). Ayrıca oluşan çamur miktarının artışı da önemli olumsuzluklardan biridir.

Kimyasal çöktürücü olarak muhtelif malzemeler kullanılmaktadır. Bunlardan atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılanlar; alum, kireç, demir (2) sülfat, demir (3) klorür, demir (3) sülfat olarak sayılabilir. Atıksuların arıtılmasında, elde edilecek verimi kullanan kimyasalın cinsi ve miktarı etkilemektedir. Kimyasal arıtma ile süspansiyon ve koloidal maddelerden arındırılmış, temiz bir çıkış suyu elde etmek mümkündür.

4.2 Kimyasal Arıtma Prosesinin Teorisi

Kimyasal arıtma prosesinin daha iyi anlaşılması için, bu proseste etkili olan reaksiyonların ve proseste kullanılan arıtma ünitelerinin bilinmesinde fayda vardır.

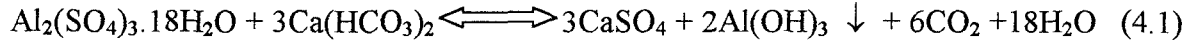
4.2.1 Kimyasal arıtmada kullanılan kimyasallar ve reaksiyonları

Kimyasal arıtmada etkili olan reaksiyonların kullanılan kimyasala bağlı olarak ele alınması gerekir. Bu sebeple; alum, kireç, demir (2) sülfat, demir (3) sülfat ve demir (3) klorürün reaksiyonları aşağıda ayrı ayrı ele alınmıştır.

- a. Alum :** Evsel atıksu arıtma sistemlerinin bir çoğunda küçük boyutlardaki askıda katıları flokleştirmek için alum kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı, alüminyum

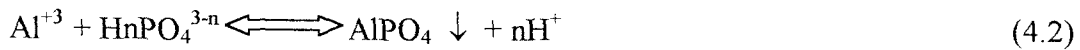
tuzlarıyla koagülasyonda iyi bir renk ve bulanıklık gideriminin sağlandığını göstermişlerdir (Qureshi ve Nalberg, 1985).

Alum, kalsiyum ve magnezyum bikarbonat alkalinitesi içeren bir suya ilave edildiği zaman aşağıdaki reaksiyon meydana gelir.



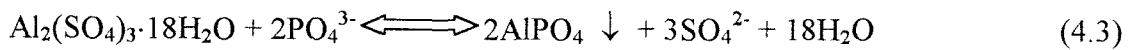
Çözünmüş alüminyum hidroksit, atıksu içerisindeki askıda malzemeleri çöktüren jelatinimsi bir floktur. Atıksuların arıtımında partikül giderimi, alüminyum tuzlarının yüksek OH/Al oranından olumlu bir şekilde etkilenirler (Ratnaweera vd., 1992). Wilson (1972) yaptığı çalışmada, 50 mg/l kaolin bulanıklığı içeren bir suya 25 mg/l alum verildiğinde oluşacak olan Alum floklarının, kaolinin tek başına oluşturacağı hacimden 500 kat daha fazla hacim işgal edeceğini belirtmiştir. Yukarıdaki reaksiyon magnezyum bikarbonat ile de tamamen aynıdır, sadece kalsiyumun yerine magnezyum geçer. Reaksiyonlardan görüldüğü gibi, kullanılan alum miktarına bağlı olarak yeterli miktarda alkalinitenin suda bulunması gereklidir. Eğer suda yeterli miktarda alkalinite yoksa, ortama kireç verilerek ilave edilmelidir. Ancak atıksuların arıtılmasında genellikle buna ihtiyaç yoktur.

Alüminyum iyonları, sudaki fosfor iyonlarıyla reaksiyona girerek alüminyum fosfat oluşturur ve çöker.



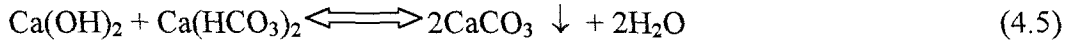
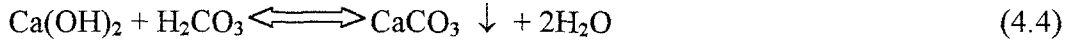
Koagülantların OH/Al oranı fosfat giderme mekanizmasını etkiler. Bu oran düşük olduğu zaman, fosfat gideriminde negatif yüklü alüminyum hidroksi fosfat kompleksleri etkiliyken, yüksek oranlarda fosfat iyonlarının hidroliz ürünlerinde adsorpsiyonunun etkili mekanizma olduğu kabul edilmektedir (Ratnaweera vd., 1992).

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ kullanıldığında, reaksiyon;



şeklinde olur. Reaksiyona göre 1 gr $\text{PO}_4\text{-P}$ için 10.8 gr alum gerekmektedir, ancak pratikte gereken alum miktarı bundan daha yüksektir. Alumun etkili bir şekilde kullanılması için pH'nın 5.5-6.5 civarında olması gereklidir.

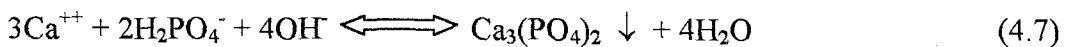
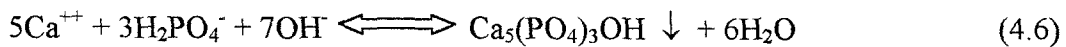
- b. **Kireç** : Kireç, su veya atıksuya ilave edildiğinde, yüksek pH'da pozitif yüklü $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ve CaCO_3 çökeleklerinin oluşmasına sebep olur (Narkis vd., 1975). Kireç tek başına çöktürücü olarak kullanıldığında aşağıdaki reaksiyonlar gerçekleşir.



Kireç koagülant olarak kullanıldığında çöktürme çıkışında askıda katı madde ve oksijen ihtiyacında düşüş beklenebilir. Yüksek sertlik ve alkalinite içeren atıksularda pH 9.5-10'da, orta sertlik ve alkalinite içeren atıksularda pH 10-11'de, düşük sertlik ve alkalinite içeren atıksularda pH 11-11.5'de oldukça iyi bir çıkış suyu elde edilebilir. pH'da verilen bu değişimler, ortofosfat konsantrasyonundaki değişikliklerden, karıştırma özelliklerinden ve giriş pH'sından etkilenecektir. Düşük sertlik ve alkalinite içeren atıksular koagülant yardımcısına ihtiyaç gösterecektir. Aynı zamanda orta sertlik ve alkalinite içeren sularda da yardımcıya ihtiyaç duyulabilir (Minton ve Carlson, 1976).

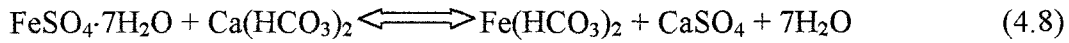
Kireç ile atıksuların arıtımında, oluşan $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 'in miktarı ile giderilen TOK miktarı arasında sıkı bir ilişki vardır. CaCO_3 ve $\text{Mg}(\text{OH})_2$ çökeleği birlikte etkilidir, sadece CaCO_3 çökeleğinin oluşması askıda katıların ve TOK'un giderilmesinde etkili değildir (Leentvaar ve Rebhun, 1982). Bu sebeple yüksek Mg içeren atıksularda, kireçle dozlama yapıldığında verimli bir çökeltme gerçekleşir. Mg içeriği az olan atıksulara kireç ilave edildiğinde, yeterli miktarda $\text{Mg}(\text{OH})_2$ oluşmaması sebebiyle atıksudaki kolloidler çöktürülemeyecek ve düşük çıkış kalitesi elde edilecektir (Vosser, 1980).

Kireç ile fosfatın çöktürülmesi aşağıdaki iki reaksiyona göre gerçekleşebilir (Merril ve Jorden, 1975).

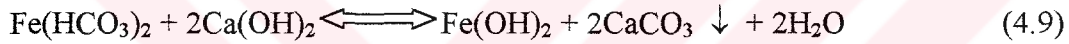


Hidroksilapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) ve trikalsiyum fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)'ı kimyasal olarak çöktürmek için, fazla kalsiyum iyonu gereklidir. Dolayısıyla gerekli kireç miktarı, genelde suda bulunan fosfor miktarına bağlı olmayacak, daha çok alkaliniteye bağlı olacaktır (Metcalf ve Eddy, 1991)

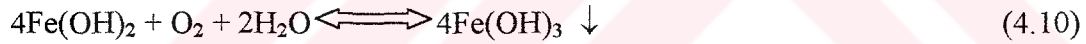
- c. **Demir (2) sülfat** : Demir (2) sülfat kimyasal çöktürücü olarak genellikle tek başına kullanılmaz. Çünkü, çöktürme işleminin gerçekleşmesi için kirecin ilave edilmesi gereklidir. Demir (2) sülfat yalnız kullanıldığında aşağıdaki reaksiyon gerçekleşir.



$\text{Ca}(\text{OH})_2$ şeklinde kirecin ilave edilmesi ile aşağıdaki reaksiyon gerçekleşir.



$\text{Fe}(\text{OH})_2$ atıksudaki oksijenle birleşerek demir (3) hidroksit'e oksitlenir. Çözünmeyen $\text{Fe}(\text{OH})_3$, alum floğuna benzer şekilde iri ve jelatinimsi bir yapıdadır.



İyi bir flokleşmanın gerçekleşmesi için, 10 mg/l $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dozu için 4 mg/l alkalinite, 4 mg/l kireç ve 0.29 mg/l oksijen gereklidir. Bu sebeple demir (2) sülfatın evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında sıkça kullanımına rastlanmaz. Bunun yerine daha çok demir (3) sülfat veya demir (3) klorür kullanılır.

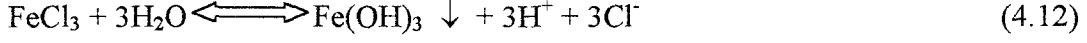
- d. **Demir (3) Sülfat** : Doğal bikarbonat alkalinitesi ile demir (3) sülfatın demir (3) hidroksite dönüşüm reaksiyonu aşağıdaki gibidir.



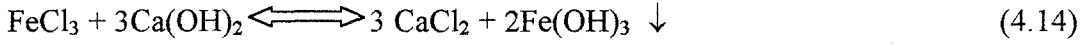
Reaksiyon genellikle yoğun ve hızlı çökelen floklar oluşturur. Eğer doğal alkalinite reaksiyon için yeterli değilse kireç ilave edilebilir. Demir (3) sülfat için optimum pH

aralığı 4-12 arasındadır. Bu aralıkta demir hidroksit oldukça stabil bir durumdadır (Reynolds, 1977).

e. **Demir (3) klorür** : Demir (3) klorür için reaksiyonlar şunlardır:



Demir (3) klorür ile kirecin kullanılması halinde aşağıdaki reaksiyon gerçekleşir.



FeCl_3 ile fosfat arasındaki reaksiyon şu şekildedir.



Reaksiyona göre 1 gr $\text{PO}_4\text{-P}$ için 5.24 gr FeCl_3 gerekmektedir.

Fe^{+3} ve Al^{+3} ile kimyasal arıtmada kabul edilen optimum pH 4–6.8 arasındadır. FeCl_3 , ham atıksuları direkt fiziko-kimyasal olarak arıtmak için kullanılacaksa, pH'nın 5.3 civarında tutulması daha uygundur. Ancak, böyle bir uygulama biyolojik adımdan önce yapılacaksa pH'nın 8 olması tercih edilir. pH 8'de çalışmanın, pH ayarlaması gerektirmemesi ve biyolojik adımdan önce bu şekilde kullanılmasının bakteriler için daha uygun bir ortam oluşturması gibi avantajları vardır (Narkis vd., 1975).

f. **Polimer kullanımı** : Polimerler, koagülant olarak kullanılan metal tuzlarının etkisini artırmak amacıyla atıksu arıtımında kullanılırlar. Bunların bir kısmının su arıtımında da kullanılmasına müsaade edilmektedir. Anyonik, katyonik ve noniyonik olmak üzere üç çeşidi bulunmaktadır. Polimerler, koagülantlarla birlikte kullanıldığında gayet çabuk çökelen, büyük ve yoğun pıhtılar teşkil ederler. Böylece koagülant miktarı da düşmektedir. Bazı durumlarda tek başlarına kullanılmaları da yeterli gelmektedir.

Polimerler pahalı maddelerdir, bu sebeple getireceği fayda önemli düzeyde ise kullanılmalıdır (Gölhan ve Aksoğan, 1970).

Evsel ve endüstriyel atıksular genellikle değişik tipteki tuzları ihtiva ederler. Polielektrolit olarak isimlendirilen yüklü makromoleküller bu tuzlardan kuvvetli bir şekilde etkilenirler. Zikredilen tuzlar, polimer zincirine katılarak flokülasyon özelliklerini azaltan olumsuz bir etki oluşturabilirler (Orta vd., 1998).

Kullanılan kimyasallara bağlı olarak çözünmüş organikler partiküllerle beraber adsorbe edilir ve ayrılır. Pilot çalışmalarda, konvansiyonel çöktürme ile kıyaslandığında özellikle Ca(OH)_2 'in yüksek pH'da çözünmüş organik fraksiyonu %30-40 kadar artırdığı, FeCl_3 'ün ise %15 kadar düşürdüğü ifade edilmiştir (Boller, 1993).

4.2.2 Kimyasal arıtma prosesinde koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme

Kimyasal arıtma; koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme adımlarını içeren bir prostestir. Ön arıtma olarak kimyasal flokülasyon-çöktürme, emniyetli işletmeye sahip, debi ve yükteki değişimlerden az etkilenen bir proses kombinasyonu olarak düşünülür (Galil ve Rebhun, 1990). Koagülasyon ve flokülasyon; flok oluşturan kimyasal bir reaktifi, çökelemeyen katılarla birleştirmek ve yavaş çökelen askıda katıları hızlı çökeltmek için su ve atıksuya ilavesini içeren bir prostestir. Daha sonra flok, çöktürme ile su veya atıksudan uzaklaştırılır. Koagülasyon, koagülantın ilavesi ve hızlı karıştırılması işlemidir. Bu işlemle kolloidal destabilizasyon, askıda katıların iyileşmesi ve önceden destabilize olmuş partiküllerin agregasyonu sağlanmış olur. Flokülasyon, yavaş karıştırma işlemidir ve destabilize olmuş partikülleri birleştirmek ve hızlı çökelen floklar haline getirmek için kullanılır (Reynolds, 1977).

Kimyasal arıtma prosesinin toplam verimi için en kritik faktör koagülasyon ve çöktürmenin verimidir. Optimal olmayan işletme şartları, zayıf flok oluşumu ve çökelmeye sebep olur. Bu da atıksuların arıtılmasında, zayıf kolloid giderimine ve yüksek fosfor içeren askıda katıların çıkışına sebep olur (Le Bell vd., 1983).

4.2.2.1 Koagülasyon

Koagülasyon, kimyasal arıtma prosesinin ilk adımıdır ve hızlı karıştırma olarak da adlandırılır. İyi dizayn edilen bir hızlı karıştırma prosesi, gerekli olan kimyasal miktarının azalmasına ve flokülasyon ünitesinin veriminin artmasına sebep olacaktır (Vrale ve Jorden, 1970). Etkili bir koagülasyon yapabilmek için, su kütlesi boyunca üniform olarak koagülantın hızlı dağılımı gereklidir. Böylece koagülant sudaki bütün askıda katı maddelerle ilişki kurar. Koagülasyon-flokülasyon prosesinde, partiküllerin bir diğeri yakalamak ve kontak kurmak için kabiliyeti, hız gradyanı ile tesbit edilebilir. Uygulamada hız gradyanı $300-1000 \text{ sn}^{-1}$ arasında seçilmektedir.

Leentvaar ve Ywema (1980) yaptıkları çalışmada; belirli bir G değerinde kolloidal bileşiklerin gideriminin, kullanılan karıştırıcının ve tankın tipine bağlı olmasına rağmen optimum G değerinin her uygulama için aynı kaldığını tesbit etmişlerdir.

Verimli bir flokülasyon için hızlı karıştırma adımıdaki hız gradyanı yanında, hızlı karıştırma süresi de etkilidir. François ve Van Haute (1984), hızlı karıştırma süresinin; optimum dozu, oluşacak olan flok çapını, floğun oluşma süresini etkileyeceğini tesbit etmişlerdir. Hızlı karıştırma tankında, genellikle 30-60 sn'lik karıştırma süreleri kullanılır (Eroğlu, 1991).

Hızlı karıştırma için; değişik metotlar kullanılmaktadır. Borularda hızlı karıştırma işlemi koagülasyon için etkili bir yöntem olarak kullanılabilir. Latvala (1990), borularda karıştırma yönteminin küçük tesislerde etkili bir şekilde kullanıldığını, büyük tesislerde de verimli bir şekilde kullanılabileceğini ifade etmektedir. Engelli kanallar kullanılarak koagülasyon-flokülasyon işlemi özellikle enerji sıkıntısı olan yerleşimlerde, az otomasyona sahip tesislerde ve yetişmiş elemanı az olan yerlerde kullanılmaktadır (Bhargava ve Ojha, 1993). Hava ile karıştırma işlemi de hızlı karıştırmayı sağlamak için kullanılmaktadır. Karıştırmanın hava ile yapılması bilhassa ön havalandırmanın istendiği durumlar için çok uygundur. Bu şekildeki bir karıştırma işleminde kimyasallar, havalandırma havuzuna verilir (Eroğlu, 1991). Hidrolik sıçrama ve ventüri kanallarında karıştırma işlemi de sıkça kullanılan yöntemlerdir. Bu iki yöntem ve borularda karıştırma ile engelli kanallarda

karıştırma işlemlerinde hızlı karıştırma işlemi, akım rejiminin değişmesiyle elde edilen türbülanslı faydalanılarak yapılmaktadır (Metcalf ve Eddy, 1991). Bütün bu yöntemlere rağmen, suların mekanik olarak karıştırılması en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, diğer sistemlerin;

- ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması
- esnek olmamaları
- yüksek yük kaybına sahip olmaları
- bütün şartlara adaptasyonlarının zor olması
- üniform olmamaları

gibi dezavantajları içermez (Mhaisalkar vd., 1986).

Mekanik karıştırıcılar; türbin pervane, eksenel akışlı pervane, pedal, palet gibi muhtelif şekillerde kullanılabilirler. Karışımın mekanik olarak yapıldığı hızlı karıştırma odaları, tek bölmeli veya iki bölmeli olarak dizayn edilebilirler. Ancak iki bölmeli yapılması daha uygundur. Mekanik karıştırıcıların verimleri yüksektir, debi değişimlerinden etkilenmezler ve yük kayıpları oldukça düşüktür.

4.2.2.2 Flokülasyon

Kimyasal ilave edildikten sonra, flokülasyon veya yavaş karıştırma işlemi kimyasal arıtma proseslerinin önemli bir adımıdır. Flokülasyon yavaş hareket eden pedallarla hafifçe karıştırarak geliştirilir. Yavaş karıştırma sonucu, küçük ve gelişmiş flokların birbirleriyle teması sonucu kolay çökebilen yumaklar meydana gelir. Floklar büyürken, şiddetli bir karıştırma flokların parçalanmasına sebep olur. Karıştırma işlemi dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir. Böylece uygun boyutta flok teşkil edecek ve daha hızlı çökecektir (Metcalf ve Eddy, 1991).

Destabilize bir çözeltide kolloidlerin Brownian hareketleri sebebiyle yumaklaşma olur ve bu tip bir yumaklaşma periknetik yumaklaşma olarak isimlendirilir. Bu hareket yavaş olduğundan yumaklaştırma işlemini hızlandırmak için karıştırma işlemi uygulanır ve ortokinetik yumaklaşmanın meydana gelmesi sağlanır.

Bu adımda da karıştırma işlemi için en çok mekanik yumaklaştırıcılar kullanılır. Bunlar düşey milli pedallı karıştırıcılar veya yatay milli pedallı veya kanatlı karıştırıcılardır. Bunların dışında dalgıç perdeli ve basınçlı hava ile de yumaklaştırma yapmak mümkündür.

Yumaklaştırma havuzlarının projelendirilmesinde dikkate alınacak en önemli parametreler, hız gradyanı ve karıştırma süresidir. Su arıtımında karıştırma süresi genellikle 15-45 dakika arasında alınmaktadır. Hız gradyanı $10-100 \text{ sn}^{-1}$ değerleri arasında seçilmektedir. Yumaklaştırmanın verimliliğini artırmak için, hız gradyanının kademeli olarak azaltılması uygundur. Odegaard (1987 ve 1995) yaptığı çalışmalarda, flokülasyon-çöktürme ve flokülasyon-yüzdürme proseslerinin atıksuların arıtılması için kullanılması halinde, flokülasyon parametrelerinin değişimini incelemiştir. Çalışmaya göre, flokülasyon/çöktürme proseslerinin kullanımı halinde $G=20-40 \text{ sn}^{-1}$ olması gerekirken, flokülasyon/yüzdürme proseslerinin kullanımında $G=60-80 \text{ sn}^{-1}$ olması gerektiği, ancak her iki proste de optimum flokülasyon süresinin 25-30 dakika olduğu tespit edilmiştir.

Hız gradyanı ile bekleme süresinin çarpımının $G \cdot t = 10^4-10^5$ arasında kalması istenir. Bazı çalışmalarda $G \cdot t$ değerinin $2 \cdot 10^4-2 \cdot 10^5$ arasında kalmasının bir mahzuru olmadığı ifade edilmiştir. Bazı araştırmacılar, flokülasyon süresinin hız gradyanından daha çok partikül temas verimine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmada, optimum dizayn üzerinde en etkili faktörlerin giriş partikül boyut dağılımı ve partikül temas verimi olduğu ifade edilmektedir (Dharmappa vd., 1993).

Su ve atıksu arıtımında, koagülasyon-flokülasyon prosesinin kullanılabilirliğini anlamak için jar test yaygın şekilde kullanılan bir metoddur. Arıtma tesisi şartlarını temsil eden prosedürler tatbik edilirse, jar test hızlı ve ekonomik olarak önemli bilgiler üretir. Jar testlerden elde edilen sonuçlar sadece prosesi anlamada değil, aynı zamanda direkt olarak tesis dizaynına, işletmesine ve modifikasyonuna uygulanabilir (Mhaisalkar vd., 1986). Jar test çalışmalarında 1 lt ve 2 lt silindirik kaplar ile 2 lt kare kesitli kaplar kullanılmaktadır. Kullanılan kapların avantaj ve dezavantajları şu şekilde belirtilmektedir (AWWA, 1992). 1 lt'lik silindirik kabın küçük ve ekonomik olmasına karşılık, az numune kullanılmasından dolayı yapılacak küçük bir hatanın tam ölçekte uygulama için tesbit edilecek dozun belirlenmesinde büyük hatalara sebep olması, dairesel olması sebebiyle karıştırma esnasında su kütlesinin karıştırıcı ile birlikte hareket ederek koagülasyon ve flokülasyon

adımlarındaki gerçek karıştırma şartlarını temsil etmemesi, jar testten sonra yapılacak analizler için numunenin yetersiz olması ve çökelme hızlarının tesbiti için noktasal numune almaya elverişli olmamaları gibi dezavantajları vardır. 2 lt'lik silindirik kapta; daha fazla numune kullanılabilir, ancak bunlarda da suyun karıştırıcı ile birlikte dönmesi sözkonusudur. Bu kaplara engel (stator) konularak ortamın türbülansı artırılabilir ve numune alma noktaları da ilave edilebilir. Bu kapların haricinde 2 lt'lik kare kesitli pleksiglasla kaplanmış beton kaplar jar test çalışmalarında kullanılmaktadır. Bunlar karıştırma esnasında suyun pedallarla birlikte dönmesini engellemesi, deney esnasında su sıcaklığını cam kaplara nazaran daha az değiştirmesi, darbelere karşı daha dayanıklı olması, tamir edilebilmesi ve numune alma yerleri ilave edilebilmesi gibi sebeplerle tercih edilmektedir.

4.2.2.3 Çöktürme

Yumaklaştırmanın sonunda yumakların sudan uzaklaştırılmaları için katı ayırma proseslerinin kullanılması gereklidir. Çöktürme, yoğunlaştırma, yüzdürme ve filtrasyon en iyi bilinen katı ayırma prosesleridir. Bu proseslerin dizaynında daha çok hidrolik ve diğer fiziksel parametreler kullanılmaktadır, ancak partikül karakteristikleri kullanılmamaktadır (Boller,1993).

Yumaklaştırmadan sonra kullanılan çökeltme havuzları, yatay akışlı çökeltme havuzları ve yukarı akışlı çökeltme havuzları olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Yatay akışlı çökeltme havuzlarının boyutlandırılmasında aşağıdaki parametreler kullanılır (Eroğlu, 1991).

- Yüzey yükü ($S_o = Q/A$) : 1.0 - 1.5 m³/m².sa
- Bekleme süresi ($t = V/Q$) : 2.0 – 4.0 sa
- Derinlik ($h = V/A$) : 2.0 – 4.0 m

4.3 Çamur oluşumu ve çamurların susuzlaştırılması

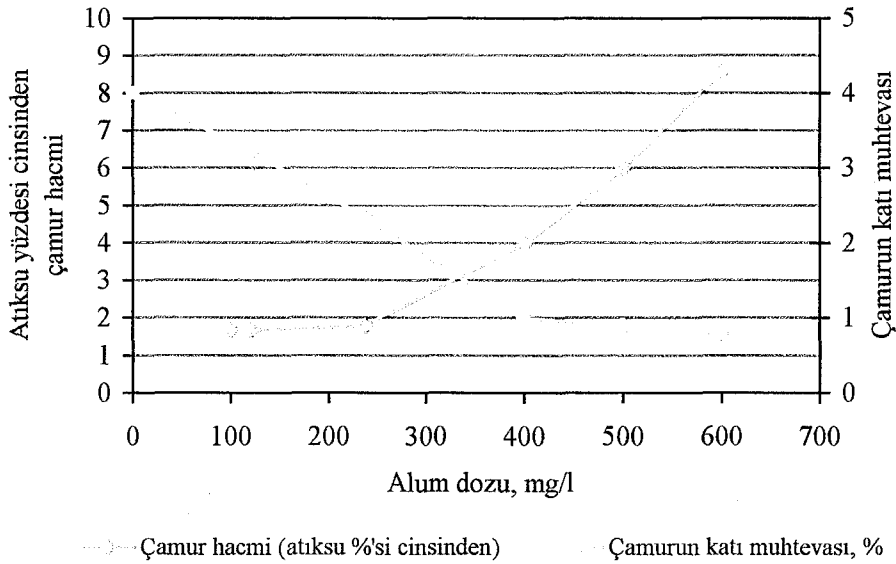
Atıksuların arıtılması işlemlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri, arıtma sırasında ortaya çıkan ve çamur olarak adlandırılan katı maddelerin sistemden uzaklaştırılmasıdır. Fosfor ve organik maddeyi yüksek bir verimle gidermesine rağmen,

kimyasal arıtma ile primer çamur miktarında önemli bir artış meydana gelmektedir (Henze ve Harremoes, 1990). Oluşan çamurun miktarı kullanılan kimyasalın dozuna bağlı olarak artacaktır (Vosser, 1980). Çizelge 4.1’de farklı tesisler için oluşan çamur hacimleri verilmiştir. Çizelgeden mekanik/biyolojik tesislere kimyasal prosesin ilave edilmesi ile kişi başına oluşan günlük çamur miktarında yaklaşık %40’lık bir artışın meydana geldiği görülmektedir.

Çizelge 4.1 Evsel atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamur hacimleri (Odegaard ve Storhaug, 1990).

Tesis tipi	Oluşan çamur hacmi, l/n.gün
Mekanik	1.0
Mekanik/biyolojik	1.8
Mekanik/biyolojik/kimyasal	2.5

Şekil 4.1’de ön kimyasal uygulamalı arıtma tesislerinde kullanılan kimyasal dozuna göre, atıksu yüzdesi cinsinden oluşan çamurun hacmi ve doza bağlı olarak çamurun katı madde muhtevası verilmiştir. Şekilden 100 mg/l alum dozunda çamur hacmi %1.8 iken, 600 mg/l alum dozunda yaklaşık %9.0’a ulaştığı görülmektedir. Diğer taraftan; oluşan çamur hacmi arttıkça çamurun katı madde muhtevası %4.0’ten %0.8’e kadar düşmektedir.



Şekil 4.1 Ön kimyasal uygulamalı arıtma tesislerinde kimyasal dozuna bağlı olarak oluşan çamur hacmi ve çamurun katı muhtevası (Galil ve Rebhun, 1990)

Caceres ve Contreras (1995) evsel atıksuların kimyasal arıtımı ile ilgili yaptıkları çalışmada, CaO cinsinden 200 ve 600 ppm Ca(OH)_2 için çökelme adımıyla sırasıyla %0.03 ve 1.10 hacim çamur/hacim atıksu (v/v) oluştuğunu tesbit etmişlerdir. Ayrıca çalışmada, oluşan çamur konsantrasyonunun 30-40 g/l arasında değiştiğini ve akışkanlığının oldukça iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Diğer bir çalışmada; yaklaşık olarak debisi 20000 m³/gün olan bir aktif çamur tesisinde, kimyasal ilavesi yapılmadan ham çamur miktarı 130 m³/gün iken, 50 mg/l Ca(OH)_2 ilavesiyle çamur miktarının 194 m³/gün'e yükseldiği ve çamurun suyu ayrıldıktan sonra üretilen çamurun miktarında kullanılan kimyasalın miktarına göre artış olduğu gözlenmiştir. Çamur miktarı flokülant kullanılmadan 2733 kg SS/gün'den 3776 kg SS/gün'e yükselmiştir. Diğer taraftan, flokülant kullanılmadan ham çamurun konsantrasyonu 30 kg SS/m³ iken, kireç dozlandığında 40 kg SS/m³ olarak tesbit edilmiştir. (Hruschka, 1980).

4.3.1 Çamurların susuzlaştırılması

Çeşitli arıtma işlemleri sonucunda oluşan çamurlar, toplanarak çeşitli arıtma işlemlerinden geçirilmeli ve nihai olarak uzaklaştırılmalıdır. Ekonomik bir çözüm için bu çamurların, nihai uzaklaştırmadan önce susuzlaştırma işlemlerine tabi tutulması gereklidir. Susuzlaştırma işlemlerinden yüksek verimler elde edebilmek için çamurun fiziksel ve kimyasal bir takım özelliklerinin bilinmesi gereklidir.

Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurların genellikle mekanik olarak susuzlaştırılması oldukça güçtür. Bu yüzden çamurun suyunu bırakabilme özelliğini artırmak ve çamur susuzlaştırma sistemlerinin performansını artırmak için fiziksel ve kimyasal yöntemlerle şartlandırma işlemi yapılır. Şartlandırma işlemi ile çamurun su muhtevası uygulanan prosese bağlı olarak önemli oranlarda azaltılabilir. Çamurun özelliklerine göre, kimyasal şartlandırma ile %90-99 arasında olan su muhtevası %65-80 oranlarına kadar düşürülebilir.

Kimyasal çamur şartlandırma işlemi kimyasal maddelerin (inorganik, organik ve bunların kombinasyonları) ilavesi ile yapılır. Çamur şartlandırmada kullanılan inorganik

kimyasallar; alüminyum tuzları, iki ve üç değerlikli demir tuzları, kalsiyum oksit ve kalsiyum hidroksittir. İnorganik şartlandırıcıların kullanımı, susuzlaştırma ünitesine gelen çamurların özelliklerinin değişmesinden fazla etkilenmezler. Çamur şartlandırmada kullanılan organik kimyasallar ise çok geniş yapılarda bulunabilen organik polimerler (polielektrolitler)'dir. Şartlandırmada demir ile kirecin birlikte kullanımının, organik polimerlere göre daha iyi sonuçlar verdiği ve su muhtevası daha az olan çamur keki elde edildiği tesbit edilmiştir (Çabuk, 1998). Çoğu şartlandırma uygulamalarında şartlandırılmış çamurun daha kolay filtre edilebilmesini sağlamak için pH değerini 10,5'un üzerine çıkaracak şekilde kireç ilave edilir (WPCF, 1988).

Çizelge 4.2'de çamur susuzlaştırma işleminin vakum filtre ve basınçlı filtrelerle yapılması halinde, farklı çamurlar için tipik kimyasal madde dozları verilmektedir. Çamur şartlandırmada kullanılan FeCl_3 , ağırlıkça %2-10 arasında değişmektedir.

Çizelge 4. 2 Evsel atıksu çamurlarının şartlandırılması için gerekli FeCl_3 ve Ca(OH)_2 miktarları (WPCF, 1988).

Çamur tipi	Vakum filtre ^a		Basınçlı filtre	
	FeCl_3 , (gr/kg kuru katı madde)	CaO , (gr/kg kuru katı madde)	FeCl_3 , (gr/kg kuru katı madde)	CaO , (gr/kg kuru katı madde)
Ham primer	20-40	80-100	40-60	110-140
Ham aktif çamur	60-100	0-160	70-100	200-250
Ham (primer + damlatmalı filtre)	20-40	90-120	---	---
Ham (primer + ham aktif çamur)	25-60	90-160	---	---
Ham (primer + ham aktif çamur + septik)	25-40	120-150	---	---
Ham (primer + ham aktif çamur + kireç)	15-25	---	---	---
Duru kısmı atılmış anaerobik çamur				
Primer	25-40	0-50	---	---
Primer + ham aktif çamur	30-60	0-75		
Anaerobik çürümüş çamur				
primer	30-50	100-130		
primer + damlatmalı filtre	40-60	125-175		
primer + ham aktif çamur	30-60	150-210	40-100	110-300

Çamur şartlandırmada organik polimerlerin kullanılmasının, inorganik kimyasallara göre bazı üstünlükleri vardır. Bunlar;

- Şartlandırma için kullanılan organik kimyasalların miktarları inorganik kimyasallara göre daha azdır.

- Çamur; yakma işlemine tabi tutulacaksa, keklerinin kalorifik değerinin yüksek olmasını sağlamak için organik şartlandırıcıların tercih edilmesi uygundur (Çabuk, 1998).

Çamur şartlandırmada kullanılan polielektrolitler; polimer bileşiğinin yüküne (katyonik, anyonik, noniyonik), moleküler ağırlığına ve polimerin formuna (sıvı, kuru, emülsiyon, jel) göre sınıflandırılmaktadır. Organik kimyasal şartlandırmada kullanılan katyonik polimerler pozitif yüklü molekül yapısına sahiptir. Bu polimerlerden bazıları; poliaminler, polietilaminler, polibutadienler, poliamidaminler olarak sayılabilir. Anyonik polimerler ise negatif yüklü moleküler yapıya sahiptirler. Bu sınıfa örnek olarak; karbosilik polimerler ve modifiye edilmiş poliakrilamidler verilebilir. Noniyonik polimerler ise moleküler yapısında elektriksel yük bulundurmeyen polimerlerdir ve en çok kullanılan poliakrilamitlerdir. İnorganik madde içeriği yüksek olan çamurların şartlandırılmasında, katyonik yük nötralizasyonu gerektiğinden, anyonik veya noniyonik şartlandırma işlemi genellikle kullanılmamaktadır.

Polielektrolitin moleküler ağırlığı, elektriksel yük ihtiva eden polimer zincirin uzunluğunun bir göstergesidir. Moleküler ağırlık aynı zamanda çözünürlük, viskozite ve yük yoğunluğu gibi özelliklere de etki eder. Düşük moleküler ağırlığa sahip polimerler daha fazla çözünürlüğe, daha az viskoziteye ve suda daha fazla yük yoğunluğuna sebep olur. Çamur susuzlaştırmada, polielektrolitin moleküler ağırlığı flokülasyonun derecesini oldukça büyük miktarlarda etkiler (Onay ve Gönenç, 1989).

Çamur şartlandırma için uygulanan diğer bazı yöntemler ise ısı ile şartlandırma, asitlendirme, solvent ekstraksiyonu, potasyum permanganat ilavesi vs.dir.

4.3.1.1 Çamur şartlandırma prosesini etkileyen faktörler

Kolay tesbit edilebilen çamur özellikleri olarak; çamurun kaynağı, çamurun konsantrasyonu, pH ve alkalinite sayılabilir. Bunun yanında ölçülmesi daha zor ve hakkında bilgi birikimi daha az olan parametreler ise partikül boyut dağılımı (particle size distribution), yüzey yükü (surface charge), biopolimerlerin konsantrasyonları ve mevcut biokolloidlerdir (WPCF,1988).

Çamurların susuzlaştırılmasında en önemli adım olan çamur şartlandırmayı etkileyen bir çok faktör vardır. Bunlar; fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerdir.

4.3.1.1.1 Çamur şartlandırma prosesini etkileyen fiziksel faktörler

Çamur şartlandırmayı etkileyen en önemli faktörlerden biri askıda katı maddelerin partikül boyut dağılımıdır. Partikül boyut dağılımı toplam partikül yüzey alanını etkiler. Partikül boyutunun azalması askıdaki katıların toplam partikül yüzey alanını artıracaktır. Çamurun bu özelliği koagülant dozunun belirlenmesinde ve susuzlaştırma için önemlidir. Partikül boyut dağılımının azalması çamur danecikleri ile suyun birbirlerinden ayrılarak askıda katıların yumaklar halinde çökmesini sağlayan şartlandırma işlemini güçleştirir (Chung, 1985). Lawler vd. (1986), çamur susuzlaştırmada partikül boyutunun en önemli parametrelerden biri olduğunu ifade etmişlerdir. Aynı çalışmada en önemli partikül boyutunun suprakolloid (1-100 μ m) yapıdaki kolloidlerin olduğu ifade edilmektedir. Ortamda ne kadar çok suprakolloid partiküller varsa susuzlaşabilirlik o kadar zor olmaktadır (Lotito vd., 1993). Ayrıca, askıda katı maddelerin ortamdaki artışı, gerekli olan koagülant dozunu da artıracaktır (WPCF, 1988). Buna ilaveten, çamurun katı madde muhtevasının artmasıyla gerekli kimyasal şartlandırıcı dozu (gr kimyasal/m³ çamur) artarken, birim katı madde miktarı başına gerekli olan şartlandırıcı kimyasal madde ihtiyacı (gr kimyasal/kg KM) ise azalmaktadır (Çabuk, 1998). Sarıkaya ve All-Marshould (1993) yaptıkları çalışmada, farklı seviyelerde yoğunlaştırılan aerobik çürütücü çamurlarının katyonik polielektrolit ile şartlandırılması sonucunda, optimum polimer dozu ile çamurun katı madde konsantrasyonu arasında lineer bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Çamurun toplam katı madde miktarının, şartlandırma işleminin verimliliğine ve sistem maliyeti üzerine de çok önemli etkileri vardır. Çamurun katı madde konsantrasyonunun %5'in üzerinde olması halinde kullanılan kimyasalın etkili bir şekilde çamurla karışması güçleşir (WPCF, 1988).

Çamurun bekletilmesi de şartlandırma için olumsuz bir etkiye sebep olur. Biyolojik çamurların bekletilmesinin özgül direnci ve şartlandırma için gerekli olan kimyasal madde miktarını artırdığı ve susuzlaştırma işleminin performansını olumsuz yönde etkilediği

belirtilmiştir (Çabuk, 1998). Onay ve Gönenç (1989) de, anaerobik çürümüş çamurlarla yaptıkları şartlandırma çalışmalarında, bu çamurların oda sıcaklığında iki günden fazla bekletilmesinin susuzlaşabilirlik özelliğini hızla bozduğunu tesbit etmişlerdir.

Şartlandırıcı dozu tespitinde çamurun kaynağı da önemli bir parametredir. Yapılan araştırmalarda ön çöktürme çamurunun son çöktürme çamuruna nazaran susuzlaşabilirlik özelliklerinin daha iyi olduğu ve daha az şartlandırıcıya ihtiyaç duyduğu tespit edilmiştir (Chung, 1985). Çamurların anaerobik veya aerobik olarak çürütülmesi işlemleri de çamurun fiziksel ve kimyasal bazı özelliklerini değiştirir. Anaerobik olarak çürümüş çamur, primer ve biyolojik çamura göre daha yüksek konsantrasyonlarda kolloid ve suprakolloid katılar içerir. Çürümüş çamurlar daha yüksek özgül direnç değerlerine sahiptirler ve dolayısıyla şartlandırma için daha fazla kimyasal madde miktarı gerektirirler (WPCF, 1988).

Çamur şartlandırmayı etkileyen diğer bir husus ise çamur ve kimyasal şartlandırıcının karıştırılmasıdır. Uygulanan karıştırmanın derecesi, şartlandırıcının çamur içerisinde etkili bir şekilde dağılabilmesi için önemlidir. Fakat bu karıştırma işlemi oluşan flokların bozulmaması için aşırı olmamalıdır. Karıştırma şiddeti, kimyasal şartlandırıcı ve çamurun askıda katı madde konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Bu iki faktörün yükselmesiyle şartlandırıcının çamur içerisinde etkili bir şekilde dağılması güçleşecektir (WPCF, 1983).

4.3.1.1.2 Çamur şartlandırma prosesini etkileyen kimyasal faktörler

Çamur şartlandırmayı etkileyen kimyasal faktörlerin başında pH ve alkalinite gelmektedir. Çamur şartlandırma işleminde; koagülasyonu etkileyen koagülant yükü ile kolloid yüzey yükü pH'nın bir fonksiyonudur. Buna ilaveten inorganik şartlandırıcıların kullanılması halinde, pozitif yüklü hidroksi kompleksler veya katı metal hidroksit gibi türlerin hangisinin ortamda bulunacağını pH belirler. Bu sebeple pH, oluşan flokların yapısı ve özellikleri üzerinde etkili bir rol oynamaktadır. Ayrıca kullanılan şartlandırıcının türü de, optimum pH üzerinde etkilidir. Organik şartlandırıcılar inorganik şartlandırıcılara göre daha geniş pH aralıklarında kullanılmaktadır. Alkalinitenin yüksek olması inorganik ve organik kimyasallar ile yapılan şartlandırma işlemleri üzerinde olumsuz etki gösterir ve

çamur şartlandırma için gerekli olan kimyasal madde miktarında bir artışa neden olur (Çabuk, 1998).

Çamurun sıvı fazındaki çözünmüş madde içeriği, şartlandırıcı maddeler ile flok oluşumunda esas mekanizma olan yük nötralizasyonu işleminin etkinliğini azaltır. Bazı inorganik asitler de şartlandırmayı olumsuz etkilerler. Örneğin fulvik asit ve humik asit, organik ve inorganik şartlandırıcıların kullanıldığı her iki şartlandırma işleminde de flok oluşumunu bozarak şartlandırmanın verimliliğini etkilerler (Çabuk, 1998).

Şartlandırıcı kimyasal maddenin yük yoğunluğu ve moleküler ağırlığının artmasıyla, şartlandırıcı maddenin etkinliği ve flok oluşumu artar. Ancak, kimyasal maddelerin moleküler ağırlıkları ve yük yoğunluklarının yüksek oluşu uygulamada, bu maddelerin çözeltilerinin hazırlanmasını güçleştirir.

4.3.1.1.3 Çamur şartlandırma prosesini etkileyen biyolojik faktörler

Şartlandırılacak olan çamurun biyolojik katı madde muhtevası şartlandırmayı etkileyen önemli bir faktördür. Biyolojik çamurların içerdiği çok miktarda mikrobiyal katılar susuzlaştırma işlemini zorlaştıran en önemli faktördür (Puhakka vd.,1992). Biyolojik çamurlar, primer çamurlara göre oldukça zor şartlandırılır. Biyolojik çamurların diğer çamurlar ile karıştırılarak şartlandırılmaları genellikle gerekli olan kimyasal ihtiyacını artırır ve şartlandırma işleminin performansını düşürür. Uzun çamur yaşlarının uygulandığı aktif çamur sistemlerinde oluşan biyolojik çamurların kimyasal madde gereksinimleri, kısa çamur yaşlarının uygulandığı durumlara göre daha azdır (Çabuk, 1998).

Biyolojik çamurların şartlandırılması için gerekli olan polimer dozu; filamentli büyümenin derecesi, biokolloidlerin konsantrasyonu ve biopolimerlerin miktarındaki artış ile artar. Novak ve Haugan (1979), gerekli koagülant dozunun katı madde konsantrasyonuna göre değil de, daha çok anyonik biokolloidler ve biopolimerlere bağlı olduğu görüşünü savunmuşlardır. Bu çalışmada, seyreltilmiş biyolojik çamurların katyonik polielektrolitler ile şartlandırılması yapılmış ve biopolimerlerin, biyolojik çamur partiküllerine zayıf bir şekilde bağlı olduğu ve hızlı bir karıştırma ile bu polimerlerin süpernatanta geçtikleri tesbit

edilmiştir. Aynı çalışmada, çözünmüş yada kolloidal haldeki anyonik maddelerin kötü bir susuzlaşmaya neden olduğu gözlenmiştir. Ayrıca çalışmada, organik şartlandırmada, biyokolloid ve biyopolimerlerin katyonik polielektrolitlerle oluşturduğu yük nötralizasyonunun etkili olduğu vurgulanırken, metal komplekslerin neden olduğu şartlandırmada, metal hidroksit floklarının adsorbsiyonunun etkili olduğu tesbit edilmiştir.

4.3.2 Çamur şartlandırma deneyleri

Çamurun en iyi şekilde nasıl şartlandırılacağı, laboratuvar ölçekli şartlandırma testleri, pilot tesis ve tam ölçekli şartlandırma testleri ile belirlenir. Çamur şartlandırma testi için temsil edici bir çamur örneğinin alınması gereklidir. Çamurun bekletilmesi şartlandırmayı olumsuz etkiler ve çamur şartlandırma deneyinde hatalı sonuçlar verir. Eğer çamurun bekletilmesi gerekiyor ise 1-5 °C’de ve içerisine (biyolojik çamur için %1, çürümüş çamur için %0,1 oranında) formaldehit ilave edilerek bekletilmesi gerekmektedir.

Çamur susuzlaştırma deneyleri;

- Çamur susuzlaştırmada kullanılan kimyasalların değerlendirilmesi,
- Pilot veya tam ölçekli çamur susuzlaştırma prosesleri için tasarım kriterlerinin geliştirilmesi,
- Farklı çamur şartlandırma tekniklerinin birbirlerine karşı üstünlüklerinin karşılaştırılması ve değerlendirilmesi
- Çamur susuzlaştırma proseslerinin işletilmesinin kontrolü için yapılır.

Çamurun susuzlaşabilirlik özelliği, laboratuvar çamur filtrasyonu (ölgül direnç) veya kapiler emme süresi (CST) deneyleri yapılarak tespit edilir.

Ölgül direnç deneyi, çamur susuzlaştırma özelliklerinin değerlendirilmesi ve çeşitli kimyasal şartlandırıcıların belirlenmesinde yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Atıksu çamurlarının susuzlaşabilirliğini karakterize etmek için, Darcy formülü kullanılarak teorik bir yaklaşımla ölgül direnç kavramı ve ölgül direncin tespiti için vakum altında çalışan bir “buchner funnel” prosedürü geliştirilmiştir.

Temel filtre denklemi şu şekildedir;

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P \cdot A^2}{\mu(w \cdot r \cdot V + R_f \cdot A)} \quad (4.16)$$

Sabit basınçta (4.16) denkleminin integrasyonu neticesinde (4.17) eşitliği elde edilir.

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \cdot r \cdot w}{2 \cdot P \cdot A^2} \cdot V + \frac{\mu \cdot R_f}{P \cdot A} \quad (4.17)$$

Burada; r: özgül direnç, m/kg

P: filtrasyon basıncı, N/m²

μ : viskozite, N.s/m²

V: filtrasyon hacmi, m³

t: filtrasyon süresi, sn

w: birim hacimdeki filtre çamurundan elde edilen kekin kuru ağırlığı, kg/m³

A: filtre kağıdı alanı, m²

R_f: filtre ortamının direnci, 1/m

Bu formül, $y = b \cdot x + a$ şeklinde olup,

süzülen miktar (V), değişik zamanlar için ölçülerek, t/V'nin V'ye karşı çizilen grafiğinden elde edilen doğrunun eğimi b değerini verir. Bu şekilde bilinmeyen tek değer olan r, (4.18) eşitliği ile hesaplanır.

$$r = \frac{2 \cdot P \cdot A^2 \cdot b}{\mu \cdot w} \quad (4.18)$$

Burada; w, yaklaşık olarak giriş çamur konsantrasyonu olarak alınabilir. Özgül direncin hesabında; genellikle μ yerine, suyun viskozitesi veya 0,0011 N.s/m² sabit değeri kullanılır (Çabuk, 1998).

Evsel atıksular için tipik özgül direnç değerleri; şartlandırılmış çürümüş çamur için 0,3-4.10¹² m/kg ve primer çamur için 1,5-5.10¹⁴ m/kg şeklinde verilmektedir (WPCF, 1988).

Vosser (1990), susuzlaştırma işleminde, arıtma esnasında kullanılan kimyasalın etkisinin olduğunu belirtmiştir. Arıtmada, kirecin demir sülfat ile beraber veya yalnız kullanılmasıyla oluşan çamurun özgül direncinin $3-11 \cdot 10^{12}$ m/kg arasında iken, demir sülfatın yalnız kullanıldığı halde özgül direncin $15-23 \cdot 10^{12}$ m/kg'a yükseldiğini tesbit etmiştir. Ayrıca çalışmada, kimyasal arıtma çamurların susuzlaştırılmasında, anyonik polimerin kullanılması halinde spesifik direncin $0.1 \cdot 10^{12}$ m/kg'a kadar düşürülebileceği ifade edilmiştir.

Şartlandırılmamış çamur için tipik CST değeri yaklaşık 200 saniye ve yukarısidir. Şartlandırılmış çamur ise 10 saniye veya daha kısa bir sürede çok kolay bir şekilde suyunu bırakabilir (WPCF, 1988).

4.4 Evsel Atıksuların Kimyasal Arıtımında Kullanılan Prosesler

Evsel atıksuların kimyasal arıtımı direkt olarak veya üçüncül (ileri) arıtma şeklinde uygulanabilir. Bu sebeple, kullanılan proseslerin daha iyi anlaşılması için sadece kimyasal arıtma yapan tesisler ve kimyasal/biyolojik tesisler olmak üzere iki kısımda incelenmesi uygun olacaktır.

4.4.1 Sadece kimyasal arıtma yapan tesisler

Bu tesislerde atıksular, sadece kimyasal arıtma işlemine tabi tutulduktan sonra deşarj edilmektedir. Bunlar; kimyasalla güçlendirilmiş mekanik arıtma, ön kimyasal uygulamalı arıtma tesisleri, ikincil kimyasal uygulamalı arıtma tesisleri ve kireç/deniz suyu prosesleri olarak dört sınıfta incelenebilir.

4.4.1.1 Kimyasalla güçlendirilmiş mekanik arıtma (CEMT)

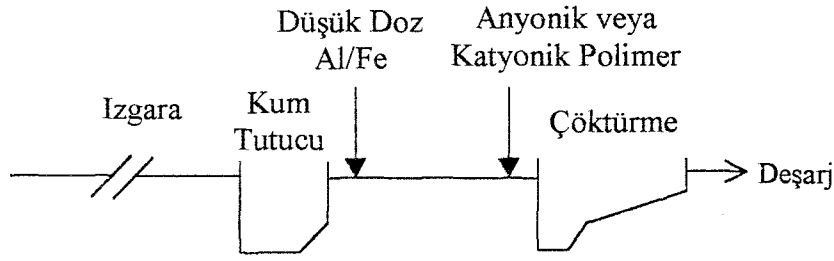
Bu tesislerde kimyasallar, AKM'lerin ayrımını geliştirmek ve organik madde giderimini artırmak için kullanılır. Bu uygulama, işletilmekte olan mekanik ön arıtma tesislerinin

arıtma verimlerini artırmak amacıyla kullanılır. Nenov (1995), Bulgaristan'ın Ravda Kenti atıksularının arıtıldığı biyolojik tesisin veriminin artırılması için yaptığı çalışmada, CEMT prosesini temsil eden jar test çalışmaları ile organik maddeler için %50'nin ve AKM için %60'ın üzerinde giderme verimi elde etmiştir. Aynı çalışmada, CEMT tesislerinin daha sonra ilave edilecek olan biyolojik adımın organik madde yükünü azaltacağı ve turistik bölgelerde yaz aylarındaki debi artışlarından etkilenmeyeceği belirtilmiştir. Bu tesisler yüksek debide işletildiklerinde TP için %70 civarında, düşük debide işletildiklerinde ise %90'a yakın giderme verimi sağlamaktadır (Henze ve Odegaard, 1995). CEMT proseslerinde (Şekil 4.2) kimyasallar, mevcut mekanik çöktürme tankından önce (örneğin kum tutucu çıkışında) dozlanır. Prosesin amacı AKM'yi koagüle etmek olduğundan, metal koagülant dozu düşüktür (örneğin <50 mg FeCl₃/l). Düşük metal dozlarında koagülasyon zayıf olursa, katyonik polimer koagülant olarak ilave edilebilir. Anyonik polimer flokülant olarak sıkça kullanılır (Henze ve Odegaard, 1994).

Heinke vd. (1980), mekanik bir arıtma tesisine kimyasal ilavesinin değişik yüzey yüklerinde çalışan çökeltme havuzlarının verimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Kimyasal ilavesinin değişik yüzey yüklerinde çöktürme tankının verimine etkisi (Heinke vd., 1980)

Yüzey yükü, m ³ /m ² .gün	İlave edilen kimyasal	Verim, %		
		BOİ	TP	AKM
24	0	24	6	40
	FeCl ₃	62	68	66
	FeCl ₃ + polimer	65	82	87
49	0	18	6	30
	FeCl ₃	52	56	56
	FeCl ₃ + polimer	60	80	81
73	0	10	3	18
	FeCl ₃	26	35	42
	FeCl ₃ + polimer	50	74	73



Şekil 4.2 Kimyasalla güçlendirilmiş mekanik arıtma tesisi akım şeması

4.4.1.2 Ön kimyasal uygulamalı arıtma tesisleri

Bu tesislerde (Şekil 4.3) asıl hedef fosfor giderimi ve asılı organik maddeleri gidermek olduğu için metal koagülant, flokülasyon tankından önce oldukça yüksek dozlarda ilave edilir. Flokülasyon mekanik karıştırma ile tamamlanır, ancak anyonik polimer ilavesi flokleşmeyi daha da geliştirilebilir. 3 değerlikli Al ve Fe koagülant olarak kullanılır. Tipik dozlar $100-200 \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3 / \text{m}^3$ veya $150-250 \text{ g FeCl}_3 / \text{m}^3$ 'tür. Normal olarak 2-4 flokülasyon tankı seri olarak kullanılır. Anyonik polimer flokülant yardımcısı olarak kullanılabilir (Henze ve Odegaard, 1994).

Odegaard (1989), Norveç'teki 56 kimyasal atıksu arıtma tesisinde yaptığı çalışmada, arıtma sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesini vermiştir. Çalışmalarda elde edilen arıtma sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir. Bu neticelere göre, ön kimyasal uygulamalı arıtma tesislerinde AKM, BOİ, KOİ ve TP için sırasıyla ortalama %84, %80, %70 ve %90 gibi arıtma verimleri elde edilebilmektedir. Danimarka'da pilot ölçekte yapılan, biyolojik çamur hidrolizi ve azot giderimi ile birleştirilmiş kimyasal uygulamalı arıtma tesisi örneğinde ise, çöktürme çıkışında elde edilen AKM, KOİ, BOİ, TP ve TKN verimleri sırasıyla %83, %60, %62, %76 ve %17 şeklindedir (Kristensen vd., 1992).

İstanbul'daki evsel atıksu arıtma tesislerinden Baltalımanlı Ön Arıtma Tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kullanılarak yapılan arıtılabilirlik çalışmasında; AKM'de %63, KOİ'de %51, TP'de %80 ve TKN'de %38 giderme verimlerine ulaşılabildiği tesbit edilmiştir (Debik vd., 1998b).

Çizelge 4.4 Norveç'te 56 kimyasal uygulamalı arıtma tesisinde yapılan ölçümlerin sonuçları (Odegaard, 1989)

Proses	Tesis Sayısı	AKM, mg/l			BOİ, mg/l			KOİ, mg/l			TP, mg/l		
		Giriş	Çıkış	%	Giriş	Çıkış	%	Giriş	Çıkış	%	Giriş	Çıkış	%
ÖKU ¹	23	172	27	84.3	216	42	80.2	323	92	70.6	5.50	0.54	90.2
İKU ²	33	218	22	89.9	238	36	84.9	404	74	81.6	7.20	0.50	93.0
ÖKU&İKU	56	387	24	87.6	229	39	83.0	360	83	76.9	6.20	0.52	91.6

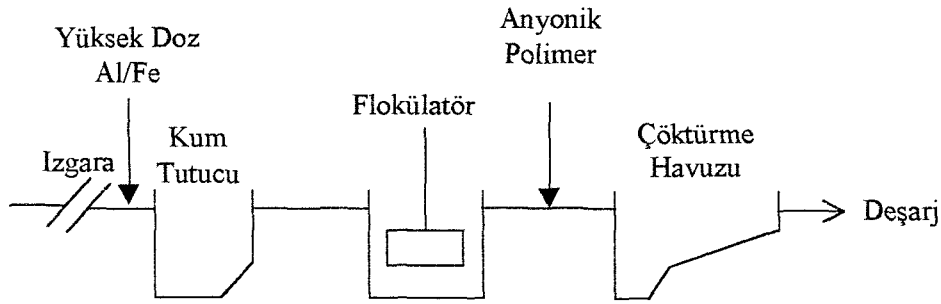
¹Ön kimyasal uygulamalı arıtma tesisi, ²İkincil kimyasal uygulamalı arıtma tesisi

Mekanik ön arıtma tesislerinin verilen değerlendirmeler gözönünde tutularak projelendirilmesi durumunda alıcı ortamların kirlenmesi büyük miktarda önlenmiş olacaktır. Daha sonra bu tesislere biyolojik arıtmanın ilave edilmesi ile arıtmanın daha verimli olması sağlanacaktır (Debik vd., 1998a).

Heinke vd. (1980)'nin muhtelif yüzey yüklerinde ön kimyasal uygulamalı arıtma tesislerinin performansı ile ilgili yaptıkları çalışmalarda Çizelge 4.5'deki neticeler edilmiştir.

Çizelge 4.5 Değişik yüzey yüklerinde ön kimyasal uygulamalı arıtma tesislerinin verimi (Heinke vd., 1980)

Yüzey yükü, m ³ /m ² .gün	İlave edilen kimyasal	Verim, %		
		BOİ	TP	AKM
29	0	40	33	54
	FeCl ₃	62	78	77
	FeCl ₃ + polimer	76	84	89
49	0	23	17	44
	FeCl ₃	70	78	75
	FeCl ₃ + polimer	80	84	88
98	0	22	16	33
	FeCl ₃	62	63	65
	FeCl ₃ + polimer	70	78	82



Şekil 4.3 Ön kimyasal uygulamalı arıtma tesisi akım şeması

4.4.1.3 İkincil kimyasal uygulamalı arıtma tesisleri

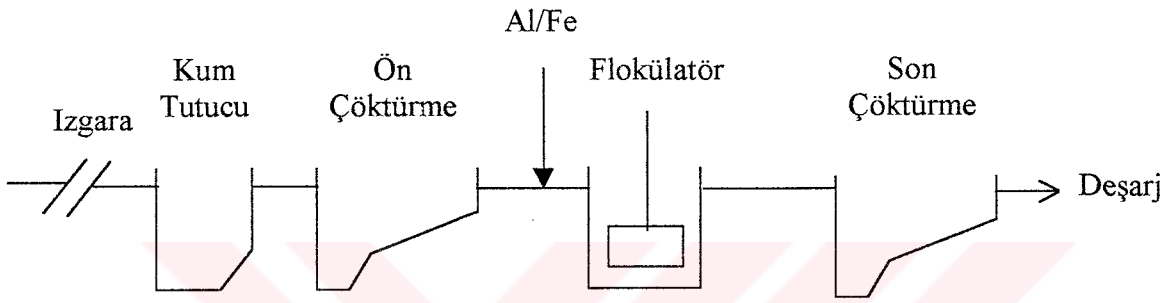
Bu tesisler, halihazırda işletilmekte olan bir mekanik ön arıtma tesisinde düşük maliyetli bir ilave yaparak verimi artırmak amacıyla kullanılır (Şekil 4.4). Odegaard (1992) 87 değişik kimyasal atıksu arıtma tesisinde yaptığı çalışmada, arıtma sonuçlarının değerlendirmesini yapmıştır. Çalışmada ayrıca, kullanılan kimyasal dozlar, oluşan çamur miktarı, enerji ihtiyacı ve işletme maliyeti gibi değerlendirmeler de verilmiştir. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda Çizelge 4.6'daki arıtma sonuçları elde edilmiştir. Çizelgeden görüleceği gibi; mevcut bulunan ön çöktürmeden sonra inşa edilen bir kimyasal arıtma, AKM ve TP giderme verimlerini %92 ve %95 gibi değerlere çıkarmakta, fakat ön kimyasal uygulama tesislerine göre diğer parametrelerde ilave bir verim artışı sağlamamaktadır. Çalışmada incelenen arıtma tesislerinde kullanılan kimyasal miktarları da Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.6 Norveç'te 87 kimyasal arıtma tesisinde yapılan ölçümlerin sonuçları (Odegaard, 1992)

Parametre	Ön kimyasal uygulama			İkincil kimyasal uygulama		
	Giriş,mg/l	Çıkış,mg/l	Verim,%	Giriş,mg/l	Çıkış,mg/l	Verim,%
AKM	233	17	88	238	16	92
BOİ ₇	187	25	82	158	28	81
KOİ	505	108	76	453	103	75
TOK	84	27	66	73	22	65
TP	5.40	0.28	93	5.32	0.24	95
TKN	37	29	28	34	29	28

Çizelge 4.7 Norveç'teki 87 kimyasal arıtma tesisinde kullanılan ortalama kimyasal miktarları (Odegaard, 1992)

Kimyasal	Ortalama Doz (g/m ³)
Alum	183.0
FeCl ₃	253.0
Organik polimer	0.5
Çamur susuzlaştırma için organik polimer	2.9



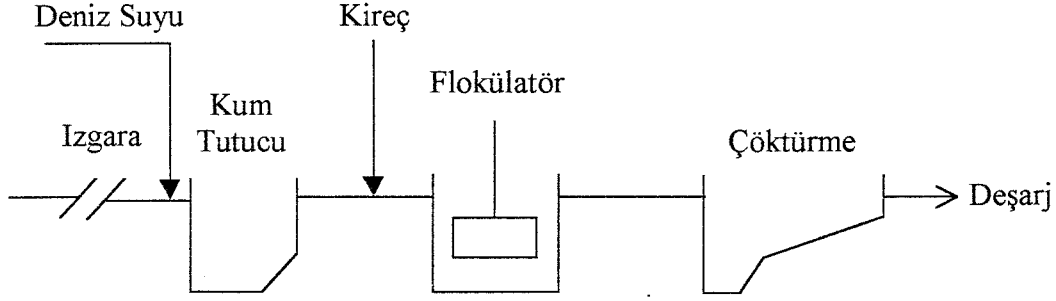
Şekil 4.4 İkincil kimyasal uygulamalı arıtma tesisi akım şeması

4.4.1.4 Kireç/deniz suyu prosesleri

Bu tesisler ön kimyasal uygulamalı arıtma tesisleri gibi koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme adımlarını ihtiva eden, fakat atıksuya küçük bir yüzdeyle sürekli deniz suyunun karıştırıldığı tesislerdir (Şekil 4.5). Atıksu arıtımında deniz suyunun kullanılması, askıda katı maddeleri ve fosfatı gidermede kireci daha etkili yapar. Bu proses 1970'lerin ortalarında Norveç'te birkaç atıksu arıtma tesisinde kullanıldı ve halen bu ülkede kullanılmaktadır. Özellikle sahil kesimlerinde, denize deşarj yapılacaksa ve BOİ giderimi gerekli değilse biyolojik tesis kuruluncaya kadar bu tesislerin kullanılması faydalıdır.

Bu tesislerde koagülant olarak kireç kullanılmaktadır. Ferguson ve Vrale (1984) kireç/deniz suyu proseslerinin kimyasal etkilerini inceledikleri çalışmada, atıksuya %5 deniz suyu ilave edildiğinde belirli bir dozda kalan fosfor miktarının ön kimyasal uygulamalı arıtma tesislerine göre oldukça düşük olduğunu tesbit etmişlerdir. Ayrıca çalışmada, atıksu içeriğindeki Mg eksikliğinden, prosesin etkilenmediği tesbit edilmiştir. Bu proses ile AKM, KOİ, BOİ ve TP sırasıyla %95, %75, %80 ve %90 civarında

giderilmektedir. Deniz suyunun partikül destabilizasyonu, agregasyon ve çökelmenin artışı üzerinde etkileri oluşmaktadır. Bu proses denize yakın kurulacak olan tesislerde kullanılabilir (Odegaard, 1989).



Şekil 4.5 Kireç/deniz suyu prosesi akım şeması

4.4.2 Kimyasal/biyolojik tesisler

Bu tesisler biyolojik arıtmanın belli bir adımında kimyasal prosesi ihtiva eden tesislerdir. Bu prosesler, azot giderimini de içine alan ve kimyasalın ilave edildiği kısma bağlı olarak 5 kısımda incelenebilir.

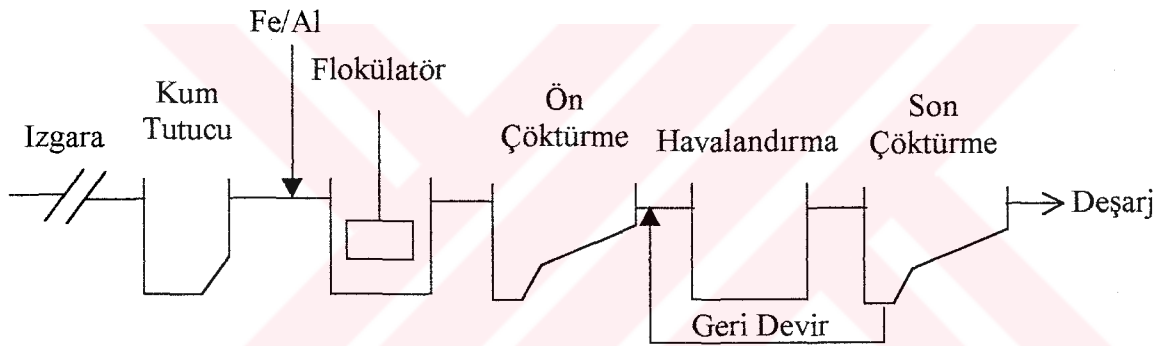
4.4.2.1 Ön kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma tesisleri

Bu tesisler biyolojik adımdan önce koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme proseslerine sahiptir. Fosforun ve organik maddenin iyi bir şekilde giderilmesi için kullanılan bu tesislerin akım şeması Şekil 4.6'da verilmiştir.

Murcott ve Harleman (1994), Macaristan ve Slovakya'daki atıksu arıtma tesislerinin kimyasal ilavesi ile iyileştirilmesi için yaptıkları çalışmada, biyolojik tesislerde böyle bir modifikasyonun yapılması ile AKM, BOİ, KOİ, TKN giderimlerinin artmasının yanında TP'nin de iyi bir şekilde giderileceğini tesbit etmişlerdir. Bunun yanında, kimyasal ilavesiyle biyolojik tesisin daha büyük yüzey yüklerinde çalıştırılabileceği ve biyolojik kısma giren organik madde yükünün azalması sebebiyle havalandırma tankında nitrifikasyonun geliştirilebileceği ifade edilmektedir. İsrail'de yapılan diğer bir çalışmaya göre, ön kimyasal uygulamalı biyolojik tesisler ile AKM'nin 96'sı, KOİ'nin %94'ü, BOİ'nin %97'si ve ortofosfatın %96'sının giderilebileceği belirtilmektedir (Galil ve

Rebhun, 1990). Çalışmada elde edilen neticeler Çizelge 4.8’de verilmiştir. Aynı çalışmada, nitrifikasyon için ön kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma prosesinde 4 günlük çamur yaşı gerekli iken, ikincil kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma prosesinde 10 günlük çamur yaşı gerektiği ifade edilmektedir. Ayrıca çalışmada, ön kimyasal uygulamalı biyolojik tesislerin ikincil kimyasal uygulamalı biyolojik tesislere göre, çoğu inorganik kökenli olan ve katı madde muhtevası yüksek olan daha düşük çamur üretimine sebep olduğu belirtilmektedir.

Hruschka (1980), Starnberg (Almanya) Biyolojik Arıtma Tesisi’nde ön çöktürmeden önce kireç kullanarak yaptığı çalışmada, $1.5 \text{ kg BOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$ olan organik yükün, kullanılan kireç miktarına bağlı olarak $0.24 \text{ kg BOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$ ’e kadar düştüğünü tesbit etmiştir. Tesiste yapılan ölçümlerden son çöktürme çıkışında BOİ %97, KOİ %92, TP %69 ve MLSS (biokütle) %98 civarında giderildiği tesbit edilmiştir.



Şekil 4.6 Ön kimyasal uygulamalı aktif çamur tesisi akım şeması

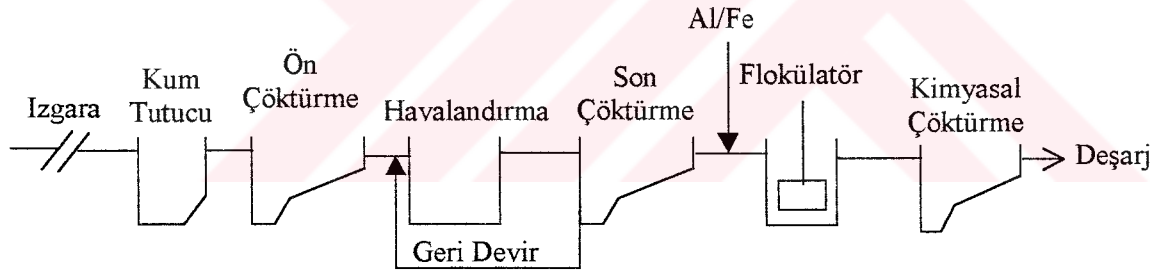
4.4.2.2 İkincil kimyasal uygulamalı biyolojik tesisler

Bu tesisler biyolojik tesislerin son çöktürme ünitesinden sonra kimyasal uygulamanın yapıldığı tesislerdir. Bu durumda fazladan bir çöktürme tankı gereklidir (Şekil 4.7). Galil ve Rebhun (1990)’un ön kimyasal uygulamalı ve ikincil kimyasal uygulamalı biyolojik tesislerin karşılaştırmasını yaptıkları çalışmada, arıtma tesislerinden elde edilen çıkış değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Buna göre, ikincil kimyasal uygulamalı biyolojik tesisler de AKM’nin %92’si, KOİ’nin %88’i, BOİ’nin %93’ü ve ortofosfatın %46’sı giderilebilmektedir. Bu sonuçlara göre, ön kimyasal uygulamalı biyolojik tesislerin, ikincil kimyasal uygulamalı biyolojik tesislerden daha verimli çalıştığı söylenebilir.

Çizelge 4.8 Ön kimyasal uygulamalı ve ikincil kimyasal uygulamalı biyolojik tesislerin verimleri (Galil ve Rebhun, 1990)

Parametre	Ham atıksu	Ön kimyasal uygulamalı biyolojik		İkincil kimyasal uygulamalı biyolojik	
		Çıkış	Verim,%	Çıkış	Verim,%
AKM, mg/l	430	17	96	34	92
KOİ, mg/l	850	50	94	100	88
BOİ, mg/l	310	9	97	20	93
PO ₄ , mg/l	56	2.1	96	30	46

Norveç'teki 174 küçük kimyasal/biyolojik tesisle ilgili yapılan başka bir çalışmada, 49 adet ikincil kimyasal uygulamalı biyolojik tesis incelenmiş ve tesislerin ortalama TP giderimi %92, BOİ giderimi de %93 olarak verilmiştir (Storhaug, 1990).



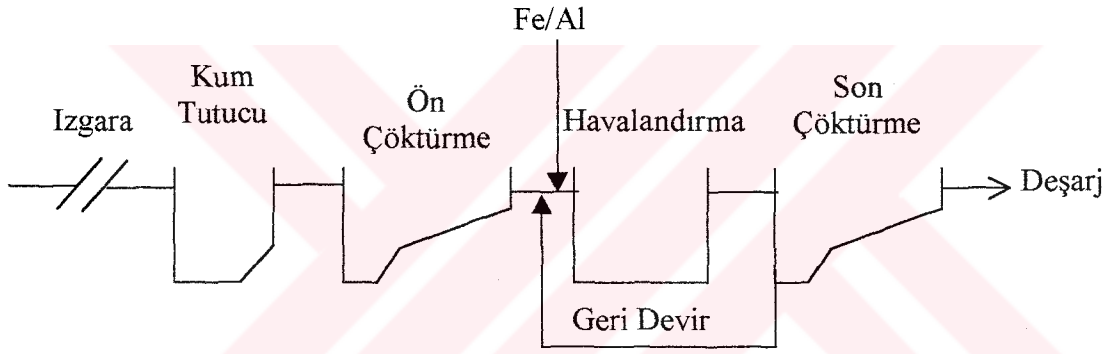
Şekil 4.7 İkincil kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma tesisi akım şeması

4.4.2.3 Eş zamanlı kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma

Bu tesislerde, aktif çamur havuzu karıştırma ve flokülasyon işlemi için de kullanılır. Bu sebeple kimyasallar havalandırma havuzuna ilave edilerek koagülasyon havalandırma havuzunda tamamlanır (Şekil 4.8). Meydana gelen floklar son çöktürme havuzunda çöktürülür. Bu uygulamadaki asıl gaye, fosfor ve organik maddelerin iyi bir verimle giderilmesidir. Mevcut biyolojik tesislerin geliştirilmesi için en uygun yöntem olduğu söylenebilir (Henze ve Odegaard 1994; Rantala 1980).

Biyolojik ve kimyasal fosfor gideriminin farklarının belirlenmesi için yapılan bir çalışmada, havalandırma tankının çıkışına yakın kimyasalların ilavesi ile havalandırma havuzunda biyolojik fosfor alımı için daha elverişli bir durum sağlanacağı ve böylece kimyasal ihtiyacının azalabileceği belirtilmektedir. Fosfor gideriminde kimyasal arıtmanın etkisi, kimyasal doz ile fosforun teorik molar oranlarına bağlıdır. Örneğin Fe^{+3} için optimum teorik molar $\text{Fe/P}=1:1$ 'dir. Bu oranın uygulanması halinde, bu proseslerde %90 civarında fosfat giderme verimi elde edilebilir (Ketchum vd., 1987).

Storhaug (1990), bu tesislerin verimlerini TP ve BOİ için ortalama olarak sırasıyla %82 ve %85 olarak tesbit etmiştir. Bir diğer çalışmada bu tesislerin verimleri, BOİ için %88, T-P için %85 ve TKN için %30 olarak verilmektedir (Henze, 1995a).



Şekil 4.8 Eş zamanlı kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma tesisi akım şeması

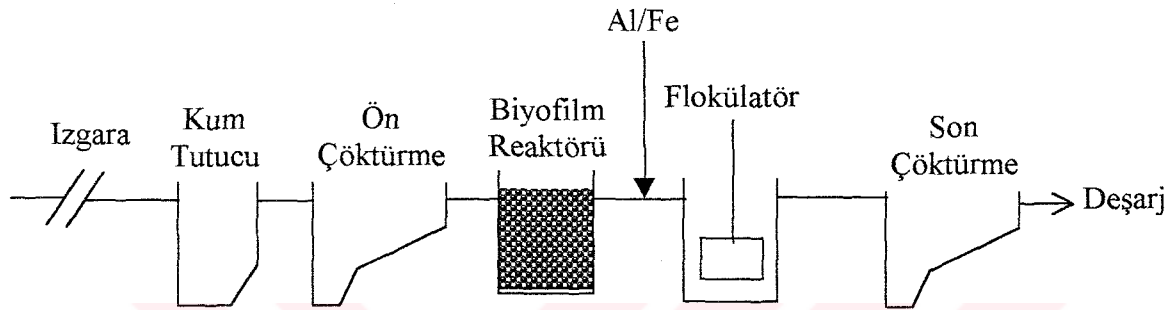
Odegaard vd. (1987), ön kimyasal uygulamalı, ikincil kimyasal uygulamalı ve eş zamanlı kimyasal uygulamalı biyolojik tesislerin stabilizasyon havuzlarında da kullanılabildiğini belirtmektedir. Eş zamanlı kimyasal uygulamalı biyolojik tesislerin (in-pond precipitation) en kolay ve en ucuz yöntem olduğu ve bu yöntemle %70-90 BOİ giderimi, %85-95 de TP gideriminin sağlanabileceği ifade edilmiştir.

4.4.2.4 Birleştirilmiş kimyasal uygulamalı biyolojik tesisler

Bu tesislerde kimyasal arıtma biyolojik adımdan sonra uygulanmaktadır (Şekil 4.9). Bu tarzdaki uygulama daha çok biyofilm tesislerinde kullanılmaktadır. Bu tesislerde biyokütle

ve diğer kolloidal yapıdaki malzemeler flokleştirilerek son çöktürme havuzunda çöktürülmektedir.

Rusten vd. (1997), mevcut biyolojik/kimyasal tesislerin akışkan yataklı biofilm tesislerine çevrilmesini inceleyen çalışmalarında, bu proseslerin BOİ, AKM ve TP'yi %90'ın üzerinde, TKN'yi ise %30 civarında giderdiğini tesbit etmişlerdir.

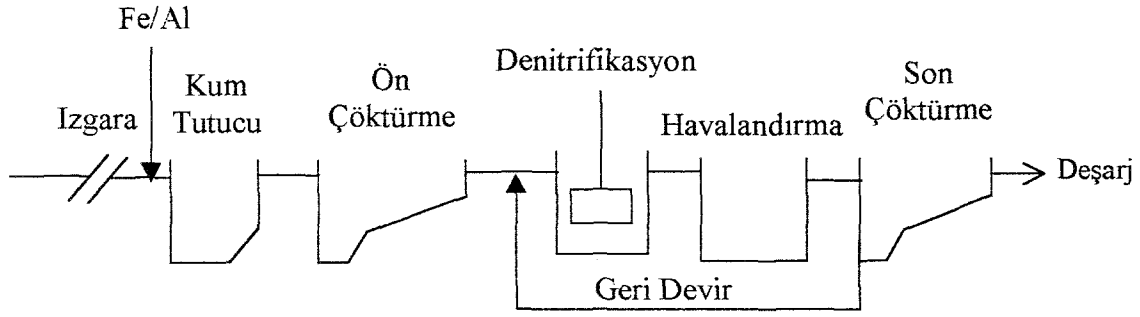


Şekil 4.9 Birleştirilmiş kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma tesisi akım şeması

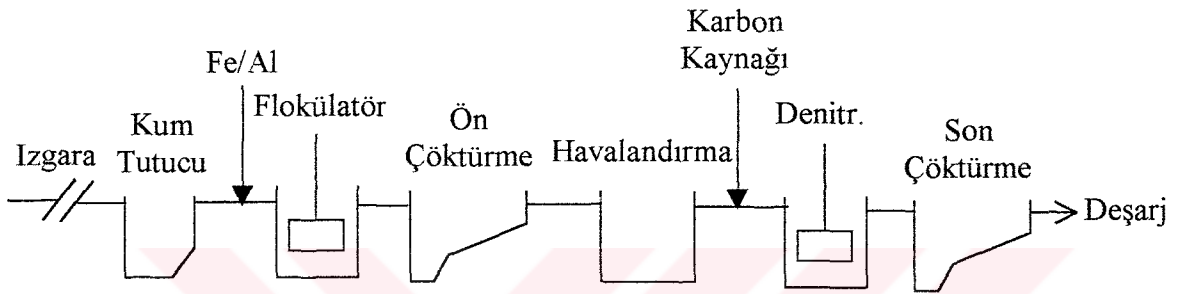
4.4.2.5 Azot giderimine sahip kimyasal biyolojik tesisler

Bu tesisler organik madde ve fosfor giderimi ile birlikte azot giderimi için de etkilidir. Bunlar ön denitrifikasyon veya son denitrifikasyona sahip biyolojik arıtma şeklinde dizayn edilebilirler (Şekil 4.10 ve 4.11). Son denitrifikasyona sahip tesislerde, denitrifikasyon adımından önce sisteme karbon kaynağının verilmesi gereklidir (Harremoes vd., 1991). Bu tesislerde organik madde ve fosfor %95'in üzerinde, TKN ise %80 civarında giderilebilir (Henze, 1995b).

Henze ve Harremoes (1990), kimyasal/biyolojik nütrient gideriminde Hypro prosesinin de verimli bir şekilde kullanılabileceğini ifade etmektedirler. Bu proseste ön kimyasal uygulamalı arıtma çamurları hidroliz edildikten sonra, hidroliz edilen çamur nitrifikasyon-denitrifikasyon adımıyla karbon kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu proses ile ortalama olarak KOİ %94, TKN %82, TP %92 ve AKM %96 oranında giderilebilmektedir.



Şekil 4.10 Ön denitrifikasyona sahip aktif çamur arıtma tesisi akım şeması



Şekil 4.11 Son denitrifikasyona sahip aktif çamur arıtma tesisi akım şeması

5. İSTANBUL'DAKİ EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİ

İstanbul, yaklaşık 10 milyonluk nüfusu ile dünyadaki en büyük şehirlerden biri olma özelliğini taşımaktadır. Bu nüfusun su ihtiyacı, endüstriyel su ihtiyacı da dahil olmak üzere yaklaşık 1.6 milyon m³/gün civarındadır. Oluşan atıksuların yaklaşık %60'ı; arıtılarak alıcı ortamlara verilebilmektedir.

İstanbul'daki mevcut evsel atıksu arıtma tesisleri şunlardır:

- Yenikapı Ön Arıtma Tesis
- Üsküdar Ön Arıtma Tesis
- Baltalımanlı Ön Arıtma Tesis
- Büyükçekmece Ön Arıtma Tesis
- Ataköy Biyolojik Arıtma Tesis (Damlatmalı Filtre Tesis)
- Tuzla Biyolojik Arıtma Tesis (Aktif Çamur Tesis)

Bu tesislerden Üsküdar Ön Arıtma Tesisinin ortalama arıtma kapasitesi 108.173 m³/gün'dür ve 1992 yılında işletmeye alınmıştır. Tuzla Biyolojik Arıtma Tesis 1.051.000 m³/gün'lük bir kapasiteye sahiptir ve 1998 yılında işletmeye alınmıştır. 334.000 m³/gün kapasiteye sahip olan Büyükçekmece Ön Arıtma Tesis de 1998'de hizmete alınmıştır. Çalışma kapsamında incelenen diğer tesisler hakkında bu bölümde geniş bilgi verilecektir.

Bu tesislere ilave olarak, yapımı süren Kadıköy Ön Arıtma Tesis 833.000 m³/gün, Terkos İleri Arıtma Tesis 1.730 m³/gün ve Paşaköy İleri Atıksu Arıtma Tesis 322.000 m³/gün arıtma kapasitesine sahip olacaktır.

Diğer taraftan, yapılması planlanan atıksu arıtma tesisleri ve hedeflenen arıtma kapasiteleri aşağıdaki gibidir.

Küçükçekmece Biyolojik Arıtma Tesis	1.017.000 m ³ /gün
Küçüközü Ön Arıtma Tesis	284.000 m ³ /gün

Mevcut tesislerin ve yapımı planlanan atıksu arıtma tesislerinin özellikleri incelendiğinde alıcı ortamın hassasiyetine göre bir seçim yapıldığı görülmektedir. Tuzla Arıtma Tesisi haricindeki denize deşarj yapan diğer tesisler ön arıtma tesisleri olarak sınıflandırılırken, hassas alıcı ortamlara deşarj yapan tesisler biyolojik veya ileri arıtma adımlarını içermektedir. Bununla birlikte, ön arıtma tesislerinin de uzun vadede biyolojik adımı ve hatta ileri arıtma adımlarını içermesi planlanmaktadır.

5.1 Çalışma Yapılan Atıksu Arıtma Tesisleri

Bu çalışmada, yukarıda ismi zikredilen arıtma tesislerinden Baltalimanı ve Yenikapı Ön Arıtma Tesisleri ile Ataköy Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi ele alınmıştır.

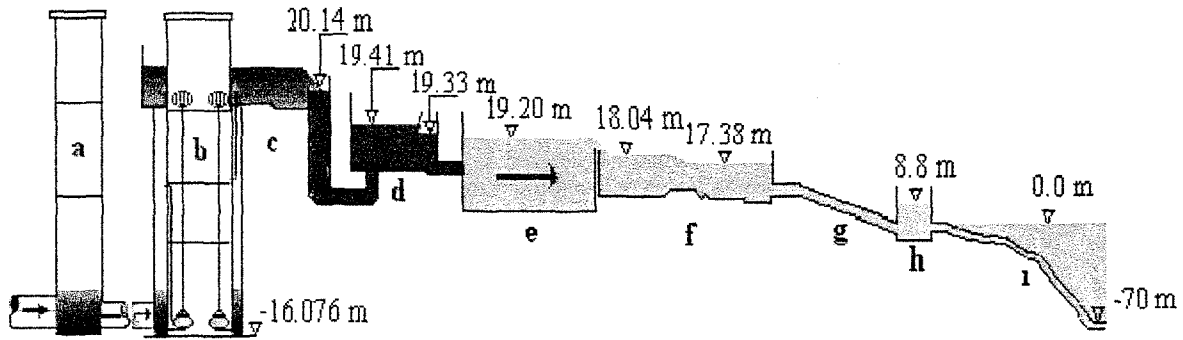
5.1.1 Baltalimanı Ön Arıtma Tesisi

Baltalimanı Ön Arıtma Tesisi, 20.000 m² alanda kurulmuş ve 1. kademede ortalama 625.000 m³/gün (1,5 milyon eşdeğer nüfus), 2. kademede 1.250.000 m³/gün (3 milyon eşdeğer nüfus) debisindeki evsel atıksuları ön arıtmaya tabi tutabilecek kapasitededir. Çalışmaların gerçekleştirildiği sürede ortalama atıksu debisi 200.000 m³/gün olarak gerçekleşmiştir. Kabataş-Baltalimanı Tünelleri ile Kuzey Haliç Kollektör ve Tünellerinden gelen atıksular tesise yaklaşık -16 metre kotundan ulaşmaktadır.

Atıksular öncelikle kaba ızgaradan geçerek pompa dairesine geçmekte ve dağıtma yapısına pompalanmaktadır. Bir ters sifon vasıtasıyla ince ızgaraya geçen atıksular, daha sonra paralel olarak çalışan 4 adet havalandırmalı kum tutucudan geçmektedir. Kum tutucuda köpük ve kumdan arınan atıksu sahilden 350 m. uzakta, 70 m. derinlikten boğaz dip akıntısına deşarj edilmektedir. Tesisin akım şeması Şekil 5.1’de verilmiştir.

5.1.2 Yenikapı Ön Arıtma Tesisi

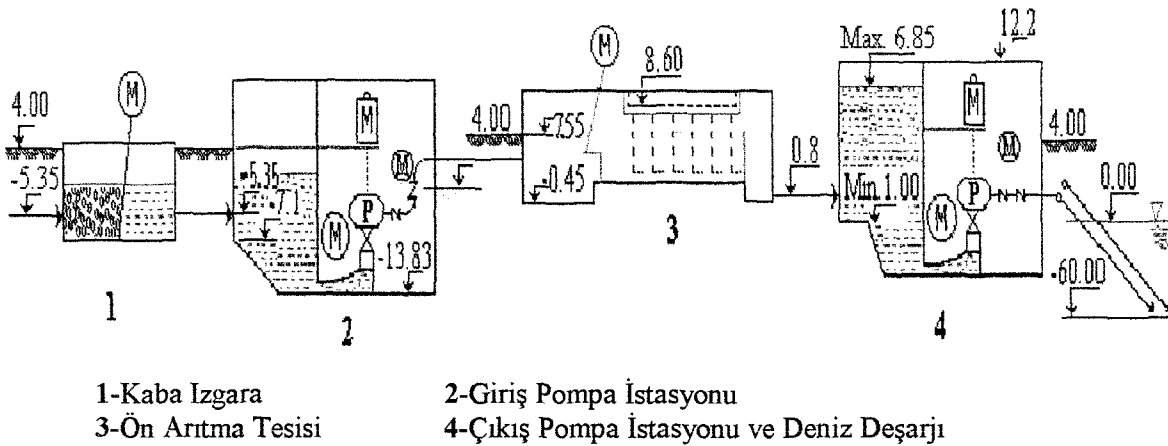
2,5 milyon eşdeğer nüfusa göre projelendirilmiş olan tesisin azami kapasitesi 873.000 m³/gün’dür. Tesis, Zeytinburnu Atıksu Terfi Merkezi, Silahtarağa Atıksu Terfi Merkezi, Alibey Deresi Kollektörleri ve Kağıthane Sağ Sahil Kollektör atıksularını almaktadır.



- a: Kaba ızgara binası b: Pompa binası c: Dağıtma yapısı d: İnce ızgara
e: Kum tutucu f: Ölçüm savağı kanalı g: Kara deşarj boru hattı h: Deniz deşarjı yükleme odası
ı: Deniz deşarj hattı

Şekil 5.1 Baltalimanı Ön Arıtma Tesisi akım şeması

Çalışmaların yapıldığı tarihte tesis %25 kapasiteyle ($216.000 \text{ m}^3/\text{gün}$) çalışır durumdadır. Atıksular, birleştirme yapısında karıştırıldıktan sonra kaba ızgara ünitesinden geçmektedir. Daha sonra, kapasiteleri $216.000 \text{ m}^3/\text{gün}$ olan 5 adet pompanın bulunduğu terfi merkezine ulaşan atıksular, mekanik olarak arıtılmak üzere tesise verilmektedir. İnce ızgara ve havalandırmalı kum tutucudan geçen atıksular çıkış terfi merkezine verilmektedir. Mekanik olarak arıtılmış atıksular, çıkış terfi merkezindeki günlük kapasitesi yaklaşık 260.000 m^3 olan 4 pompa vasıtasıyla 2200 mm çaplı ve 2400 m uzunluğundaki iki boru hattı ile Ahırkapı açıklarında takriben 60 m derinliğinde boğazın dip akıntısına verilmektedir. Tesisin akım şeması Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2 Yenikapı Ön Arıtma Tesisi akım şeması

5.1.3 Ataköy Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Ataköy Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi, Ataköy yerleşim bölgesi ve civarının atıksularını mekanik ve biyolojik olarak arıtmaktadır. Tesis 1962 yılında inşa edilmiş olup, bir süre işletildikten sonra devreden çıkartılmış ve 25 yıl sonra tekrar faaliyete sokulmuştur. Takriben 45.000 kişinin atıksularını arıtabilecek şekilde dizayn edilen tesise ortalama $7.200 \text{ m}^3/\text{gün}$ atıksu ulaşmaktadır.

Atıksular, Ataköy biyolojik arıtma tesisinin sahası dışında, birleşik sistem kanal şebekesi üzerinde tesis edilen birinci terfi istasyonu (TM1) ile bir üst kota terfi edilmekte ve tekrar serbest yüzeyli akım ile tesise iletilmektedir. Yumurta kesitli bir yaklaşım kanalı ile tesise ulaşan atıksular, kaba ızgaradan geçtikten sonra iki nolu terfi istasyonuna (TM2) gelmektedir. Yağışlı havalarda gelen fazla yağmur suları, pompa istasyonunda teşkil edilmiş olan dolu savaklar ile feyezan kanalına verilmektedir.

Atıksular, TM2'den 4,5 m. çaplı dairesel planlı havalandırmalı kum tutucuya terfi edilmektedir. Kum tutucu girişinde el ile temizlenen bir ince ızgara mevcuttur. Kum tutucudan geçen atıksular, bir ventürimetreden sonra dağıtıcıya gelmekte ve buradan ön çöktürme havuzuna verilmektedir.

Ön çöktürme havuzu 22 m çapında dairesel olarak projelendirilmiştir. Ön çöktürmeden geçen atıksular ve çamurlar ayrı ayrı üçüncü pompa istasyonuna (TM3) gönderilmekte ve buradan atıksular biyolojik arıtma için damlatmalı filtreye, çamurlar ise çamur çürütücülere pompalanmaktadır.

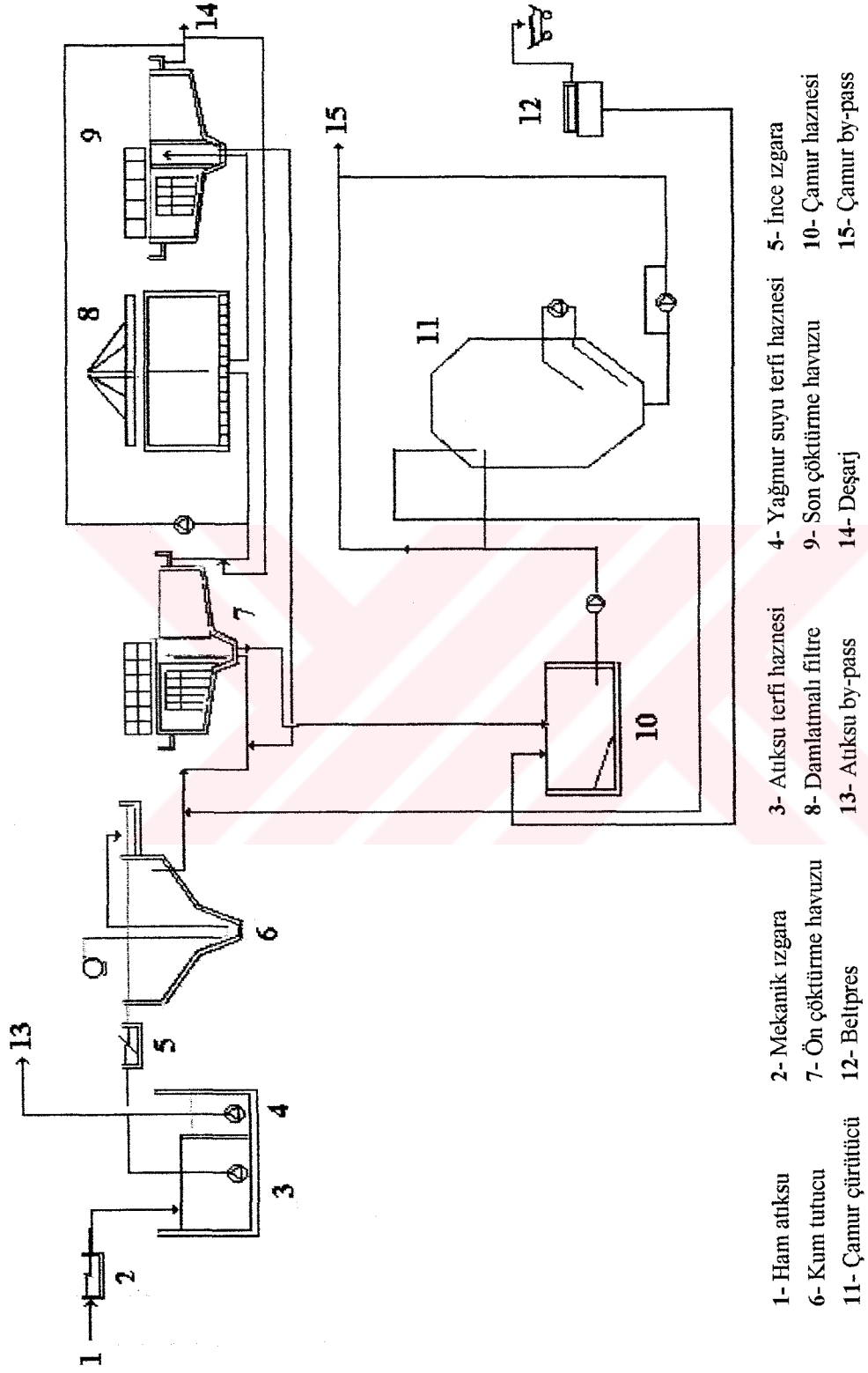
Damlatmalı filtre $1,77 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{saat}$ hacimsel hidrolik yük ve $1,7 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{saat}$ yüzeysel hidrolik yüklere göre projelendirilmiştir. Damlatmalı filtrenin çapı 20 m ve dolgu yüksekliği 4,4 m olarak teşkil edilmiştir. Biyolojik olarak arıtılan atıksular son çöktürme havuzuna iletilmektedir.

Son çöktürme havuzu 22 m çapında dairesel olarak projelendirilmiştir. Bu havuzdan savaklanan sular klorlandıktan sonra Ayamama Deresi'ne verilmekte, oluşan çamurlar ise ön çöktürme havuzunun başına cazibe ile iletilmektedir.

Biyolojik çamurlar ön çöktürme havuzunda çöktürülmekte ve primer çamur ile birlikte çamur çürütme kulesine terfi edilmektedir. TM3 vasıtasıyla çamur çürütücülere iletilen çamurların çürümesi ile oluşan gazlar için bir gaz tankı teşkil edilmiştir. Çürütme biriminden geçen çamurlar için belt pres kullanılmaktadır. Belt preste kek haline getirilen çamurlar bertaraf edilmek üzere çöp sahasına gönderilmektedir.

Tesisin akım şeması Şekil 5.3'te verilmiştir.





Şekil 5.3 Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisi akım şeması

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Evsel atıksuların kimyasal arıtılabilirliğinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar, laboratuvar çalışmaları ve tam ölçekte yapılan çalışmalar olmak üzere iki grupta gerçekleştirilmiştir.

6.1 Labaratuvar Çalışmaları

Labaratuvar çalışması için numuneler, Baltalımanı ile Yenikapı Mekanik Ön Arıtma Tesislerinin kum tutucu çıkış savağından alınmıştır. Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisinin kum tutucu girişinden, ön çöktürme çıkışından, damlatmalı filtre çıkışından ve son çöktürme çıkışından numuneler alınmıştır. Labaratuvarında, atıksu karakterizasyonunu belirleme ve jar test çalışmaları yapılmıştır.

6.1.1 Atıksu karakterizasyonunun belirlenmesi

Labaratuvara getirilen numuneler atıksuyun karakterizasyonunu belirlemek amacıyla İmhoff konisinde 1 saat bekletilmiş, ham numunede ve çökelen numunenin üst fazında; pH, AKM, KOİ, TKN, $\text{NH}_4\text{-N}$, TP, $\text{PO}_4\text{-P}$ ve bulanıklık parametrelerinin analizleri yapılmıştır. Ayrıca bu parametrelerden KOİ, TKN ve TP parametrelerinin çözünmüş kısımlarının da analizleri yapılmıştır. Parametrelerin analizlerinde Standart Metotlarda belirtilen aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır (AWWA, 1995).

- **pH:** pH ölçümleri Jenway 3040 Ion Analyser kullanılarak elektrot metodu ile yapılmıştır.
- **AKM:** Darası alınan cam elyaf filtrelerden atıksu süzülerek filtre kağıdı 103-105 °C'de 1 saat kurutulmuş ve desikatörde bekletilmiştir. Sabit tartıma hazır olan filtre kağıdının tartılmasıyla elde edilen toplam ağırlık ile filtre kağıdının darası arasındaki farkın kullanılmasıyla AKM tesbit edilmiştir.
- **KOİ:** KOİ open-reflux yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu metod, atıksu içerisindeki organik maddelerin %50 asitli ortamda, kuvvetli bir oksitleyici ile

($K_2Cr_2O_7$) oksitlenmesi prensibine dayanmaktadır. Labaratuvar çalışmaları boyunca; 10 ml veya 10 ml'ye seyreltilmiş numune, 5 ml $K_2Cr_2O_7$ ve 15 ml Ag_2SO_4 'lı H_2SO_4 kullanılarak deneyler yapılmıştır. Titrasyon için 0.125 N Demir Amonyum Sülfat çözeltisi kullanılmıştır.

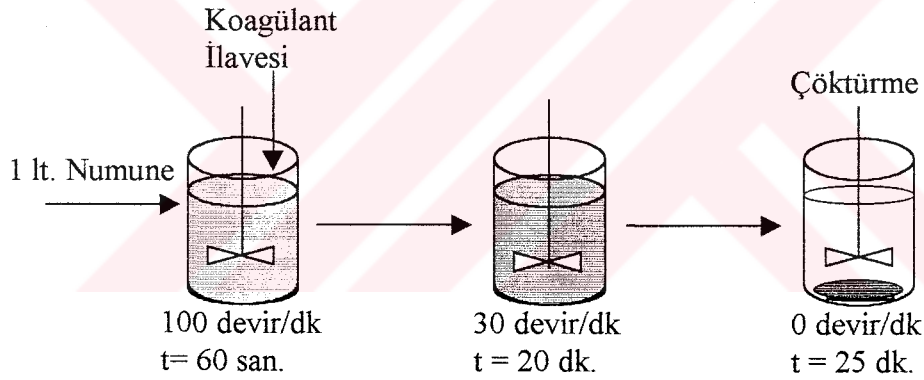
- **TKN:** Bu parametrenin analizinde Makro-Kjeldahl ve titrimetrik yöntem kullanılmıştır. Kjeldahl yönteminde kuvvetli oksitleyici koşullarda organik bileşikteki azot NH_4^+ haline dönüştürülür. NH_4^+ haline dönüştürülen azot, daha sonra kuvvetli bazik ortamda distilasyon yapılarak borik asit içerisinde toplanır. Daha sonra geri asit titrasyonu ile bağlanan amonyak miktarı tesbit edilmektedir. Çalışma süresince, 100 ml veya 100 ml'ye seyreltilmiş numune içerisine 50 ml parçalama reaktifi konularak yüksek sıcaklıkta, organik bağlı azotun NH_4^+ 'e çevrilmesi sağlandıktan sonra, numune soğutularak 50 ml sodyum hidroksit-tiosülfat ile distilasyon yapılmıştır. 50 ml borik asit içerisinde toplanan distilat daha sonra 0.02 N H_2SO_4 ile titre edilerek TKN miktarı tesbit edilmiştir.
- **NH_4-N :** pH'sı tamponlanarak 9,6 üzerine getirilen numunedeki NH_3 , distilasyon yöntemi kullanılarak borik asit içerisinde tutulmuş, daha sonra kuvvetli bir asit ile geri titrasyon yapılarak NH_4^+ miktarı tesbit edilmiştir.
- **TP:** Toplam fosfor tayini, asit parçalaması sonucu organik fosfatların ortofosfat şekline dönüştürülmesi prensibine dayanır. TP tayini için çalışma süresince, numunedeki fosfor miktarına uygun olarak numune alınmış ve 1 ml H_2SO_4 ile 5 ml HNO_3 ilave edilerek asit parçalaması sağlanmıştır. Daha sonra, nötralizasyonu yapılan numunede ortofosfat tayini yapılmıştır.
- **PO_4-P :** Ortofosfat tayini için kolorimetrik yöntem kullanılmıştır. Metot, numuneye $(NH_4)_2MoO_4$ 'ın ilave edilmesiyle oluşan $(NH_4)_3PO_4.12MoO_3$ kompleksinin $SnCl_2$ kullanılarak indirgenmesi ile oluşan mavi rengin şiddetinin kolorimetrik ölçümüne dayanır. Çalışma süresince 100 ml veya 100 ml'ye seyreltilmiş numuneye 4 ml $(NH_4)_2MoO_4$ ve 0.5 ml $SnCl_2$ ilave edilmiştir. Oluşan mavi rengin şiddeti 690 nm'de Pharmacia LKB-Nowaspec-II spektrofotometre ile okunmuştur.

- **Bulanıklık:** Bulanıklık kolorimetrik olarak Merck SQ 118 marka kolorimetre kullanılarak tesbit edilmiştir.

6.1.2 Jar test deneyleri

Karakterizasyonu belirlenen evsel atıksuların kimyasal arıtılabilirliği jar test deneyleri yapılarak araştırılmıştır. Jar test deneyleri; 1 lt'lik silindirik beherler kullanılarak, hız ve zaman ayarı yapılabilen 5 karıştırıcılı düzenekte yapılmıştır. %2'lik çözelti halinde; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ koagülant olarak kullanılırken, anyonik polielektrolit (APE, Prestol 2640) ve $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ 'in koagülant yardımcısı olarak kullanıldığı testler de yapılmıştır. Jar test çalışmaları esnasında atıksuyun pH'sı sabit tutulmuştur.

Jar test çalışmasına ait akım şeması Şekil 6.1' de verilmiştir.



Şekil 6.1 Jar test prosedürünün akım şeması

6.1.3 Çamur susuzlaştırma deneyleri

Labaratuvarıda; primer, biyolojik ve kimyasal arıtma çamurlarının susuzlaştırılması deneyleri yapılmıştır. Özgül direnç ve CST yöntemlerinin her ikisi de kullanılmıştır. Deneylerde $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve polielektrolit kullanılmıştır.

Çamur numuneleri, Ataköy Arıtma Tesisinden kimyasal uygulama öncesi ve sonrasında, ön çöktürme ve son çöktürme çamur bacasından, aynı gün ve saatte karıştırılmadan alınmıştır.

Labaratuvara getirilen numunelerde; pH, sıcaklık ve TKM parametreleri belirlenmiştir. Diğer taraftan susuzlaştırma için, 50 ml çamur içerisine gerekli miktarda kimyasal ilave edildikten sonra, 40 ml'si özgül direnç için, kalan kısmı da CST için kullanılarak her iki deney de aynı numune ile aynı zamanda yapılmıştır.

6.1.3.1 Çamur filtrasyonu (özgül direnç deneyi)

Özgül direnç deneyi, Şekil 6.2'de gösterilen düzeneğe gerçekleştirilmiştir. Deneyin esasını filtre kağıdı ile donatılmış huniden belirli bir miktar çamur numunesinin vakum uygulanarak süzülmesi işlemi teşkil eder. Uygulanan vakum altında çamurdan süzülen suyun hacminin zamana karşı belirlendiği özgül direnç deneyi, çamurun susuzlaşmaya ve filtrasyona karşı gösterdiği direncin tespiti için yapılır. Bu maksatla değişik kimyasallar test edilerek, en düşük özgül direnci veren optimum dozaj belirlenir ve maliyetlerine göre değerlendirilir.

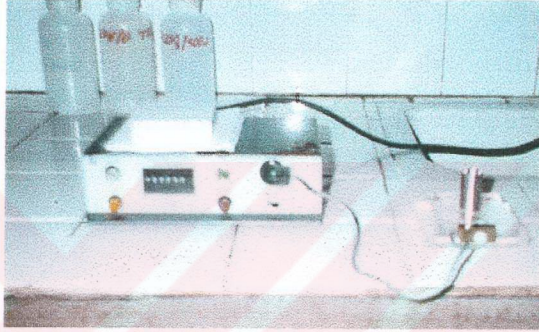


Şekil 6.2 Çamur filtrasyonu (özgül direnç deneyi) düzeneği

6.1.3.2 Kapiler emme süresi-CST deneyi

Kapiler emme süresi (CST), çamurun susuzlaşabilirlik özelliklerinin tespitinde ve kimyasal şartlandırıcı madde miktarının belirlenmesinde uygulanan hızlı ve kolay bir metottur. Bu deney şartlandırılmış belli bir miktar çamurun suyunun, bir filtre kağıdı tarafından

emilmesi için geçen sürenin tespitine dayanır. Çamur numunesi filtre kağıdı üzerindeki silindirik bir kaba (1 cm çapında ve 4 cm derinlikte) yerleştirilir. Çamur numunesinden süzülen su, filtre kağıdı ile temasta olan ilk elektrotlara ulaştığında kronometre çalışmaya başlamakta ve ikinci elektroda ulaştığı zaman durmaktadır. Süzülen suyun, iki elektrod arasındaki 10 mm'lik mesafeyi kat etmesi için gerekli olan süre CST olarak adlandırılmaktadır. Şekil 6.3'de deney düzeneği verilmiştir.



Şekil 6.3 Kapiler emme süresi (CST) düzeneği

6.2 Tam Ölçekte Yapılan Çalışmalar

Tam ölçekte çalışmalar Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisinde gerçekleştirilmiştir. Atıksuyun karakterizasyonunu ve tesisin performansını belirleme çalışmalarında, tesisin ön çöktürme çıkışından, damlatmalı filtre çıkışından ve son çöktürme çıkışından numuneler alınmış ve biyolojik arıtma esnasında, parametrelerin giderilme oranları her ünite için tesbit edilmiştir. Aynı şekilde kimyasal uygulama esnasında da bütün ünitelerden numuneler alınmış ve kimyasal ilavesinin tesisteki etkisi gözlenmiştir. Tesisten alınan numunelerde; KOİ, TKN, TP, PO₄-P ve AKM deneyleri yapılmıştır.

7. DENEY SONUÇLARI

7.1 Baltalimanı Tesisi Atıksularında Yapılan Çalışmalar ve Neticeleri

Baltalimanı tesisinden muhtelif zamanlarda 6 numune alınmış ve bu numunelerde karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu numunelerden beşinde jar test çalışmaları yapılırken, bir numunede kimyasal uygulamanın kirletici parametrelerin çözünmüş ve partikül kısımlarındaki giderme verimi araştırılmıştır.

Baltalimanı tesisine gelen atıksuların sınıflandırılması için, yapılan ölçüm sonuçlarının ortalaması alınarak Çizelge 7.1’de verilmiştir. Tesise gelen atıksulardaki kirleticilerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri Çizelge 7.2’deki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 7.1 Baltalimanı ön arıtma tesisine gelen atıksuların sınıflandırılması

Parametre	Toplam	Çözünmüş	Çöktürülmüş
KOI, mg/l	365	198	270
TKN, mg/l	27	15	21
TP, mg/l	3.27	1.51	2.14

Çizelge 7.2 Baltalimanı tesisinden alınan numunelerde ölçülen parametrelerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
pH	7.59	7.98	7.82
KOI, mg/l	175	630	365
TKN, mg/l	12	48	27
TP, mg/l	2.22	5.41	3.27
AKM, mg/l	55	185	140
NH ₄ -N, mg/l	4	24	14

Çizelge 7.1 ve 7.2’den görüldüğü gibi, Baltalimanı atıksuları zayıf karakterli bir özellik göstermektedir.

Baltımanı tesisi atıksuları için yapılan jar test çalışmalarında; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ koagülant olarak kullanılmıştır. Ayrıca, polielektrolit ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in yumaklaştırıcı yardımcısı olarak kullanıldığı testler de yapılmıştır. Jar test sonucunda elde edilen duru fazdan alınan numunelerde; pH, KOİ, TKN, TP, AKM ve bulanıklık deneyleri yapılmıştır.

7.1.1 Baltımanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan çalışmalar

Baltımanı arıtma tesisinden alınan numunelere 20 mg/l ile 400 mg/l aralığında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozları uygulanmıştır. Çizelge 7.3a ve 7.3b'de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ kullanılarak yapılan jar test çalışmalarının sonuçları, Şekil 7.1-7.5'de bu sonuçlara ait çıkış değerleri ile giderme verimleri verilmiştir. Aynı dozlarda yapılan kimyasal uygulamalardan elde edilen verimlerin ortalaması Çizelge 7.4'de ve bu sonuçlara ait değişim grafiği de Şekil 7.6'da görülmektedir.

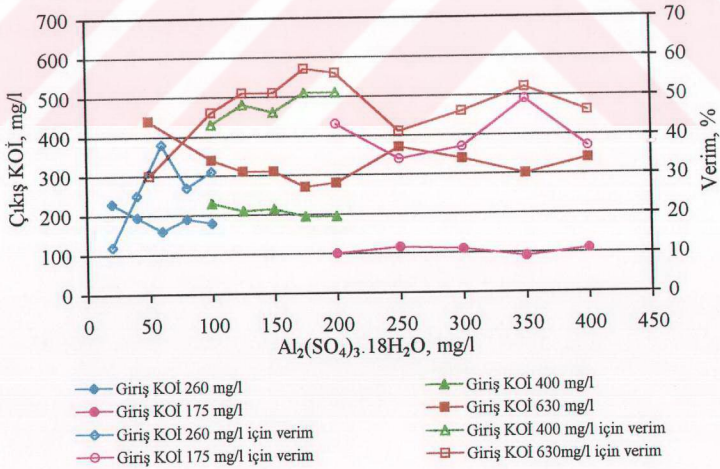
Çizelge 7.3a, 7.3b ve Çizelge 7.4 ile Şekil 7.1-7.6'ya göre, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ilavesiyle KOİ'de %57, TKN'de %48, TP'de %95, AKM'de %74 ve bulanıklıkta %93 gibi giderme verimlerine ulaşılabilirdiği görülmektedir. Ancak, bütün parametreleri optimum şekilde giderebilecek olan dozlarda bu giderme verimleri azalmaktadır. 175-200 mg/l optimum $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozunda, KOİ %54, TKN %38, TP %89, AKM %71 ve bulanıklık %92 verimle giderilmektedir. Optimum $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozunun kullanılması ile TP 1 mg/l'nin altına düşmektedir.

Çizelge 7.3a Baltalimanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$)

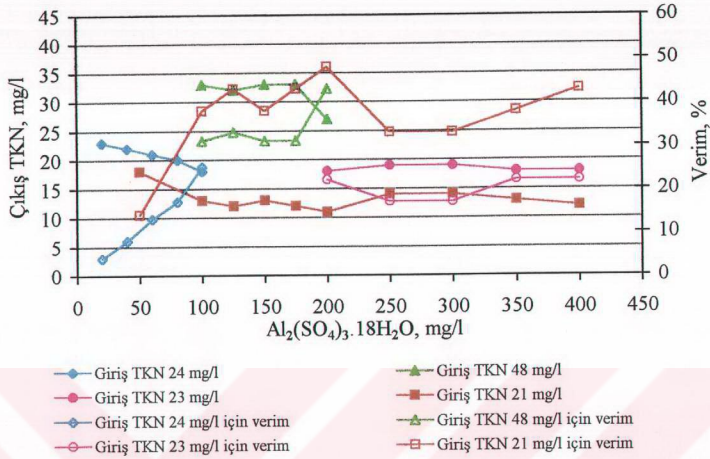
Parametre	Ham numune	Uygulanan doz, mg/l					Ham numune	Uygulanan doz, mg/l				
		20 mg/l	40 mg/l	60 mg/l	80 mg/l	100 mg/l		100 mg/l	125 mg/l	150 mg/l	175 mg/l	200 mg/l
pH	7,93	7,91	7,78	7,69	7,58	7,53	7,95	8,00	7,89	7,76	7,72	7,62
KOİ, mg/l	260	230	195	160	190	180	400	230	210	215	195	195
Verim, %	---	12	25	38	27	31	---	43	48	46	51	51
TKN, mg/l	24	23	22	21	20	18	48	33	32	33	33	27
Verim, %	---	4	8	13	17	25	---	31	33	31	31	43
TP, mg/l	3,14	2,67	2,62	0,92	0,50	0,47	3,38	1,01	0,89	1,15	0,73	0,64
Verim, %	---	15	17	71	84	85	---	70	74	66	78	81
AKM, mg/l	142	91	68	59	41	50	185	55	58	66	49	49
Verim, %	---	36	52	58	71	65	---	70	69	64	74	74
Bulan, NTU	107	85	44	34	26	21	140	32	25	18	10	10
Verim, %	---	21	59	68	76	80	---	77	82	87	93	93

Çizelge 7.4 Baltalımanı tesisi atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ uygulamasının kirleticileri ortalama giderme verimi

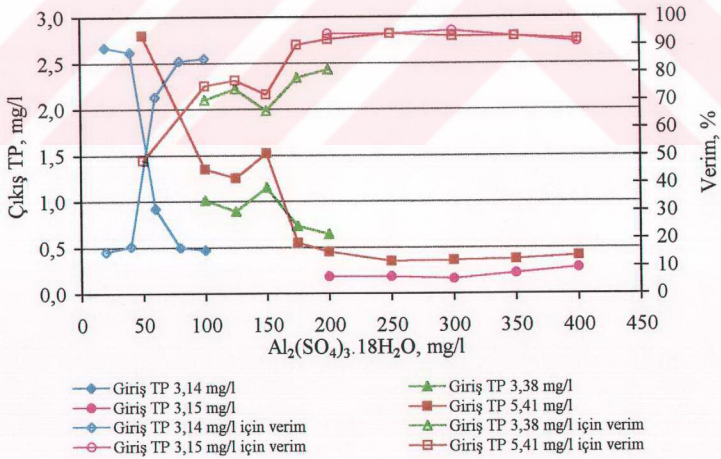
Doz, mg/l	KOI giderimi %	TKN giderimi %	TP giderimi %	AKM giderimi %	Bulanıklık giderimi, %
20	12	4	15	36	21
40	25	8	17	52	59
50	30	14	48	56	67
60	38	13	71	58	68
80	27	17	84	71	76
100	40	31	77	68	83
125	49	38	75	70	87
150	49	34	69	66	89
175	54	37	84	71	92
200	50	38	89	62	92
250	38	28	94	48	92
300	42	25	94	44	92
350	50	30	93	49	92
400	42	32	92	49	89



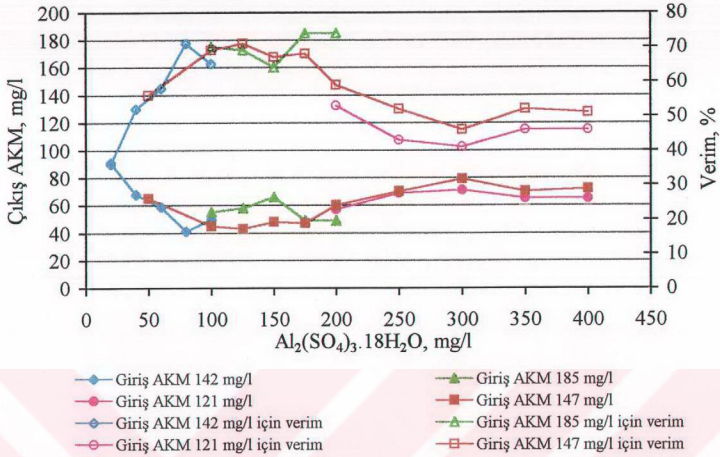
Şekil 7.1 Baltalımanı tesisi atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ dozuna göre KOİ çıkışı konsantrasyonu ve giderme verimleri



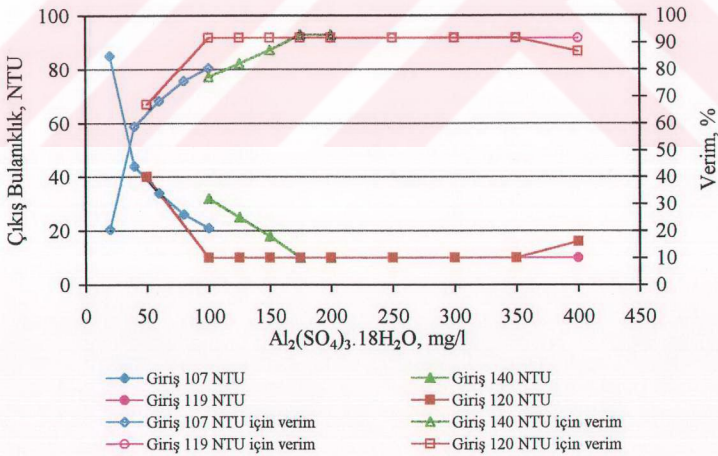
Şekil 7.2 Baltalımanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



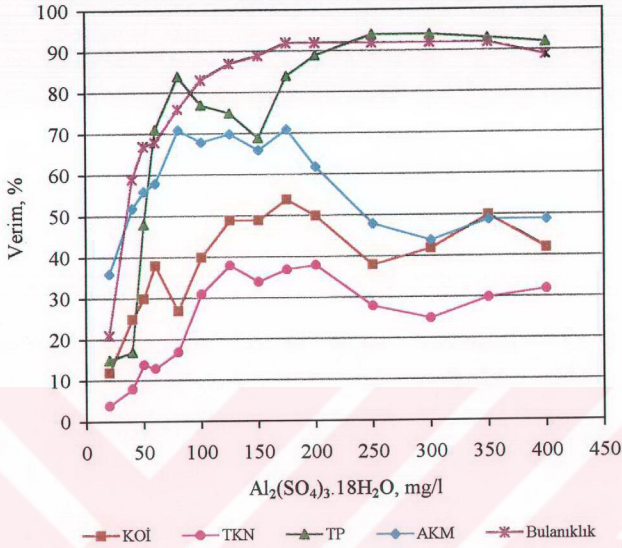
Şekil 7.3 Baltalımanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



Şekil 7.4 Baltalımanı tesisi atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ dozuna göre AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



Şekil 7.5 Baltalımanı tesisi atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ dozuna göre kalan bulanıklık ve giderme verimleri



Şekil 7.6 Baltalımanı tesisi atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ uygulamasıyla oluşan ortalama verimlerin doz ile değişimi

7.1.2 Baltalımanı tesisi atıksularında $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ile yapılan çalışmalar

Baltalımanı arıtma tesisine gelen evsel atıksularda $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ile 20-400 mg/l aralığında jar test çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonuçları Çizelge 7.5a ve 7.5b'de; bu sonuçlara ait grafikler ise Şekil 7.7-7.11'de verilmiştir. Aynı dozlarda yapılan kimyasal uygulamaların ortalama verim sonuçları Çizelge 7.6'da ve buna ait değişim grafiği de Şekil 7.12'de verilmiştir.

Çizelge 7.5a, 7.5b ve Çizelge 7.6 ile Şekil 7.7-7.12'den görüldüğü gibi, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ilavesiyle KOİ'de %59, TKN'de %56, TP'de %97, AKM'de %74 ve bulanıklıkta %92 gibi giderme verimlerine ulaşılabilir. Ancak, 175-200 mg/l optimum $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dozlarında; KOİ %50, TKN %42, TP %85, AKM %67 ve bulanıklık %86 verimle giderilmektedir. TP konsantrasyonu bu dozlarda 1 mg/l'nin altına düşmektedir.

Çizelge 7.5a Baltalimanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

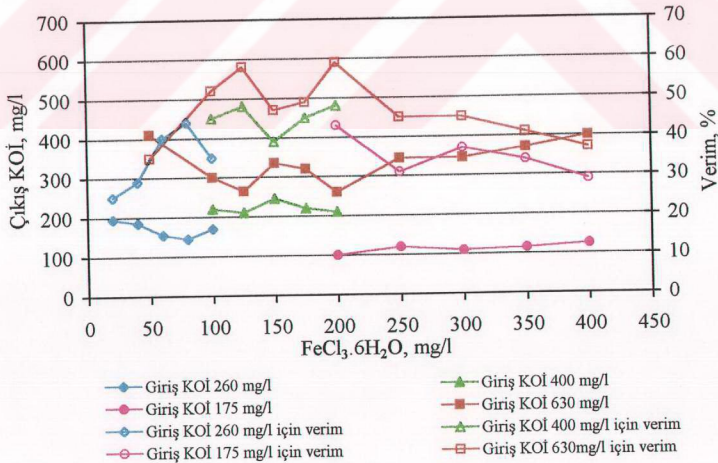
Parametre	Ham numune	Uygulanan doz, mg/l					Ham numune	Uygulanan doz, mg/l				
		20 mg/l	40 mg/l	60 mg/l	80 mg/l	100 mg/l		100 mg/l	125 mg/l	150 mg/l	175 mg/l	200 mg/l
PH	7,93	7,73	7,67	7,59	7,50	7,44	7,95	7,62	7,57	7,51	7,39	7,34
KOl, mg/l	260	195	185	155	145	170	400	220	210	245	220	210
Verim, %	---	25	29	40	44	35	---	45	48	39	45	48
TKN, mg/l	24	23	22	21	21	21	48	24	26	27	26	21
Verim, %	---	4	8	13	13	13	---	50	46	44	46	56
TP, mg/l	3,14	2,21	1,51	0,98	0,76	0,60	3,38	1,09	1,01	0,80	0,70	0,88
Verim, %	---	30	52	69	76	81	---	68	70	76	79	74
AKM, mg/l	142	95	60	64	67	55	185	56	60	56	59	51
Verim, %	---	33	58	55	53	61	---	70	68	70	68	72
Bulan., NTU	107	78	60	50	41	37	140	46	36	36	30	29
Verim, %	---	27	44	53	62	65	---	67	74	74	79	79

Çizelge 7.5b Baltımanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

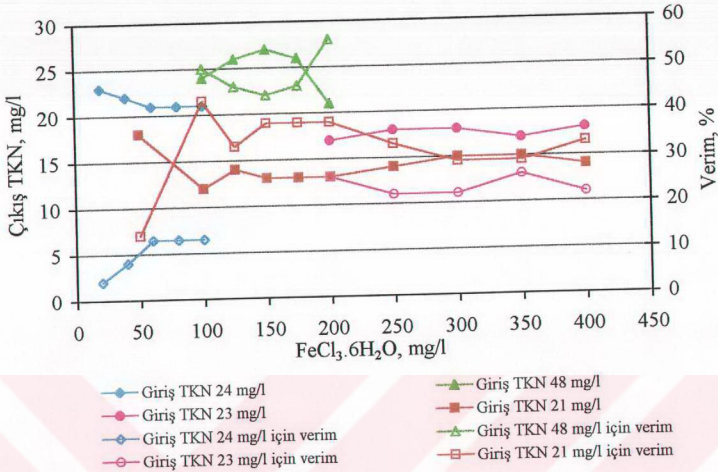
Parametre	Ham numune	Uygulanan doz, mg/l						Ham numune	Uygulanan doz, mg/l									
		200	250	300	350	400			50	100	125	150	175	200	250	300	350	400
PH	7,59	6,83	7,03	7,04	6,78	6,88		7,61	7,44	7,03	6,84	6,67	6,47	6,22	6,34	5,82	5,10	4,62
KOİ, mg/l	175	100	120	110	115	125		630	410	300	265	335	320	260	345	345	370	400
Verim, %	---	43	31	37	34	29		---	35	52	58	47	49	59	45	45	41	37
TKN, mg/l	23	17	18	18	17	18		21	18	12	14	13	13	13	14	15	15	14
Verim, %	---	26	22	22	26	22		---	14	43	33	38	38	38	33	29	29	33
TP, mg/l	3,15	0,33	0,10	0,10	0,11	0,18		5,41	2,10	0,85	0,95	0,65	0,60	0,45	0,25	0,23	0,20	0,26
Verim, %	---	90	97	97	97	94		---	61	84	82	88	89	92	95	96	96	95
AKM, mg/l	121	50	49	49	43	46		147	63	49	55	55	53	44	50	44	38	44
Verim, %	---	59	60	60	64	62		---	57	67	63	63	64	70	66	70	74	70
Bulan, NTU	119	14	10	10	10	13		120	60	13	13	10	10	10	11	14	17	21
Verim, %	---	88	92	92	92	89		---	50	89	89	92	92	92	91	88	86	83

Çizelge 7.6 Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ uygulamasının kirleticileri ortalama giderme verimi

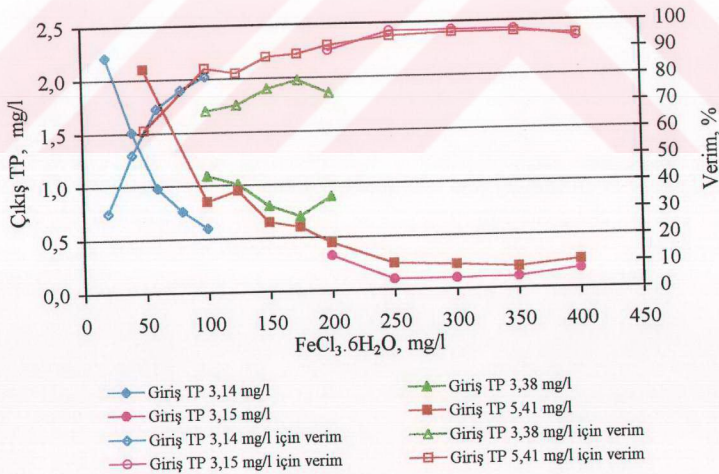
Doz, mg/l	KOI giderimi %	TKN giderimi %	TP giderimi %	AKM giderimi %	Bulanıklık giderimi, %
20	25	4	30	33	27
40	29	8	52	58	44
50	35	14	61	57	50
60	40	13	69	55	53
80	44	13	76	53	62
100	44	35	78	66	74
125	53	40	76	65	82
150	43	41	82	66	83
175	47	42	84	66	85
200	50	40	85	67	86
250	38	28	96	63	91
300	41	25	96	65	90
350	38	27	96	69	89
400	33	28	95	66	86



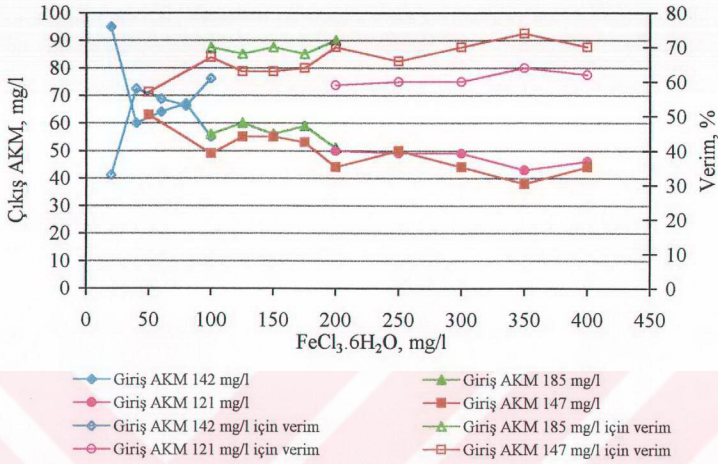
Şekil 7.7 Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre KOI çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



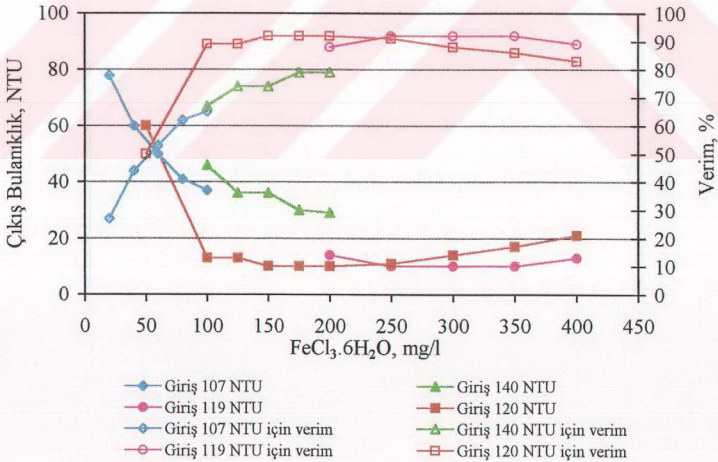
Şekil 7.8 Baltalımanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



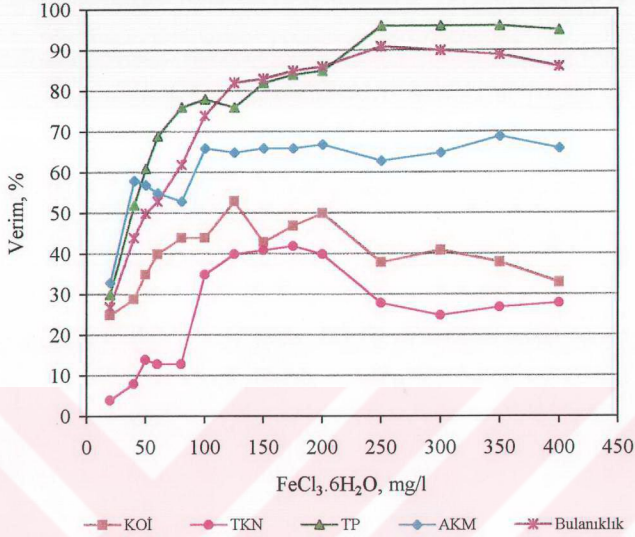
Şekil 7.9 Baltalımanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



Şekil 7.10 Baltımanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre AKM çıkışı konsantrasyonu ve giderme verimleri



Şekil 7.11 Baltımanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre kalan bulanıklık ve giderme verimleri



Şekil 7.12 Baltımanı tesisi atıksularında FeCl₃.6H₂O uygulamasıyla oluşan ortalama verimlerin doz ile değişimi

7.1.3 Baltımanı tesisi atıksularında Ca(OH)₂ ile yapılan çalışmalar

Baltımanı'na gelen evsel atıksularda Ca(OH)₂ ile jar test çalışmaları 50 mg/l ile 500 mg/l doz aralığında yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 7.7a ve 7.7b'de, bu sonuçlara ait grafikler Şekil 7.13-7.17'de verilmiştir. Aynı dozlarda yapılan kimyasal uygulamaların ortalama verim sonuçları Çizelge 7.8'de ve buna ait grafik de Şekil 7.18'de verilmiştir.

Çizelge 7.7a, 7.7b ve 7.8 ile Şekil 7.13-7.18'den Ca(OH)₂ ilavesiyle KOİ'de %76, TKN'de %52, TP'de %96, AKM'de %73 ve bulanıklıkta %88 gibi giderme verimlerine ulaşılabildiği görülmektedir. Optimum 300-350 mg/l Ca(OH)₂ dozlarında ise; KOİ %67, TKN %47, TP %94, AKM %71 ve bulanıklık %87 verimle giderilmektedir. Optimum dozlarda TP konsantrasyonu 1 mg/l'nin altına düşmektedir.

Çizelge 7.7a Baltımanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

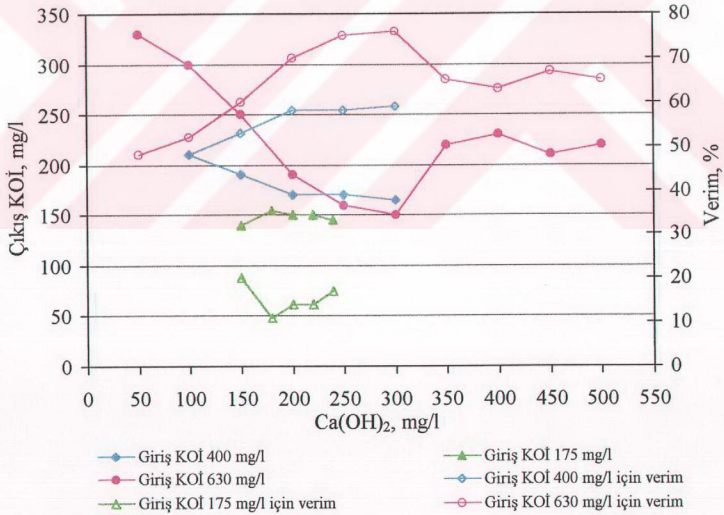
Parametre	Ham numune	Uygulanan doz, mg/l					Ham numune	Uygulanan doz, mg/l				
		100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	300 mg/l		150 mg/l	180 mg/l	200 mg/l	220 mg/l	240 mg/l
pH	7,95	9,48	9,72	9,80	9,85	10,00	7,59	9,80	9,92	9,54	9,69	9,81
KOl, mg/l	400	210	190	170	170	165	175	140	155	150	150	145
Verim, %	---	48	53	58	58	59	---	20	11	14	14	17
TKN, mg/l	48	25	24	24	24	23	23	20	18	19	19	18
Verim, %	---	48	50	50	50	52	---	13	22	17	17	22
TP, mg/l	3,38	3,20	3,10	2,90	2,50	1,14	3,15	2,02	1,39	0,91	0,79	0,73
Verim, %	---	5	8	14	26	66	---	36	56	71	75	77
AKM, mg/l	185	120	119	111	110	100	121	76	76	79	78	76
Verim, %	---	35	36	40	41	46	---	37	37	35	36	37
Bulan., NTU	140	108	99	78	65	60	119	79	71	67	69	67
Verim, %	---	23	29	44	54	57	---	34	40	44	42	44

Çizelge 7.7b Baltalimanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: Ca(OH)_2)

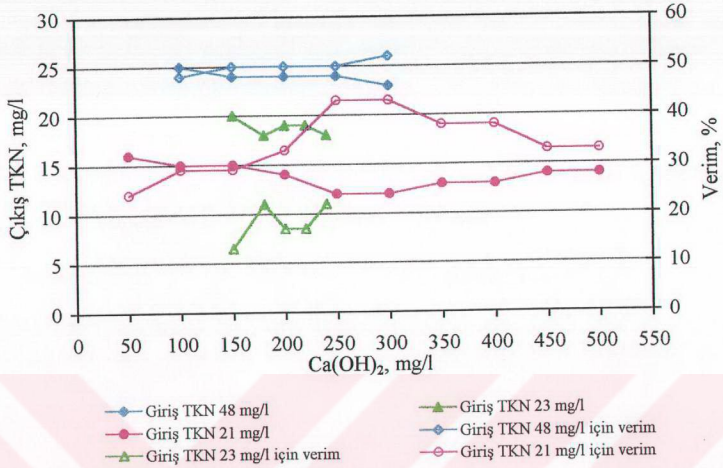
Parametre	Ham numune	Uygulanan doz, mg/l									
		50 mg/l	100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	300 mg/l	350 mg/l	400 mg/l	450 mg/l	500 mg/l
pH	7,61	9,45	9,57	9,83	10,40	11,32	11,96	12,13	12,22	12,33	12,40
KOl, mg/l	630	330	300	250	190	160	150	220	230	210	220
Verim, %	---	48	52	60	70	75	76	65	63	67	65
TKN, mg/l	21	16	15	15	14	12	12	13	13	14	14
Verim, %	---	24	29	29	33	43	43	38	38	33	33
TP, mg/l	5,41	4,10	2,80	2,70	1,25	0,58	0,55	0,35	0,35	0,20	0,30
Verim, %	---	24	48	50	77	89	90	94	94	96	94
AKM, mg/l	147	76	57	65	53	44	39	42	47	42	40
Verim, %	---	48	61	56	64	70	73	71	68	71	73
Bulan., NTU	120	105	100	92	21	15	18	16	16	16	14
Verim, %	---	13	17	23	83	88	85	87	87	87	88

Çizelge 7.8 Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ uygulamasının kirleticileri ortalama giderme verimi

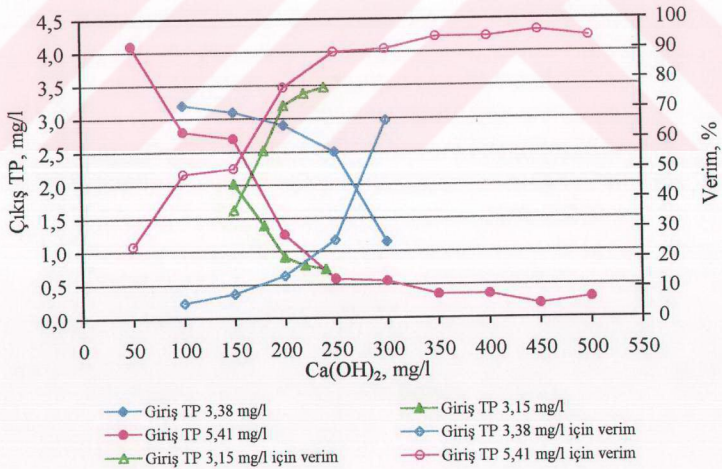
Doz, mg/l	KOİ Giderimi %	TKN Giderimi %	TP Giderimi %	AKM Giderimi %	Bulanıklık Giderimi, %
50	48	24	24	48	13
100	50	38	27	48	20
150	44	31	31	43	29
200	47	33	54	46	57
250	66	46	58	55	71
300	67	47	78	60	71
350	65	38	94	71	87
400	63	38	94	68	87
450	67	33	96	71	87
500	65	33	94	73	88



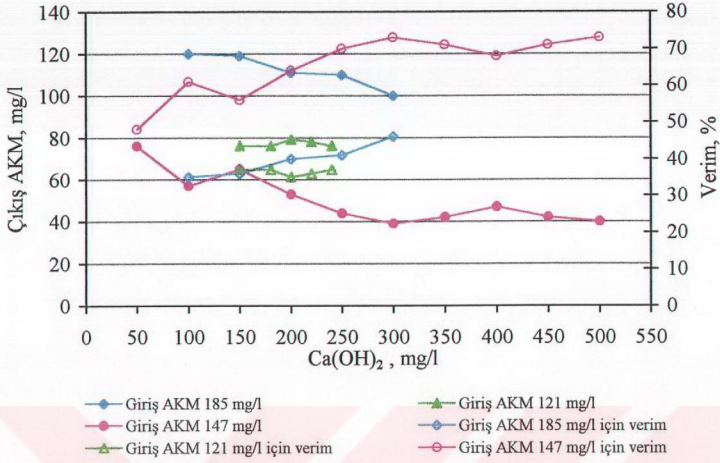
Şekil 7.13 Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dozuna göre KOİ çıkışı konsantrasyonu ve giderme verimleri



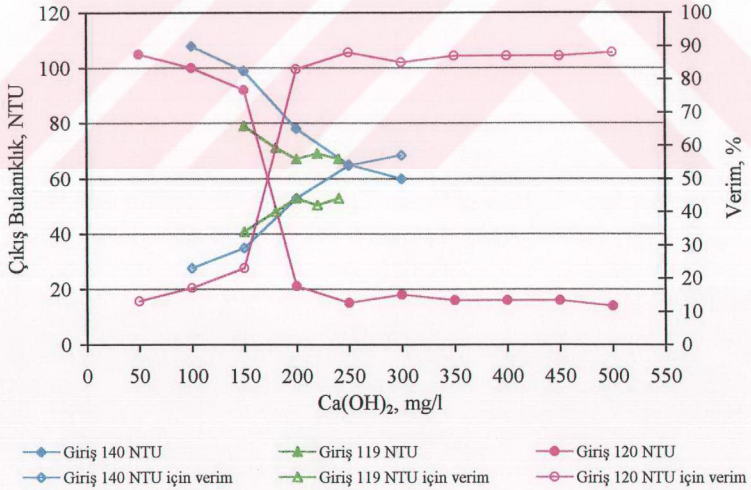
Şekil 7.14 Baltalımanı tesisi atıksularında Ca(OH)_2 dozuna göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



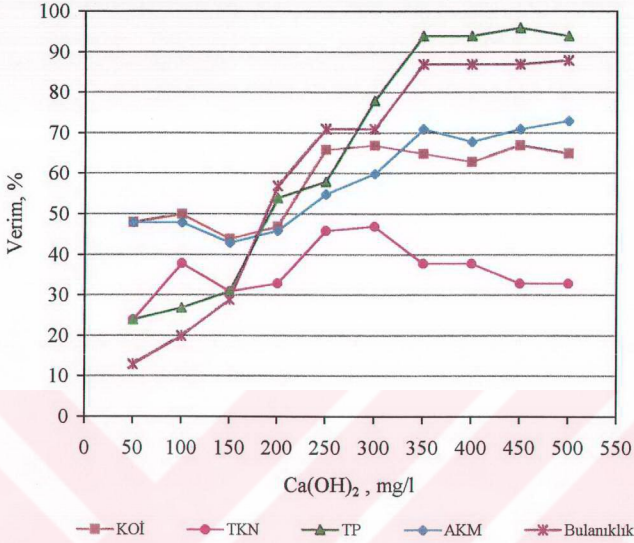
Şekil 7.15 Baltalımanı tesisi atıksularında Ca(OH)_2 dozuna göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



Şekil 7.16 Baltalımanı tesisi atıksularında Ca(OH)_2 dozuna göre AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



Şekil 7.17 Baltalımanı tesisi atıksularında Ca(OH)_2 dozuna göre kalan bulanıklık ve giderme verimleri



Şekil 7.18 Baltımanı tesisi atıksularında Ca(OH)_2 uygulamasıyla oluşan ortalama verimlerin doz ile değişimi

7.1.4 Baltımanı tesisi atıksularında yardımcı kimyasallar ile yapılan çalışmalar

Baltımanı'na gelen evsel atıksuların arıtılabilirlik çalışmasında; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ koagülant olarak kullanılırken, yardımcı kimyasal olarak, anyonik polielektrolit (APE) ve Ca(OH)_2 kullanılarak jar test çalışmaları yapılmıştır. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 50-250 mg/l doz aralığında, Ca(OH)_2 200 mg/l dozda, APE ise 0.5, 2 ve 4 mg/l dozlarında kullanılmıştır. Yapılan jar testlerin sonuçları Çizelge 7.9, 7.10 ve 7.11'de verilmiştir. Bu sonuçlara ait grafikler de Şekil 7.19-7.28'de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge ve şekillerden; koagülantlarla birlikte yardımcı kimyasallar kullanılarak KOİ'nin %67, TKN'nin %52, TP'nin %95, AKM'nin %94 ve bulanıklığın %92 gibi giderme verimleriyle giderilebildiği görülmektedir. 0.5 mg/l APE dozu kullanılması ile verimli sonuçların elde edilmesine rağmen, daha yüksek APE dozlarında olumsuz sonuçlar elde

edilmektedir. 0.5 mg/l APE kullanılarak $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 'ın 100-150 mg/l'lik dozlarında, KOİ %67, TKN %43, TP %91, AKM %92 ve bulanıklık %92 verimle giderilmektedir. Yine 0.5 mg/l APE ve 150-200 mg/l $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dozunda, KOİ %66, TKN %38, TP %95, AKM %93 ve bulanıklık %92 verimle giderilmektedir. Bu uygulamalarda da TP konsantrasyonu 1 mg/l'nin altına düşmektedir.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in yardımcı olarak kullanıldığı durumda ise, 200 mg/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dozunun yardımcı koagülant olarak yeterli olmadığı tesbit edilmiştir. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılarak KOİ ve TKN'de %27'den daha düşük verimler elde edilmesine rağmen, TP'de en yüksek %93'lük verim elde edilebilmiştir. AKM ve bulanıklık gideriminde $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yapılan uygulamada sırasıyla %74 ve %85 gibi verimlere ulaşılırken, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$ ile sırasıyla %31 ve %68 gibi düşük giderme verimleri oluşmuştur.

Çizelge 7.9 Baltalımanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}/\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$)

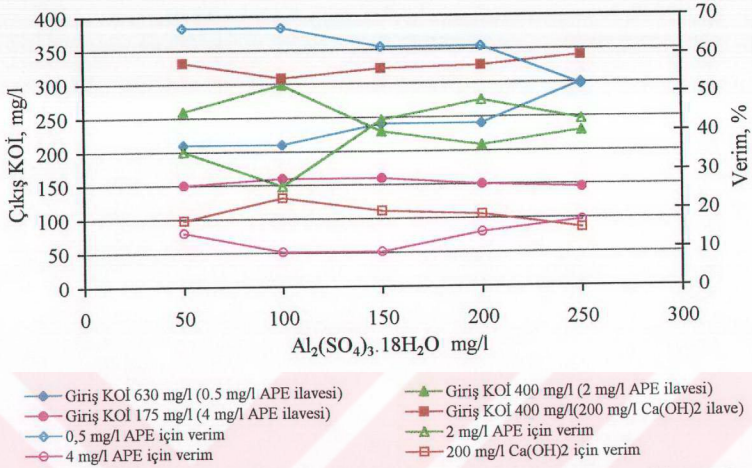
Parametre	Ham numune	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O} + 200 \text{ mg/l}$ $\text{Ca}(\text{OH})_2$					$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 200 \text{ mg/l}$ $\text{Ca}(\text{OH})_2$				
		50	100	150	200	250	50	100	150	200	250
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
pH	7,84	9,31	8,91	8,85	8,62	8,74	8,99	8,66	8,46	8,37	8,31
KOİ, mg/l	400	331	308	322	326	340	303	303	299	303	291
Verim, %	---	17	23	20	19	15	24	24	25	24	27
TKN, mg/l	35	30	29	29	28	29	29	29	28	28	27
Verim, %	---	14	17	17	20	17	17	17	20	20	23
TP, mg/l	2,34	1,54	0,87	0,39	0,31	0,55	0,68	0,60	0,48	0,32	0,16
Verim, %	---	34	63	83	87	76	71	74	79	86	93
AKM, mg/l	188	85	83	65	50	49	160	155	148	153	130
Verim, %	---	55	56	65	73	74	15	18	21	19	31
Bulan., NTU	110	54	50	20	17	22	100	62	55	35	43
Verim, %	---	51	55	82	85	80	9	44	50	68	61

Çizelge 7.10 Baltımanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ + anyonik polielektrolit)

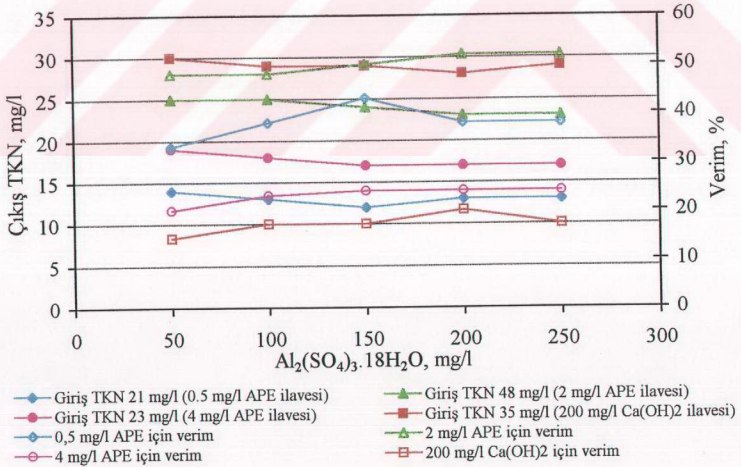
Parametre	Ham numune	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O + 0.5 \text{ mg/l APE}$					Ham numune	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O + 2 \text{ mg/l APE}$					Ham numune	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O + 4 \text{ mg/l APE}$				
		50	100	150	200	250		50	100	150	200	250		50	100	150	200	250
pH	7,61	7,32	7,08	6,76	6,44	6,29	7,95	7,98	7,91	7,75	7,67	7,59	7,59	7,12	6,41	6,80	6,35	6,67
KOİ, mg/l	630	210	210	240	240	300	400	259	298	229	208	229	175	150	160	160	150	145
Verim, %	---	67	67	62	62	52	---	35	26	43	48	43	---	14	9	9	14	17
TKN, mg/l	21	14	13	12	13	13	48	25	25	24	23	23	23	19	18	17	17	17
Verim, %	---	33	38	43	38	38	---	48	48	50	52	52	---	20	23	24	24	24
TP, mg/l	5,41	1,14	0,59	0,47	0,45	0,40	3,38	3,30	3,20	2,84	1,53	1,36	3,15	0,92	0,47	0,28	0,25	0,22
Verim, %	---	79	89	91	92	93	---	2	5	16	55	60	---	71	85	91	92	93
AKM, mg/l	147	28	12	26	18	10	185	156	136	132	116	102	121	68	75	72	80	92
Verim, %	---	81	92	82	88	93	---	16	26	29	37	45	---	44	38	40	34	24
Bulan., NTU	120	15	10	10	10	10	140	108	59	42	29	26	119	29	15	10	10	10
Verim, %	---	88	92	92	92	92	---	23	58	70	79	81	---	76	87	92	92	92

Çizelge 7.11 Baltımanı tesisi atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + anyonik polielektrolit)

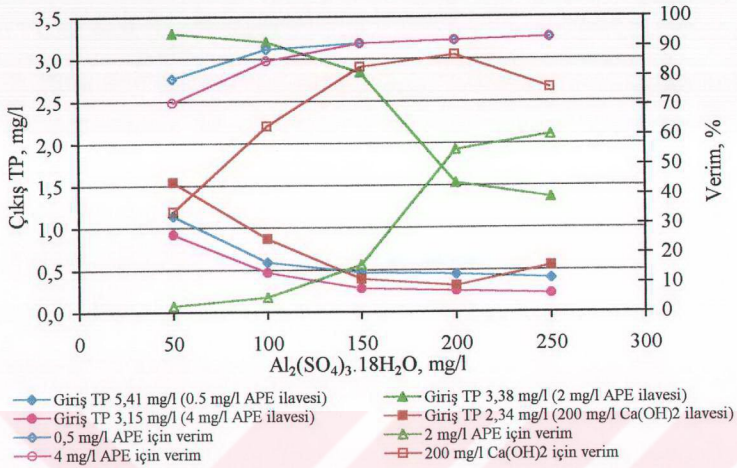
Parametre	Ham numune	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 0.5 \text{ mg/l APE}$					Ham numune	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 2 \text{ mg/l APE}$					Ham numune	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 4 \text{ mg/l APE}$				
		50	100	150	200	250		50	100	150	200	250		50	100	150	200	250
pH	7,61	7,27	6,87	6,63	6,26	5,87	7,84	7,65	7,41	7,22	7,06	7,10	7,84	7,39	7,25	7,16	6,93	6,74
KOl, mg/l	630	250	290	220	220	250	400	380	325	315	320	310	400	330	340	300	300	300
Verim, %	---	60	54	66	66	60	---	5	19	21	20	23	---	18	15	25	25	25
TKN, mg/l	21	14	14	13	13	12	35	31	31	30	30	27	35	32	30	29	29	29
Verim, %	---	33	33	38	38	43	---	11	11	14	14	23	---	9	14	17	17	17
TP, mg/l	5,41	1,51	0,76	0,50	0,27	0,45	2,34	0,83	0,66	0,62	0,32	0,32	2,34	1,06	0,58	0,38	0,31	0,58
Verim, %	---	72	86	91	95	92	---	65	72	74	86	86	---	55	75	84	87	75
AKM, mg/l	147	19	12	11	13	9	188	55	50	57	56	33	188	83	78	84	82	78
Verim, %	---	87	92	93	91	94	---	71	73	70	70	82	---	56	59	55	56	59
Bulan, NTU	120	25	14	10	10	10	110	51	38	29	25	26	110	54	41	30	30	25
Verim, %	---	79	88	92	92	92	---	54	65	74	77	76	---	51	63	73	73	77



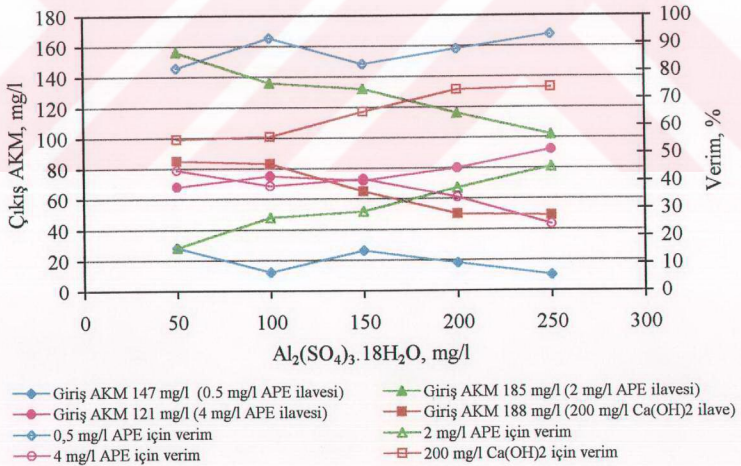
Şekil 7.19 Baltalımanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi



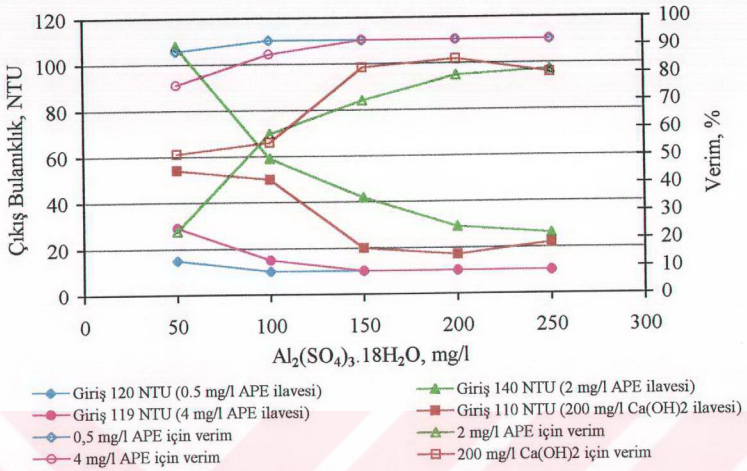
Şekil 7.20 Baltalımanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi



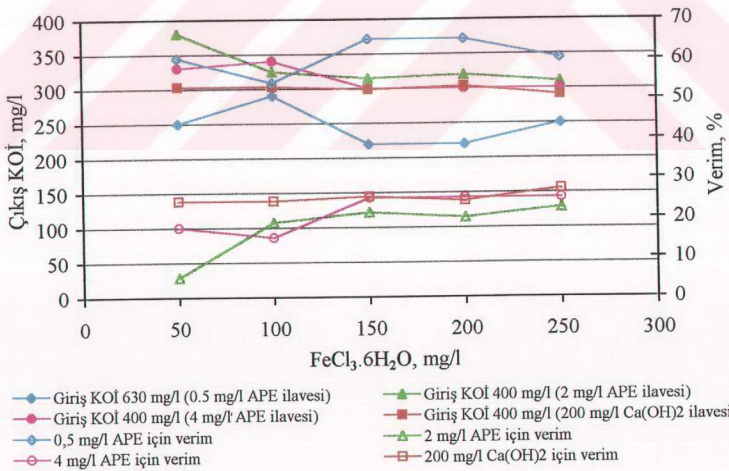
Şekil 7.21 Baltalımanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi



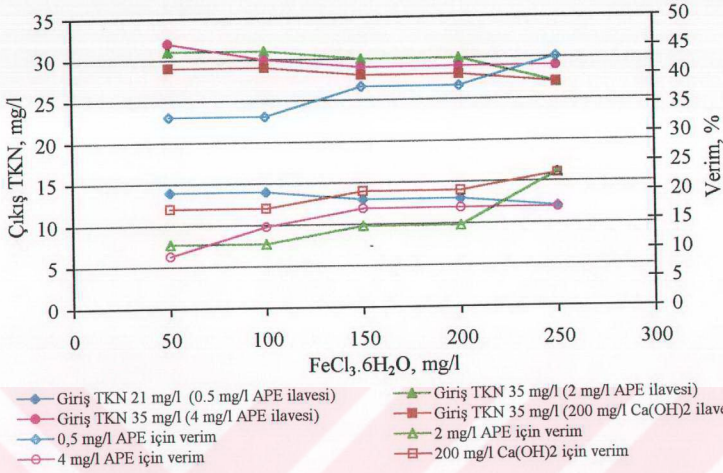
Şekil 7.22 Baltalımanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi



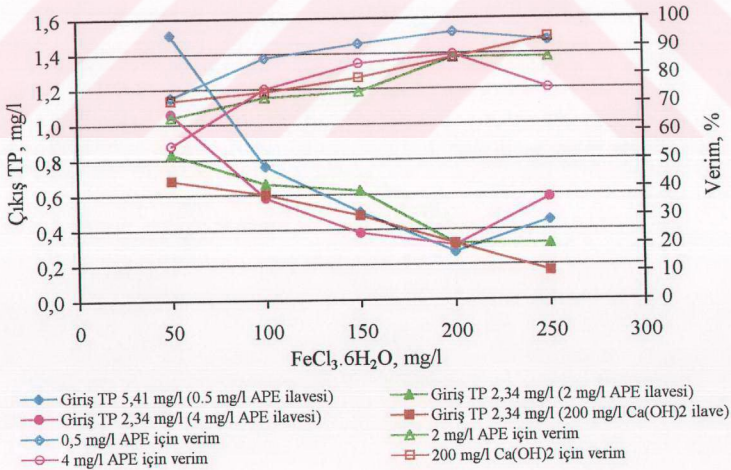
Şekil 7.23 Baltalımanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan çıkış bulanıklığı ve giderme verimi



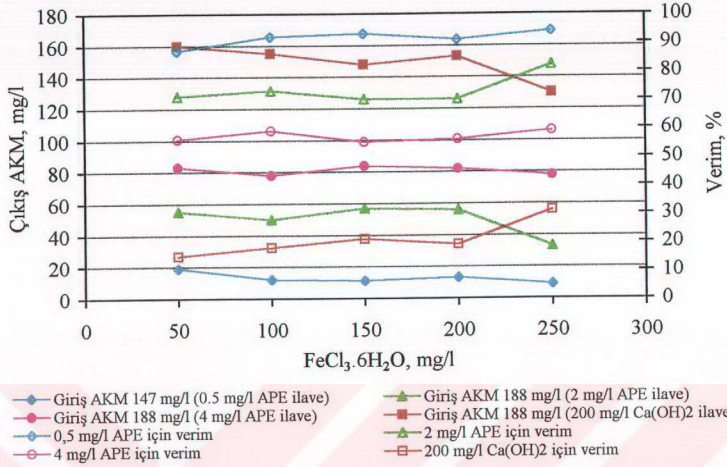
Şekil 7.24 Baltalımanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi



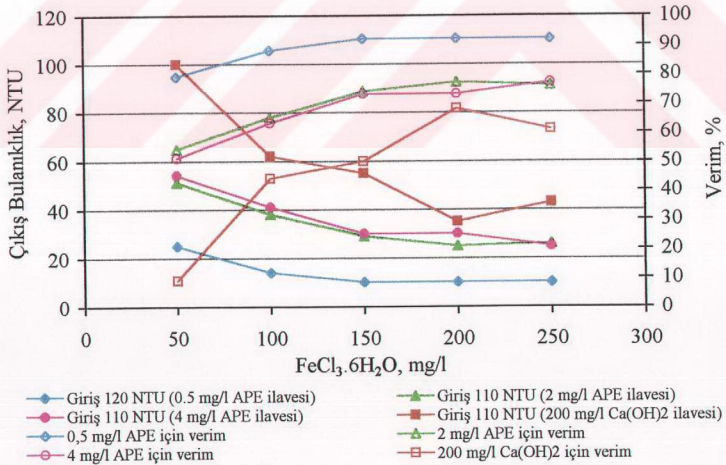
Şekil 7.25 Baltalımanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi



Şekil 7.26 Baltalımanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi



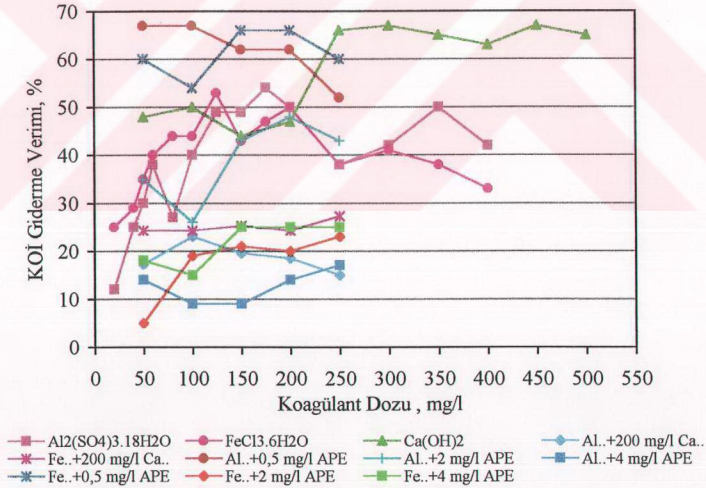
Şekil 7.27 Baltalımanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimi



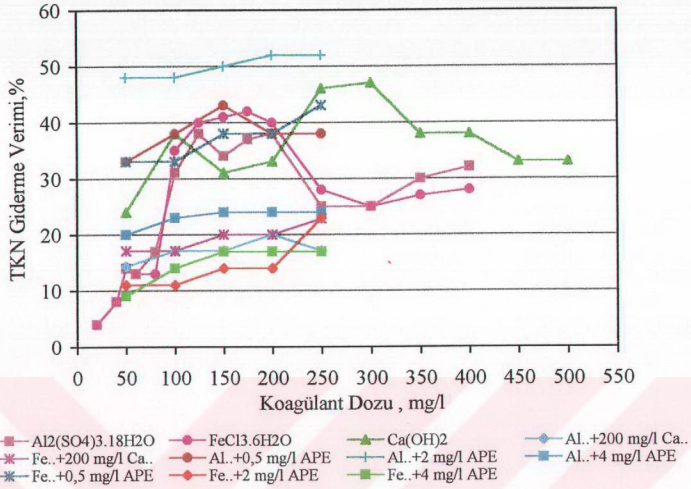
Şekil 7.28 Baltalımanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması ile oluşan çıkış bulanıklığı ve giderme verimi

7.1.5 Baltalımanı tesisi atıksularının kimyasal arıtılabilirliğinde kullanılan koagülantların mukayesesi

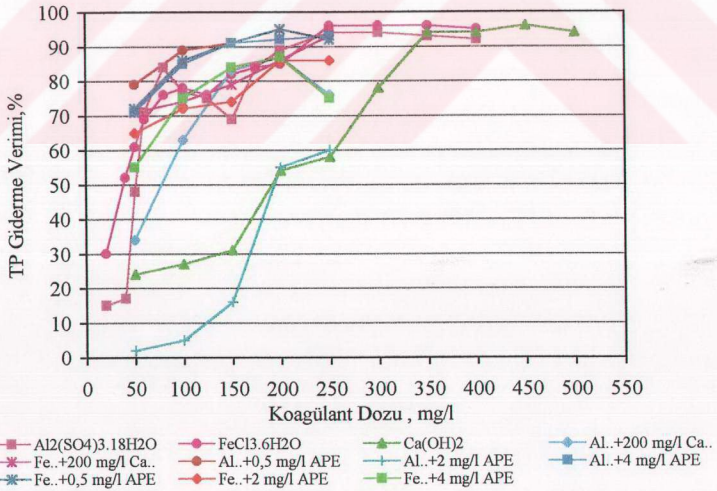
Baltalımanı tesisi atıksularının kimyasal arıtılabilirliğinde kullanılan kimyasalların tamamı için kirleticileri giderme verimleri Şekil 7.29-7.33'te toplu olarak verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ün kirlетici parametreleri yaklaşık olarak aynı verimle giderdiği tesbit edilmiştir. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yapılan uygulamalar, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'e göre daha verimli sonuçların alınmasını sağlamıştır. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ile APE'nin kullanılması verimi daha yüksek seviyelere getirmiş ve uygulamalar içerisinde en iyi neticelerin alınmasını sağlamıştır. Baltalımanı atıksuyu için $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ile APE'nin kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.



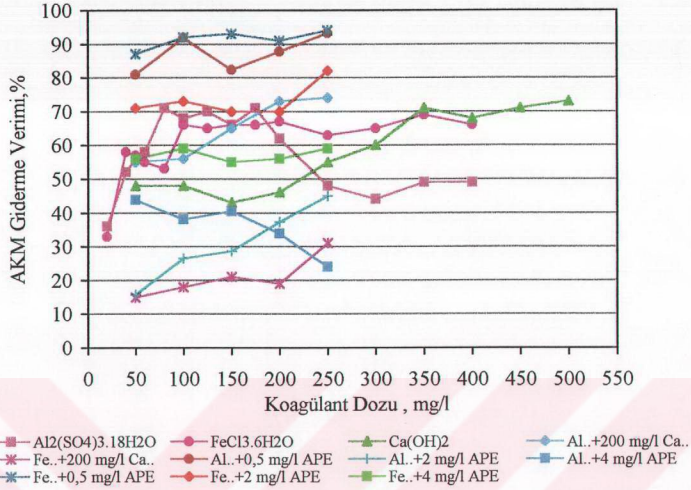
Şekil 7.29 Baltalımanı tesisi atıksularında kullanılan kimyasala göre KOİ giderme verimi



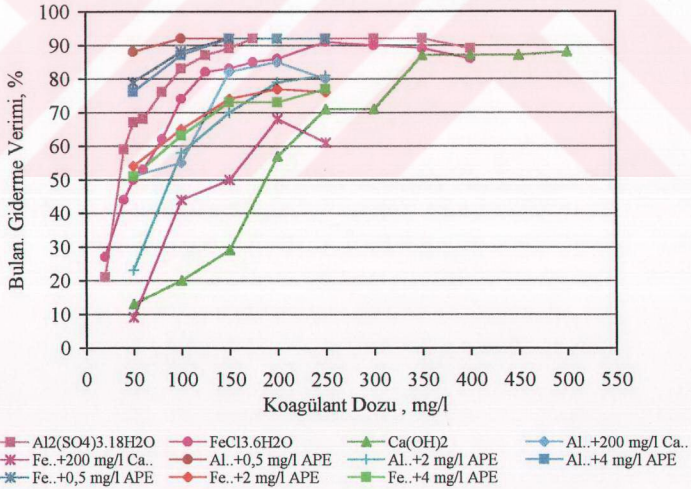
Şekil 7.30 Baltımanı tesisi atıksularında kullanılan kimyasala göre TKN giderme verimi



Şekil 7.31 Baltımanı tesisi atıksularında kullanılan kimyasala göre TP giderme verimi



Şekil 7.32: Baltalimanı tesisi atıksularında kullanılan kimyasala göre AKM giderme verimi



Şekil 7.33 Baltalimanı tesisi atıksularında kullanılan kimyasala göre bulanıklık giderme verimi

7.1.6 Baltımanı tesisi atıksularında kimyasal uygulamanın kirleticilerin çözünmüş ve partiküler kısımları üzerindeki etkisi

Baltımanı tesisine gelen evsel atıksularına kimyasal uygulamanın kirleticilerin çözünmüş ve partiküler kısımları üzerindeki giderme veriminin belirlenmesi amacıyla, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 175 mg/l, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ise 300 mg/l dozlanarak jar test çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen duru fazlarda ve bu numunelerin süzölmüş kısımlarında kirlenici parametrelerin ölçümü yapılmıştır. Partiküler kısım ise, duru fazda elde edilen konsantrasyon ile çözönmüş kısmın farkı alınarak hesaplanmıştır. Bu çalışmaya ait sonuçlar Çizelge 7.12, 7.13 ve 7.14'de verilmiştir.

Kimyasal uygulamaların çözönmüş kısmı giderme verimi KOİ'de %6-17, TKN'de %10 ve TP'de %93 iken, partiküler kısmı giderme verimi KOİ için %78-89, TKN için %86 ve TP için %24-75 olarak tesbit edilmiştir. Buradan, kimyasal uygulamanın KOİ ve TKN'nin partiküler kısımları üzerinde etkili olduğu, diğer taraftan TP gideriminde ise çözönmüş kısım üzerinde etkili olduğu görölmektedir.

Çizelge 7.12 Baltımanı tesisi atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 'ın çözönmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi

Parametre	Numune			Kimyasal uygulamadan sonra					
	Ham	Süzölmüş	Partiküler	Duru faz		Süzölmüş		Partiküler	
				Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%
KOİ, mg/l	330	240	90	210	36	200	17	10	89
TKN, mg/l	12,00	10,00	2,00	9,24	23	8,96	10,00	0,28	86
TP, mg/l	2,22	1,41	0,81	0,31	86	0,10	93	0,21	74
AKM, mg/l	55	---	---	22	60	---	---	---	---

Çizelge 7.13 Baltımanı tesisi atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ün çözönmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi

Parametre	Numune			Kimyasal uygulamadan sonra					
	Ham	Süzölmüş	Partiküler	Duru faz		Süzölmüş		Partiküler	
				Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%
KOİ, mg/l	330	240	90	220	33	200	17	20	78
TKN, mg/l	12,00	10,00	2,00	9,24	23	8,96	10	0,28	86
TP, mg/l	2,22	1,41	0,81	0,30	86	0,10	93	0,20	75
AKM, mg/l	55	---	---	25	54	---	---	---	---

Çizelge 7.14 Baltalimanı tesisi atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi

Parametre	Numune			Kimyasal uygulamadan sonra					
	Ham	Süzülmüş	Partiküler	Duru faz		Süzülmüş		Partiküler	
				Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%
KOİ, mg/l	330	240	90	240	27	225	6	15	83
TKN, mg/l	12,00	10,00	2,00	9,24	21	8,96	10	0,28	86
TP, mg/l	2,22	1,41	0,81	0,67	70	0,10	93	0,57	24
AKM, mg/l	55	---	---	30	45	---	---	---	---

7.2 Yenikapı tesisi atıksularında yapılan çalışmalar ve neticeleri

Yenikapı Ön Arıtma Tesisinden muhtelif zamanlarda 3 numune alınmış ve bu numunelerde karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Numunelerden birisinde jar test çalışması, diğer numune ise kimyasal uygulamanın kirletici parametrelerin çözünmüş ve partikül kısımlarındaki giderme verimi araştırılmıştır.

Yenikapı tesisine gelen atıksuların sınıflandırılması için, yapılan ölçümlerin ortalaması Çizelge 7.15'te verilmiştir. Tesise gelen atıksulardaki kirleticilerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri ise Çizelge 7.16'daki gibidir.

Çizelge 7.15 Yenikapı ön arıtma tesisine gelen atıksuların sınıflandırılması

Parametre	Toplam	Çözünmüş	Çökeltilmiş
KOİ, mg/l	440	151	295
TKN, mg/l	58	43	57
TP, mg/l	9,80	6,30	7,70

Çizelge 7.15 ve 7.16'da görüldüğü gibi, Yenikapı tesisine gelen atıksular orta kuvvetlilikteki bir atıksu özelliğini göstermektedir.

Yenikapı atıksularında, jar test çalışmalarında koagülant kimyasal 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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılmıştır. Aynı zamanda APE'nin

koagülant yardımcısı olarak kullanıldığı testler de yapılmıştır. Yapılan jar test çalışmalarının sonuçları Çizelge 7.17-7.20'de verilmiştir. Bu sonuçlara ait grafikler Şekil 7.34-7.38'de verilmiştir. Kullanılan kimyasala göre kirletici parametreleri giderme verimleri de Şekil 7.39-7.43'de verilmiştir.

Çizelge 7.16 Yenikapı tesisinden alınan numunelerde ölçülen parametrelerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
pH	7,43	7,90	7,67
KOİ, mg/l	410	510	440
TKN, mg/l	51	62	58
TP, mg/l	8,83	11,33	9,80
AKM, mg/l	214	392	303
NH ₄ -N, mg/l	36	39	38
PO ₄ -P, mg/l	4,51	5,85	5,10
Bulanıklık, NTU	324	297	310

Çizelge 7.17 Yenikapı tesisi atıksuyunda Al₂(SO₄)₃.18H₂O ile yapılan jar test çalışması sonuçları

Parametre	Ham numune	Uygulanan doz						
		100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	300 mg/l	350 mg/l	400 mg/l
pH	7,68	7,38	7,13	7,01	6,95	6,83	6,59	6,52
KOİ, mg/l	406	167	167	136	132	118	118	105
Verim, %	---	59	59	67	68	71	71	74
TKN, mg/l	62	48	48	49	48	46	45	45
Verim, %	---	23	23	21	23	25	28	28
TP, mg/l	8,83	2,74	1,66	0,94	0,69	0,55	0,40	0,37
Verim, %	---	69	81	89	92	94	95	96
PO ₄ -P, mg/l	5,66	0,85	0,22	0,12	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Verim, %	---	83	96	98	>98	>98	>98	>98
AKM, mg/l	392	42	25	34	25	21	20	14
Verim, %	---	89	94	91	94	95	95	96
Bulan., NTU	297	64	59	48	42	43	30	32
Verim, %	---	78	80	84	86	86	90	89

Çizelge 7.18 Yenikapı tesisi atıksuyunda $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan jar test çalışması sonuçları

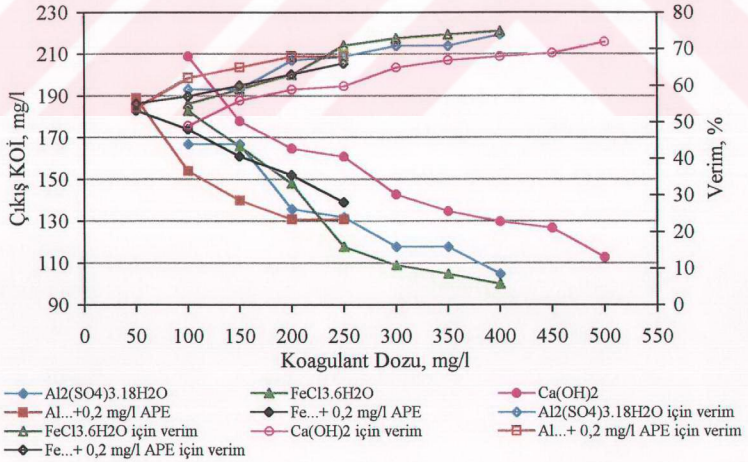
Parametre	Ham numune	Uygulanan doz						
		100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	300 mg/l	350 mg/l	400 mg/l
pH	7,68	7,35	7,17	6,98	6,76	6,53	6,42	6,42
KOI, mg/l	406	183	166	148	118	109	105	100
Verim, %	---	55	59	63	71	73	74	75
TKN, mg/l	62	50	48	46	43	43	44	44
Verim, %	---	19	23	26	31	31	29	29
TP, mg/l	8,83	2,41	1,52	1,12	0,65	0,57	0,44	0,41
Verim, %	---	73	83	87	93	94	95	95
$\text{PO}_4\text{-P}$, mg/l	5,66	2,24	0,94	0,14	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Verim, %	---	54	81	97	>98	>98	>98	>98
AKM, mg/l	392	57	46	31	26	56	18	21
Verim, %	---	85	88	92	93	86	95	95
Bulan., NTU	297	89	84	65	48	37	38	36
Verim, %	---	70	72	78	84	88	87	88

Çizelge 7.19 Yenikapı tesisi atıksuyunda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yapılan jar test çalışması sonuçları

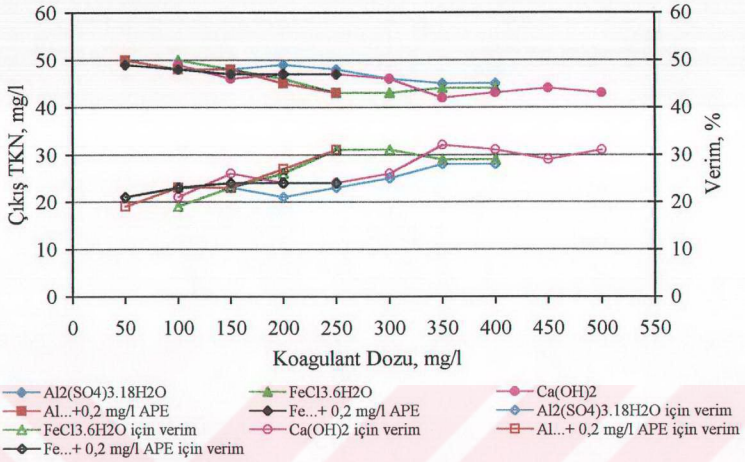
Parametre	Ham numune	Uygulanan doz								
		100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	300 mg/l	350 mg/l	400 mg/l	450 mg/l	500 mg/l
pH	7,68	9,30	9,52	9,57	9,67	9,98	10,23	10,68	10,94	11,14
KOI, mg/l	406	209	178	165	161	143	135	130	127	113
Verim, %	---	49	56	59	60	65	67	68	69	72
TKN, mg/l	62	49	46	47	47	46	42	43	44	43
Verim, %	---	21	26	24	24	26	32	31	29	31
TP, mg/l	8,83	2,97	2,43	1,77	1,30	0,97	0,75	0,99	0,90	0,80
Verim, %	---	66	72	80	85	89	91	89	90	91
$\text{PO}_4\text{-P}$, mg/l	5,66	<0,10	0,59	0,50	0,33	0,26	0,17	0,15	<0,10	<0,10
Verim, %	---	>98	88	90	93	95	97	97	>98	>98
AKM, mg/l	392	86	75	103	115	94	107	80	90	74
Verim, %	---	78	81	74	71	76	73	80	77	81
Bulan., NTU	297	126	87	111	111	74	90	74	88	69
Verim, %	---	58	71	63	63	75	70	75	70	77

Çizelge 7.20 Yenikapı tesisi atıksuyunda APE'nin yardımcı kimyasal olarak kullanıldığı jar test çalışması sonuçları

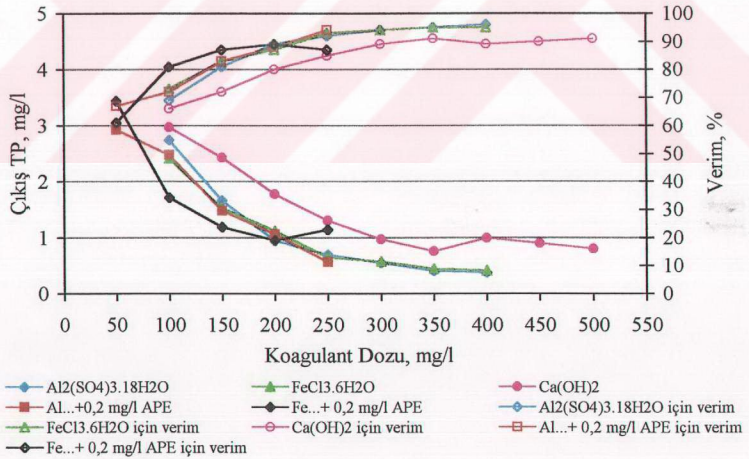
Parametre	Ham numune	Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O + 0.2 mg/l APE					FeCl ₃ .6H ₂ O + 0.2 mg/l APE				
		50 mg/l	100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l
pH	7,68	7,44	7,31	7,09	6,99	6,74	7,42	7,18	6,98	6,86	6,79
KOİ, mg/l	406	189	154	140	131	131	183	174	161	152	139
Verim, %	---	54	62	65	68	68	55	57	60	63	66
TKN, mg/l	62	50	48	48	45	43	49	48	47	47	47
Verim, %	---	19	23	23	27	31	21	23	24	24	24
TP, mg/l	8,83	2,92	2,47	1,48	1,06	0,56	3,44	1,71	1,19	0,95	1,14
Verim, %	---	67	72	83	88	94	61	81	87	89	87
PO ₄ -P, mg/l	5,66	2,33	0,93	0,20	<0,10	<0,10	1,97	1,41	0,35	0,14	<0,10
Verim, %	---	52	81	96	>98	>98	60	71	93	97	>98
AKM, mg/l	392	66	47	35	29	25	59	49	25	32	29
Verim, %	---	83	88	91	93	94	85	88	94	92	93
Bulan.,	297	85	63	57	41	38	88	77	68	63	51
Verim, %	---	71	79	81	86	87	70	74	77	79	83



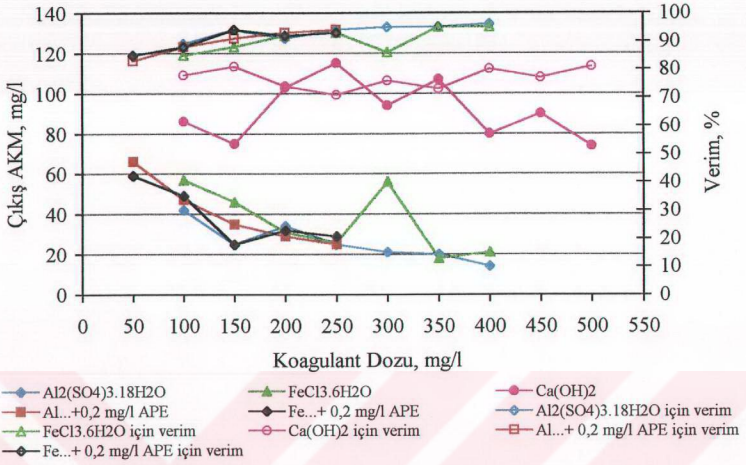
Şekil 7.34 Yenikapı tesisi atıksuyunda kullanılan kimyasallara göre KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



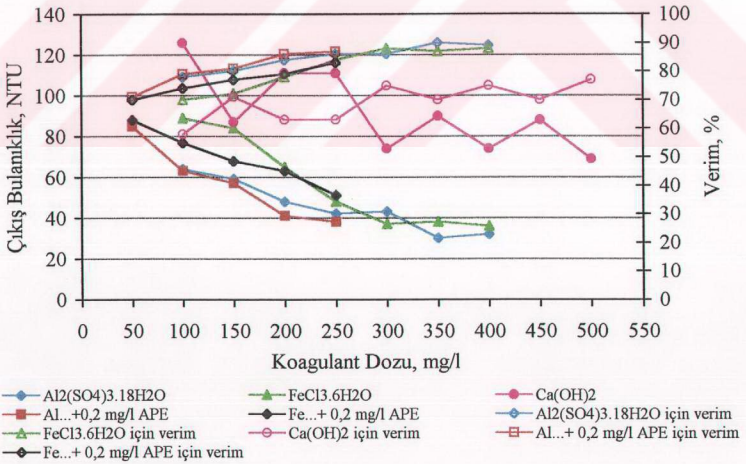
Şekil 7.35 Yenikapı tesisi atıksuyunda kullanılan kimyasallara göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



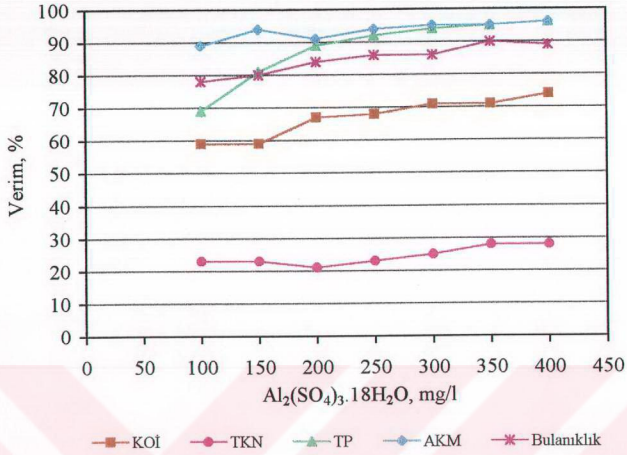
Şekil 7.36 Yenikapı tesisi atıksuyunda kullanılan kimyasallara göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



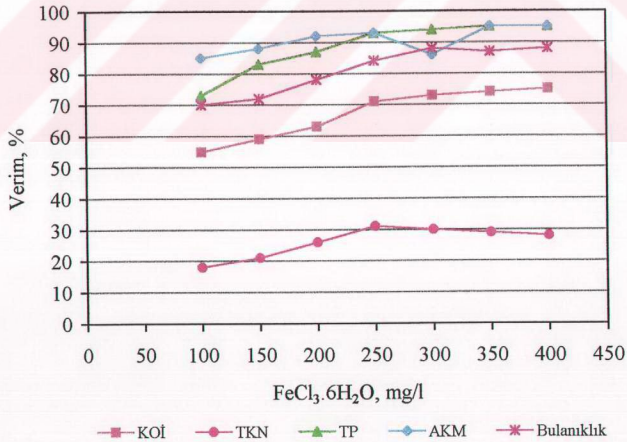
Şekil 7.37 Yenikapı tesisi atıksuyunda kullanılan kimyasallara göre AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



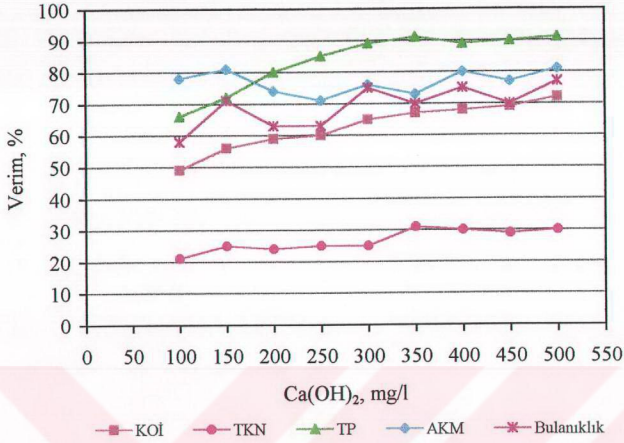
Şekil 7.38 Yenikapı tesisi atıksuyunda kullanılan kimyasallara göre çıkışta bulanıklık değerleri ve giderme verimleri



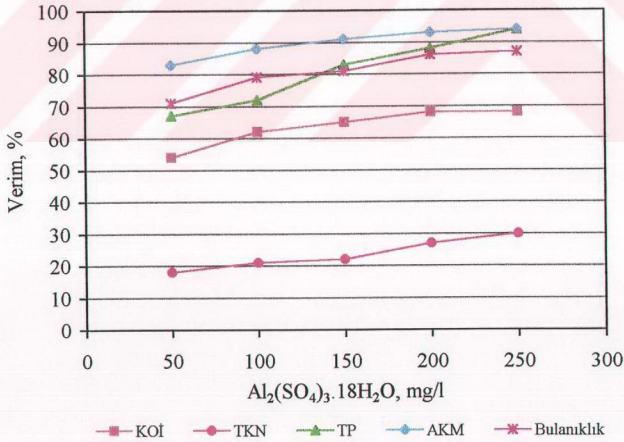
Şekil 7.39 Yenikapı tesisi atıksuyunda $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ uygulamasının kirleticileri giderme verimi



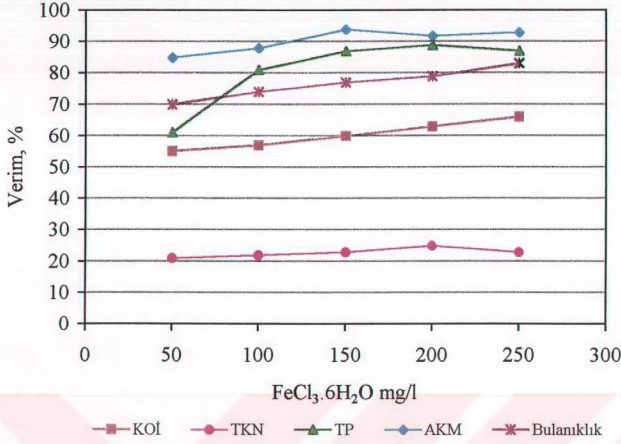
Şekil 7.40 Yenikapı tesisi atıksuyunda $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ uygulamasının kirleticileri giderme verimi



Şekil 7.41 Yenikapı tesisi atıksuyunda Ca(OH)_2 uygulamasının kirlenici giderme verimi



Şekil 7.42 Yenikapı tesisi atıksuyunda $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + 0.2 mg/l APE uygulamasının kirlenici giderme verimi



Şekil 7.43 Yenikapı tesisi atıksuyunda $\text{FeCl}_3.6\text{H}_2\text{O}$ + 0.2 mg/l APE uygulamasının kirlenici giderme verimi

Çizelge 7.17-7.20 ile Şekil 7.34-7.43'den elde edilen neticelere göre;

- 300-350 mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3.18\text{H}_2\text{O}$ ilavesi yapılarak KOİ'de %71, TKN'de %28, TP'de %95, $\text{PO}_4\text{-P}$ 'de %98'den fazla, AKM'de %95 ve bulanıklıkta %90 gibi yüksek giderme verimlerine ulaşılabilir. Bu dozların, hatta 200 mg/l gibi bir dozun kullanılması ile TP 1 mg/l'nin altına düşmektedir.
- $\text{FeCl}_3.6\text{H}_2\text{O}$ 'ün 300-350 mg/l dozlarında; KOİ %74, TKN %31, TP %95, $\text{PO}_4\text{-P}$ %98'den fazla, AKM %95 ve bulanıklık %88 gibi yüksek verimlerle giderilebilir. Bu dozlarda TP konsantrasyonu 1 mg/l'nin altına düşmektedir.
- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 350-400 mg/l dozlandığında; KOİ'nin %68'i, TKN'nin %32'si, TP'nin %91'i, $\text{PO}_4\text{-P}$ 'nin %97'si, AKM'nin %80'i ve bulanıklığın %75'i giderilebilir. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in 300 mg/l'den yüksek dozlarında TP 1 mg/l'nin altına düşmektedir.

- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 'ın APE ile birlikte kullanımı halinde, 200 mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozu en optimum verimi sağlamaktadır. Bu dozda; KOİ %68, TKN %27, TP %88, $\text{PO}_4\text{-P}$ %98'den daha yüksek, AKM %93 ve bulanıklık %86 verimle giderilebilmektedir. Bu uygulamada TP konsantrasyonu ancak 250 mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozunda 1 mg/l'nin altına düşmüştür.
- 200 mg/l $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dozu APE ile birlikte kullanıldığında optimum verim elde edilmektedir. Bu dozda; KOİ'de %63, TKN'de %24, TP'de %89, $\text{PO}_4\text{-P}$ 'de %97, AKM'de %92 ve bulanıklıkta %79 gibi verimlere ulaşılmaktadır. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ün bu dozunda TP 1 mg/l'nin altına düşmektedir.
- Yenikapı tesisine gelen atıksularda $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ün hemen hemen aynı verimi sağladığı görülmektedir. Aynı zamanda, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile de AKM ve bulanıklık dışındaki diğer parametrelerde aynı verim sağlanmaktadır. Fakat, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ün APE ile birlikte kullanımı verimde beklenen artışı sağlamamaktadır. Bu sebeple, Yenikapı atıksuları için en uygun kimyasalın $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ veya $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ olduğu söylenebilir.

7.2.1 Yenikapı tesisi atıksularında kimyasal uygulamanın kirleticilerin çözünmüş ve partiküler kısımları üzerindeki etkisi

Yenikapı atıksularında, kimyasal uygulamanın kirleticilerin çözünmüş ve partiküler kısımları üzerindeki giderme veriminin belirlenmesi maksadıyla, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ün 300 mg/l dozunda, kirecin ise 350 mg/l dozunda jar test çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen duru fazlarda ve bu numunelerin süzölmüş kısımlarında yapılan ölçüm sonuçları Çizelge 7.21, 7.22 ve 7.23'de verilmiştir.

Yenikapı atıksularında kimyasal uygulamaların, kirleticilerin çözünmüş kısmını giderme verimi KOİ'de %5-13, TKN'de %4-15 ve TP'de %99 iken, partiküler kısmı giderme verimi KOİ için %72-93, TKN için %75-85 ve TP için %47-80 olarak tesbit edilmiştir.

Çizelge 7.21 Yenikapı tesisi atıksuyunda $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 'ın çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi

Parametre	Numune			Kimyasal uygulamadan sonra					
	Ham	Süzülmüş	Partiküler	Duru faz		Süzülmüş		Partiküler	
				Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%
KOİ, mg/l	410	172	238	167	61	150	13	17	93
TKN, mg/l	60	45	20	43	28	38	15	5	75
TP, mg/l	9,28	6,87	2,41	0,83	91	0,10	99	0,73	73
AKM, mg/l	214	---	---	22	90	---	---	---	---

Çizelge 7.22 Yenikapı tesisi atıksuyunda $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 'ün çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi

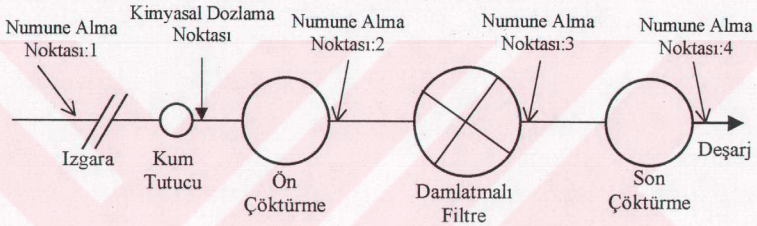
Parametre	Numune			Kimyasal uygulamadan sonra					
	Ham	Süzülmüş	Partiküler	Duru faz		Süzülmüş		Partiküler	
				Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%
KOİ, mg/l	410	172	238	189	54	163	5	26	89
TKN, mg/l	60	45	20	46	23	43	4	3	85
TP, mg/l	9,28	6,87	2,41	0,58	94	0,10	99	0,48	80
AKM, mg/l	214	---	---	28	87	---	---	---	---

Çizelge 7.23 Yenikapı tesisi atıksuyunda $Ca(OH)_2$ 'in çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi

Parametre	Numune			Kimyasal uygulamadan sonra					
	Ham	Süzülmüş	Partiküler	Duru faz		Süzülmüş		Partiküler	
				Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%
KOİ, mg/l	410	172	238	227	44	160	7	67	72
TKN, mg/l	60	45	20	48	20	43	4	5	75
TP, mg/l	9,28	6,87	2,41	1,38	85	0,10	99	1,28	47
AKM, mg/l	214	---	---	70	67	---	---	---	---

7.3 Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisinde Yapılan Çalışmalar

Ataköy arıtma tesisinden alınan atıksularla laboratuvarda jar test çalışmalarının yanısıra, tesiste de tam ölçekte çalışmalar yapılarak kimyasal madde ilavesinin biyolojik arıtma performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu sebeple, biyolojik arıtma esnasında ve kimyasal ilavesi yapılırken, tesisin girişinden, ön çöktürme çıkışından, damlatmalı filtre çıkışından ve son çöktürme çıkışından numuneler alınmıştır. Çalışma süresince tesisteki numune alma noktaları ve kimyasal uygulamanın yapıldığı noktalar Şekil 7.44’de verilmiştir.



Şekil 7.44 Ataköy arıtma tesisinde numune alma noktaları ve kimyasal dozlama noktası

Tesise gelen atıksuların sınıflandırılması Çizelge 7.24’deki gibidir. Biyolojik arıtma esnasında tesisten alınan numunelerde kirletici parametrelerin ölçümü ile elde edilen sonuçlar Çizelge 7.25’de ve bu durumda tesiste meydana gelen verimler her bir ünite için Çizelge 7.26’da verilmiştir. Çizelge 7.27’de İSKİ laboratuvarı tarafından yapılan ölçümlere göre tesisin 1997 yılına ait ortalama verimleri verilmiştir.

Çizelge 7.24 Ataköy biyolojik arıtma tesisine gelen atıksuların sınıflandırılması

Parametre	Toplam	Çözünmüş	Çökeltilmiş
KOİ, mg/l	487	138	250
TKN, mg/l	37	26	31
TP, mg/l	7,36	4,27	4,47

Çizelge 7.25 Biyolojik arıtma esnasında kirlетici parametrelerin ünitelerdeki değışimi

Parametre	Tesis girişı			Ön çok. çıkışı			Dam. filt. çıkışı			Son çok. çıkışı		
	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.
pH	7,17	7,86	7,58	7,15	7,80	7,48	7,47	8,14	7,73	7,76	8,09	7,74
KOİ, mg/l	240	660	390	150	295	200	75	185	120	85	170	110
TKN, mg/l	29	52	40	25	47	34	19	43	28	20	43	32
NH ₄ -N, mg/l	23	41	31	19	38	25	14	36	22	14	36	22
TP, mg/l	4,17	6,70	5,75	3,05	5,85	4,52	3,50	6,50	5,33	3,25	8,60	5,98
PO ₄ -P mg/l	3,66	4,33	4,10	2,99	4,32	3,54	4,10	5,30	4,70	4,92	6,50	5,59
AKM, mg/l	123	319	195	57	183	96	20	69	45	18	59	34

Çizelge 7.26 Ataköy arıtma tesisinde her bir ünitadaki verimler

Parametre	Ön çok. çıkışı, %			Dam. filt. çıkışı, %			Son çok. çıkışı, %		
	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.
KOİ	16	65	46	48	79	67	51	82	72
TKN	<0	38	12	2	48	28	2	46	21
NH ₄ -N	<0	39	18	<0	48	29	<0	48	30
TP	<0	35	25	<0	42	15	<0	48	11
PO ₄ -P	<0	23	14	<0	5	2	<0	<0	0
AKM	17	68	48	51	87	75	60	91	80

Çizelge 7.27 İSKİ tarafından yapılan ölçümlere göre tesisin 1997 yılına ait ortalama verimleri

Parametre	Tesis girişı, mg/l			Tesis çıkışı, mg/l			Verim, %		
	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.
BOİ ₅	100	225	160	21	50	35	66	83	76
KOİ	235	510	360	72	145	113	60	79	67
AKM	147	210	180	28	47	40	69	83	76

Çizelge 7.24 ve 7.25'e göre, Ataköy arıtma tesisine gelen atıksular orta kuvvetlilikteki atıksu özelliklerine daha yakın bir karakter taşımaktadır. Diğer taraftan çalışma süresince yapılan ölçümler (Çizelge 7.26) ve İSKİ tarafından yapılan 1997 yılı ölçümlerine göre (Çizelge 7.27), tesisin ortalama veriminin, damlatmalı filtreler için kabul edilen verim değerlerinin (%65-95 organik madde giderme verimi) alt limitlerine yakın olduğu görülmektedir.

7.3.1 Jar test çalışmalarının sonuçları

Ataköy Biyolojik Arıtma tesisinde, tesis girişinden ve damlatmalı filtre çıkışından alınan numunelerde jar test çalışmaları yapılmıştır.

7.3.1.1 Ataköy arıtma tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışmaları

Ataköy arıtma tesisi giriş atıksularında koagülant 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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılırken, polielektrolit ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in yumaklaştırıcı yardımcısı olarak kullanıldığı testler yapılmıştır. Ayrıca jar test sonucunda elde edilen duru numunelerde; pH, KOİ, TKN, TP, $\text{PO}_4\text{-P}$, AKM ve bulanıklık deneyleri yapılmıştır.

7.3.1.1.1 Ataköy arıtma tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan çalışmalar

Ataköy tesisi giriş atıksu numunelerinde yapılan jar test çalışmalarında 50 mg/l ile 400 mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozları kullanılmıştır. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan çalışmaların sonuçları Çizelge 7.28a ve 7.28b'de, bu sonuçlara ait çıkış değerleri ile giderme verimlerine ait grafikler Şekil 7.45-7.49'da verilmiştir. Çizelge 7.29 ve Şekil 7.50'de ise $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ilavesi ile elde edilen ortalama verimlerin uygulanan doza bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Çizelge 7.28a, 7.28b ile Şekil 7.45-7.49'a göre, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ilavesiyle KOİ'de %79, TKN'de %30, TP'de %97, AKM'de %95 ve bulanıklıkta %94 gibi giderme verimine ulaşılabilirdiği görülmektedir. Ancak, bütün parametreleri optimum şekilde giderebilecek olan 250-300 mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozunda, KOİ %67, TKN %19, TP %92, AKM %91 ve bulanıklık %82 ortalama verimle giderilmektedir (Çizelge 7.29 ve Şekil 7.50). Optimum $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozunun kullanılması ile TP 1 mg/l'nin altına düşmektedir.

Çizelge 7.28a Ataköy tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$)

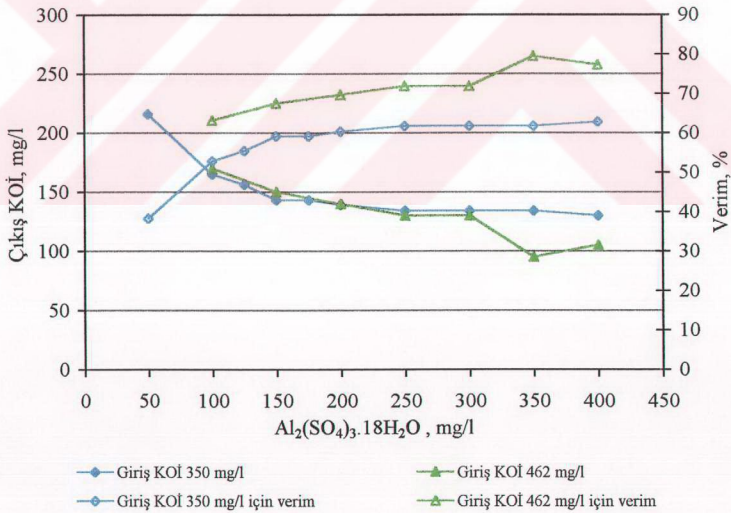
Parametre	Ham numune	Uygulanan doz									
		50 mg/l	100 mg/l	125 mg/l	150 mg/l	175 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	300 mg/l	350 mg/l	400 mg/l
pH	7,67	7,94	7,93	7,88	7,84	7,77	7,67	7,56	7,52	7,22	7,17
KOİ, mg/l	350	216	165	156	143	143	139	134	134	134	130
Verim, %	---	38	53	55	59	59	60	62	62	62	63
TKN, mg/l	44	44	43	39	41	38	39	39	39	39	38
Verim, %	---	0	2	11	7	14	11	11	11	11	14
TP, mg/l	6,16	4,17	4,15	3,15	2,98	1,84	1,84	0,80	0,70	0,82	0,57
Verim, %	---	32	33	49	52	70	70	87	89	87	91
AKM, mg/l	123	53	52	34	29	24	23	14	15	6	8
Verim, %	---	57	58	72	76	80	81	89	88	95	93
Bulan., NTU	89	60	55	40	38	30	32	26	27	23	36
Verim, %	---	33	38	55	57	66	64	71	70	74	60

Çizelge 7.28b Ataköy tesisi giriş anksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)

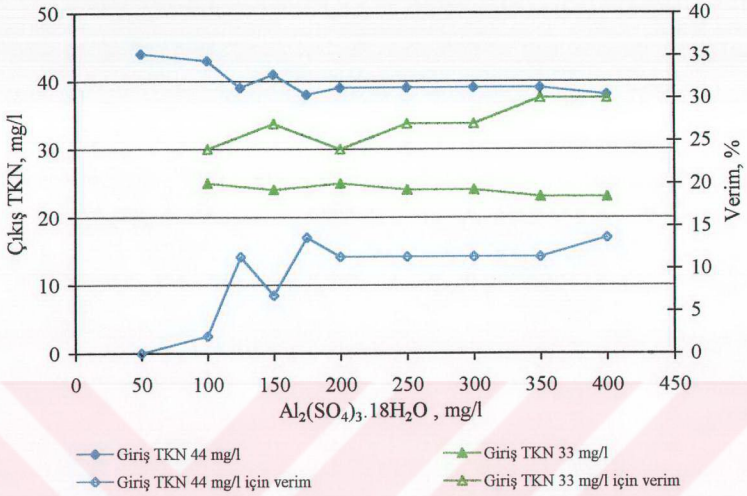
Parametre	Ham numune	Uygulanan doz							
		100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	300 mg/l	350 mg/l	400 mg/l	
pH	7,86	7,73	7,64	7,50	7,40	7,34	7,09	6,99	
KOİ, mg/l	462	170	150	140	130	130	95	105	
Verim, %		63	68	70	72	72	79	77	
TKN, mg/l	33	25	24	25	24	24	23	23	
Verim, %	---	24	27	24	27	27	30	30	
TP, mg/l	6,6	1,90	0,68	0,49	0,32	0,28	0,21	0,26	
Verim, %	---	71	90	93	95	96	97	96	
PO ₄ -P, mg/l	4,33	0,54	0,20	0,13	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
Verim, %	---	88	95	97	>98	>98	>98	>98	
AKM, mg/l	319	42	60	43	44	20	41	35	
Verim, %	---	87	81	87	86	94	87	89	
Bulan, NTU	163	40	33	10	10	10	10	10	
Verim, %	---	75	80	94	94	94	94	94	

Çizelge 7.29 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ uygulamasının kirleticileri ortalama giderme verimleri

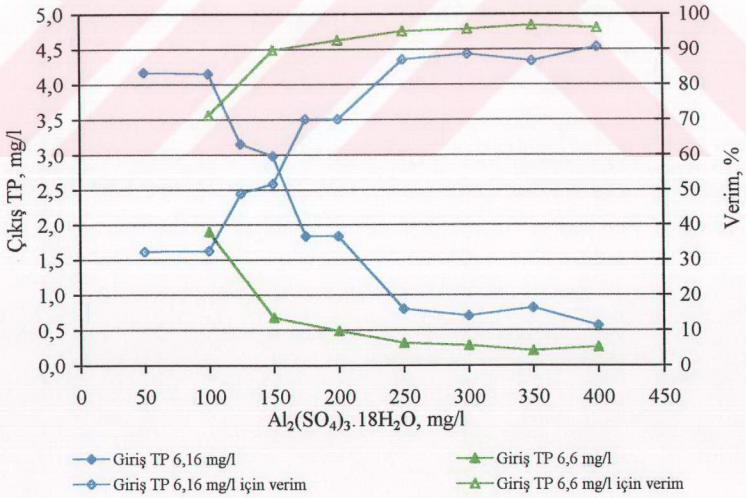
Doz, mg/l	KOİ giderimi %	TKN giderimi %	TP giderimi %	AKM giderimi %	Bulanıklık giderimi, %
50 mg/l	38	0	32	57	33
100 mg/l	58	13	52	72	57
125 mg/l	55	11	49	72	55
150 mg/l	63	17	71	79	69
175 mg/l	59	14	70	80	66
200 mg/l	65	18	81	84	79
250 mg/l	67	19	91	87	82
300 mg/l	67	19	92	91	82
350 mg/l	71	21	92	91	84
400 mg/l	70	22	93	91	77



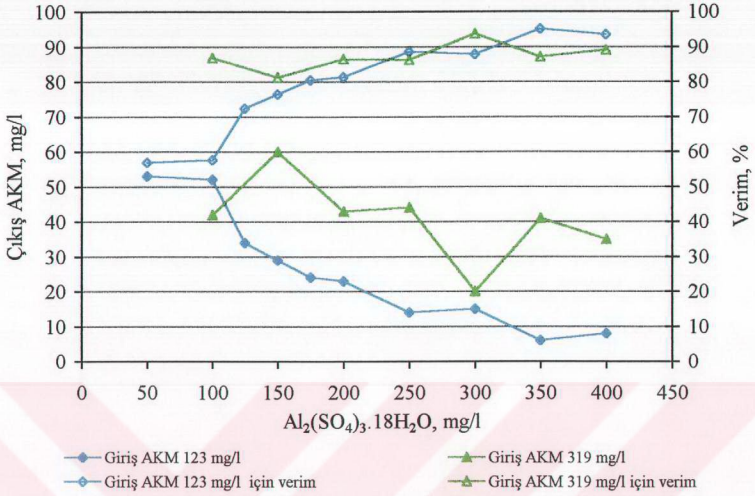
Şekil 7.45 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



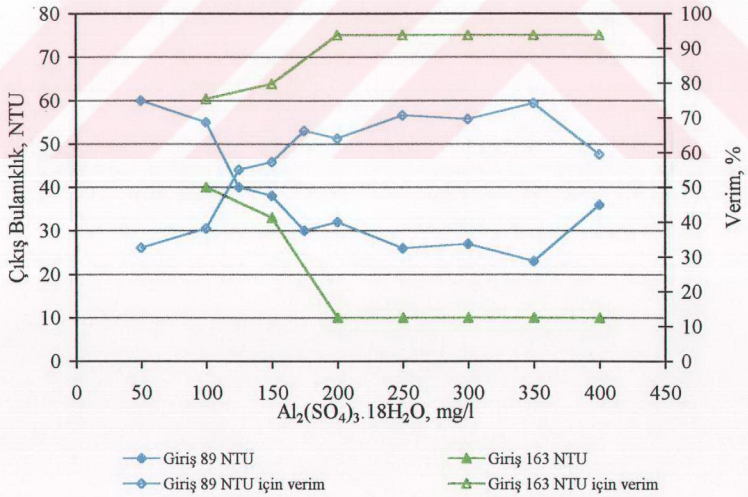
Şekil 7.46 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



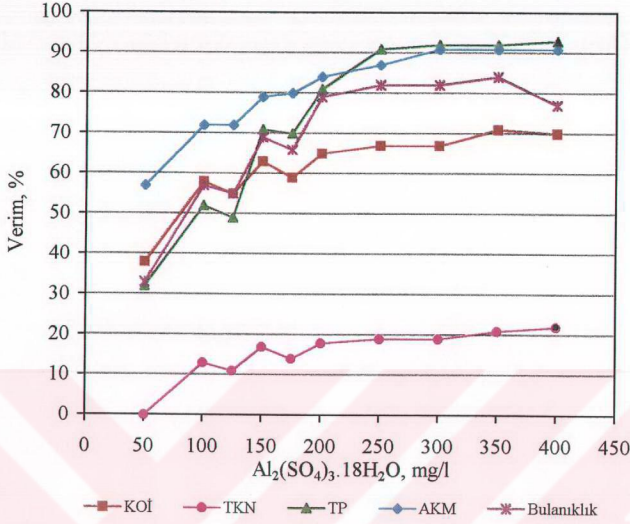
Şekil 7.47 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



Şekil 7.48 Ataköy tesisi giriş atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ dozuna göre AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



Şekil 7.49 Ataköy tesisi giriş atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ dozuna göre kalan bulanıklık ve giderme verimleri



Şekil 7.50 Ataköy tesisi giriş atıksularında $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ uygulamasıyla oluşan ortalama verimlerin doz ile değişimi

7.3.1.1.2 Ataköy arıtma tesisi giriş atıksularında $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ile yapılan çalışmalar

Ataköy tesisi giriş atıksu numunelerinde yapılan jar test çalışmalarında $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dozları 50 mg/l ile 400 mg/l arasında uygulanmıştır. $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ile yapılan jar test çalışmalarının sonuçları Çizelge 7.30a ve 7.30b'de, bu sonuçlara ait çıkış değerleri ile giderme verimlerine ait grafikler ise Şekil 7.51-7.55'de verilmiştir. Giriş atıksularında $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ilavesi ile elde edilen ortalama verimlerin uygulanan doza bağlı olarak değişimi Çizelge 7.31 ve Şekil 7.56'daki gibidir.

Çizelge 7.30a ve 7.30b ile Şekil 7.51-7.55'e göre, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ilavesiyle KOİ'de %91, TKN'de %30, TP'de %96, AKM'de %99 ve bulanıklıkta %94 gibi giderme verimine ulaşılabilirdiği görülmektedir. Ancak, 250-300 mg/l optimum dozlarda, KOİ %78, TKN %25, TP %94, AKM %93 ve bulanıklık %87 ortalama verimle giderilmektedir (Çizelge 7.31 ve Şekil 7.56). Optimum dozun kullanılması ile TP 1 mg/l'nin altına düşmektedir.

Çizelge 7.30a Ataköy tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

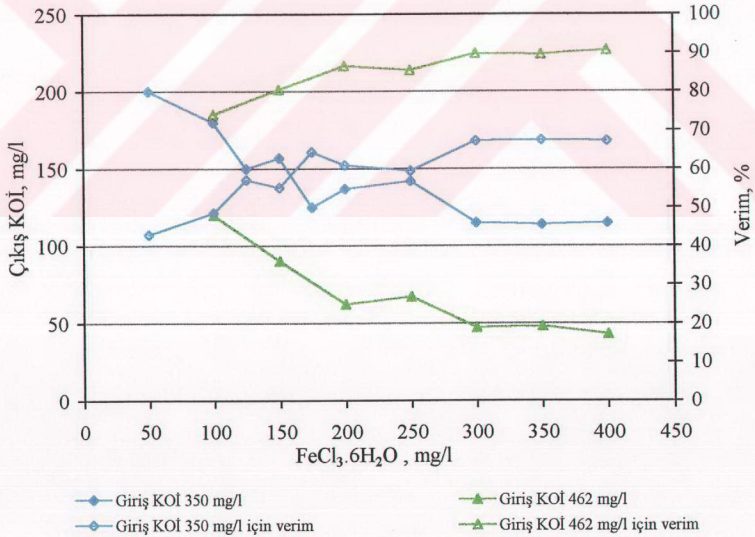
Parametre	Ham numune	Uygulanan doz									
		50 mg/l	100 mg/l	125 mg/l	150 mg/l	175 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	300 mg/l	350 mg/l	400 mg/l
pH	7,67	7,82	7,73	7,70	7,50	7,44	7,40	7,19	7,12	7,03	6,96
KOI, mg/l	350	200	180	150	157	125	137	142	115	114	115
Verim, %	---	43	49	57	55	64	61	59	67	67	67
TKN, mg/l	44	39	39	38	38	37	37	37	35	36	36
Verim, %	---	11	11	14	14	16	16	16	20	18	18
TP, mg/l	6,16	3,12	2,85	2,48	1,53	1,50	1,15	0,81	0,52	0,75	0,60
Verim, %	---	49	54	60	75	76	81	87	92	88	90
AKM, mg/l	123	50	40	25	26	20	19	17	13	20	15
Verim, %	---	59	67	80	79	84	85	86	89	84	88
Bulan, NTU	89	49	41	39	32	28	20	18	25	28	28
Verim, %	---	45	54	56	64	69	78	80	72	69	69

Çizelge 7.30b Ataköy tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

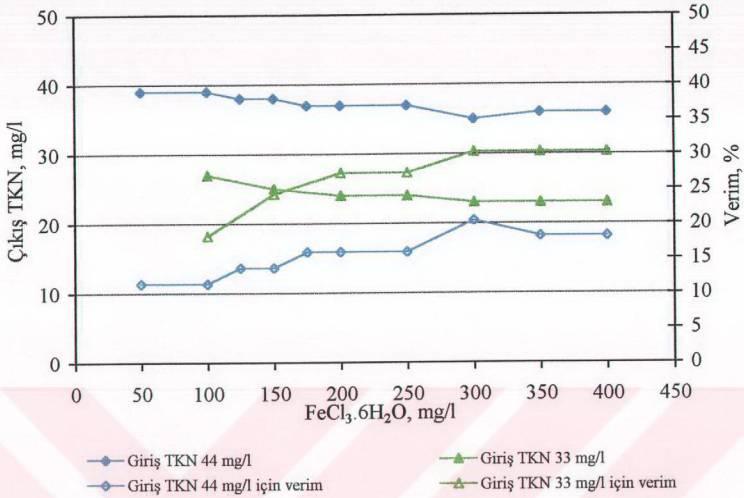
Parametre	Ham numune	Uygulanan Doz							
		100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	300 mg/l	350 mg/l	400 mg/l	
pH	7,86	7,55	7,41	7,19	7,09	7,10	6,90	6,82	
KOİ, mg/l	462	120	90	62	67	47	48	43	
Verim, %	---	74	81	87	85	90	90	91	
TKN, mg/l	33	27	25	24	24	23	23	23	
Verim, %	---	18	24	27	27	30	30	30	
TP, mg/l	6,60	2,53	0,95	0,37	0,38	0,27	0,32	0,30	
Verim, %	---	62	86	94	94	96	95	95	
PO ₄ -P, mg/l	4,33	0,40	<0,10	<0,10	<0,10	0,18	0,15	<0,10	
Verim, %	---	91	>98	>98	>98	96	97	>98	
AKM, mg/l	319	40	30	15	10	14	8	3	
Verim, %	---	87	91	95	97	96	97	99	
Bulan., NTU	163	55	35	25	11	10	10	10	
Verim, %	---	66	79	85	93	94	94	94	

Çizelge 7.31 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ uygulamasının kirleticileri ortalama giderme verimleri

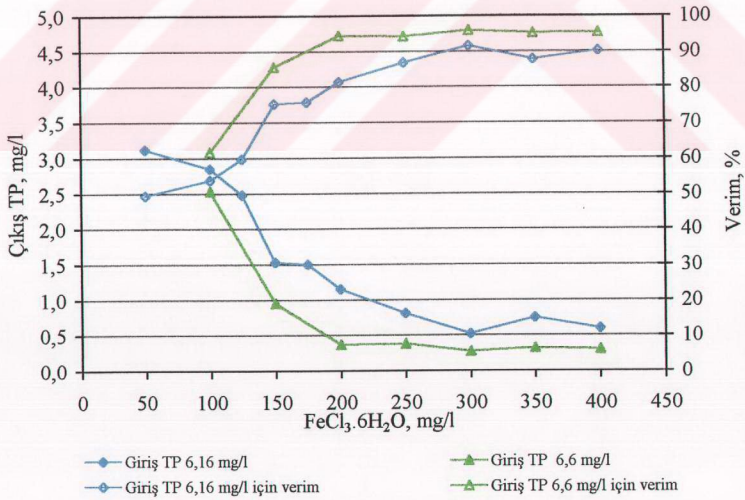
Doz, mg/l	KOI giderimi %	TKN giderimi %	TP giderimi %	AKM giderimi %	Bulanıklık giderimi, %
50 mg/l	43	11	49	59	45
100 mg/l	61	15	58	77	60
125 mg/l	57	14	60	80	56
150 mg/l	68	19	80	85	71
175 mg/l	64	16	76	84	69
200 mg/l	74	22	88	90	81
250 mg/l	72	22	91	92	87
300 mg/l	78	25	94	93	83
350 mg/l	79	24	91	91	82
400 mg/l	79	24	93	93	81



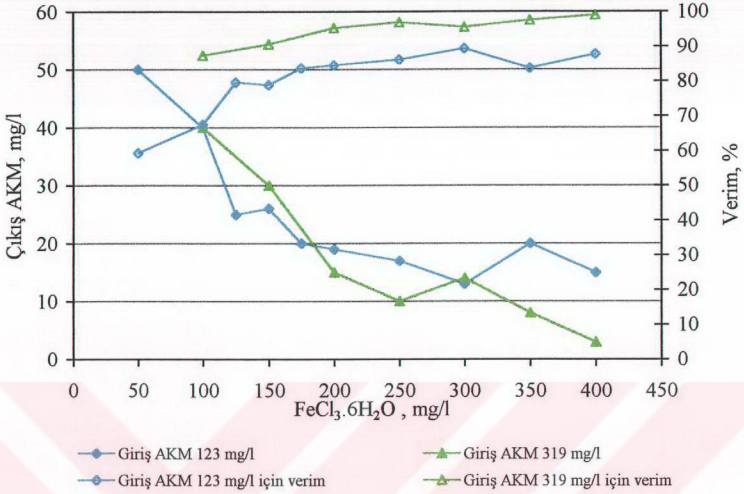
Şekil 7.51 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



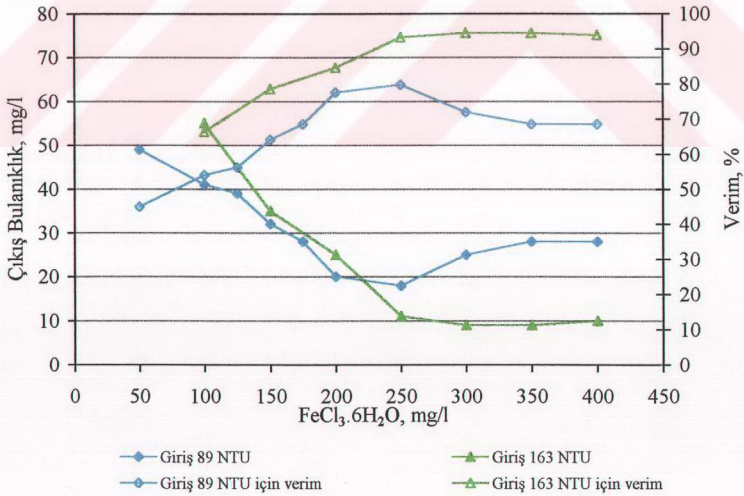
Şekil 7.52 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3.6\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



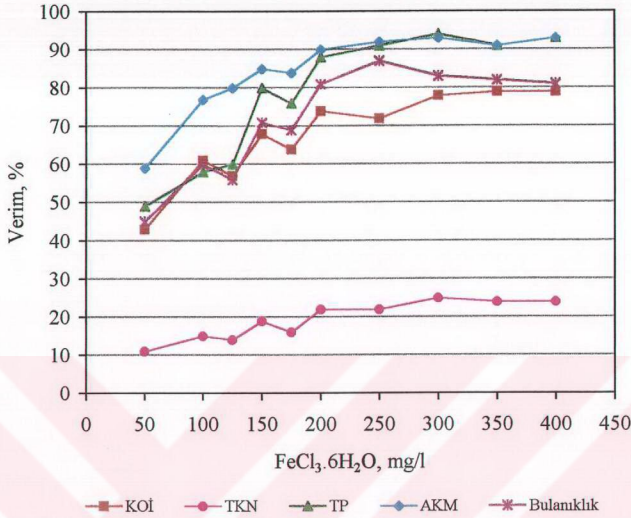
Şekil 7.53 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3.6\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



Şekil 7.54 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



Şekil 7.55 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dozuna göre kalan bulanıklık ve giderme verimleri



Şekil 7.56 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3.6\text{H}_2\text{O}$ uygulamasıyla oluşan ortalama verimlerin doz ile değişimi

7.3.1.1.3 Ataköy arıtma tesisi giriş atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yapılan çalışmalar

Ataköy giriş atıksu numunelerinde jar test çalışmalarında 50-500 mg/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dozları uygulanmıştır. Çizelge 7.32a ve 7.32b'de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yapılan jar test çalışmalarının sonuçları, bu sonuçlara ait çıkış değerleri ile giderme verimleri ise Şekil 7.57-7.61'de verilmiştir. Çizelge 7.33 ve Şekil 7.62'de giriş atıksularında kimyasal ilavesi ile elde edilen ortalama verimlerin uygulanan doza bağlı olarak değişimi görülmektedir.

Çizelge 7.32a ve 7.32b ile Şekil 7.57-7.61'e göre, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ilavesiyle KOİ'de %85, TKN'de %28, TP'de %95, AKM'de %85 ve bulanıklıkta %84 gibi giderme verimine ulaşılabilirdiği görülmektedir. 250-300 mg/l optimum dozlarda ise, KOİ %73, TKN %24, TP %80, AKM %68 ve bulanıklık %59 ortalama verimle giderilmektedir (Çizelge 7.33 ve Şekil 7.62).

Çizelge 7.32a Ataköy tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: Ca(OH)_2)

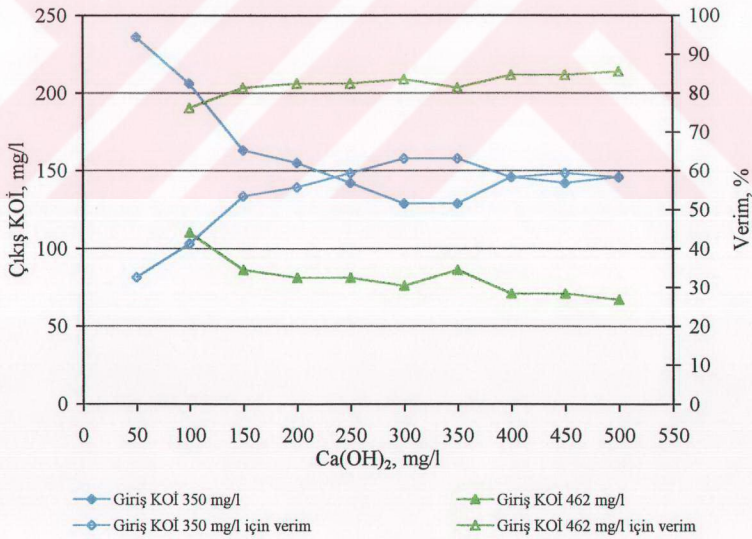
Parametre	Ham numune	Uygulanan doz, mg/l									
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
pH	7,67	8,50	9,09	9,38	9,48	9,65	9,63	9,81	10,16	10,49	11,10
KOI, mg/l	350	236	206	163	155	142	129	129	146	142	146
Verim, %	---	33	41	53	56	59	63	63	58	59	58
TKN, mg/l	44	43	37	37	36	36	35	35	34	35	34
Verim, %	---	3	15	16	17	17	21	21	23	20	22
TP, mg/l	6,16	4,26	3,29	3,45	2,42	1,44	2,04	1,61	1,92	1,91	1,70
Verim, %	---	31	47	44	61	77	67	74	69	69	72
AKM, mg/l	123	87	71	65	61	64	55	64	78	78	84
Verim, %	---	29	42	47	50	48	55	48	37	37	32
Bulan, NTU	89	83	75	65	62	62	55	55	65	62	60
Verim, %	---	7	16	27	30	30	38	38	27	30	33

Çizelge 7.32b Ataköy tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: Ca(OH)_2)

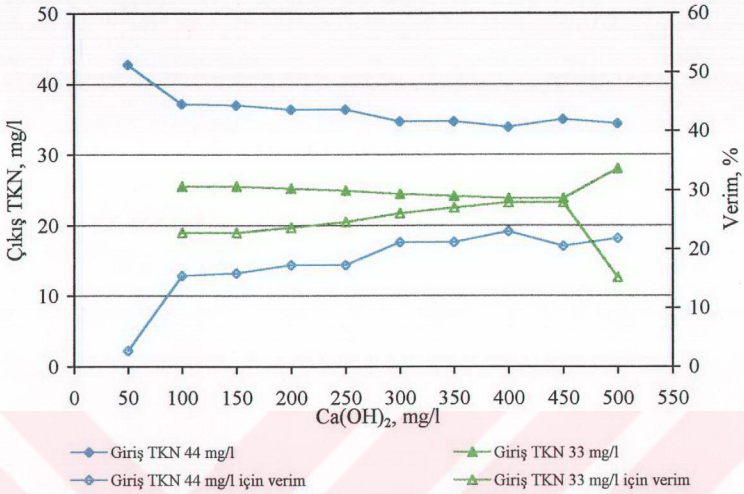
Parametre	Ham numune	Uygulanan doz, mg/l								
		100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	300 mg/l	350 mg/l	400 mg/l	450 mg/l	500 mg/l
pH	7,86	9,58	9,84	10,07	10,16	10,48	10,96	11,45	11,79	11,84
KOİ, mg/l	462	110	86	81	81	76	86	71	71	67
Verim, %	---	76	81	82	82	84	81	85	85	85
TKN, mg/l	33	26	26	25	25	24	24	24	24	28
Verim, %	---	23	23	24	25	26	27	28	28	15
TP, mg/l	6,60	3,35	1,79	1,52	1,09	1,03	0,94	0,71	0,31	0,31
Verim, %	---	49	73	77	83	84	86	89	95	95
PO ₄ -P, mg/l	4,33	0,76	0,45	0,41	0,28	0,20	0,16	<0,10	<0,10	<0,10
Verim, %	---	82	90	91	94	95	96	>98	>98	>98
AKM, mg/l	319	74	74	61	59	63	74	66	48	48
Verim, %	---	77	77	81	82	80	77	79	85	85
Bulan., NTU	163	44	35	30	26	32	40	48	37	34
Verim, %	---	73	79	82	84	80	75	71	77	79

Çizelge 7.33 Ataköy tesisi giriş atıksularında Ca(OH)_2 uygulamasının kirleticileri ortalama giderme verimi

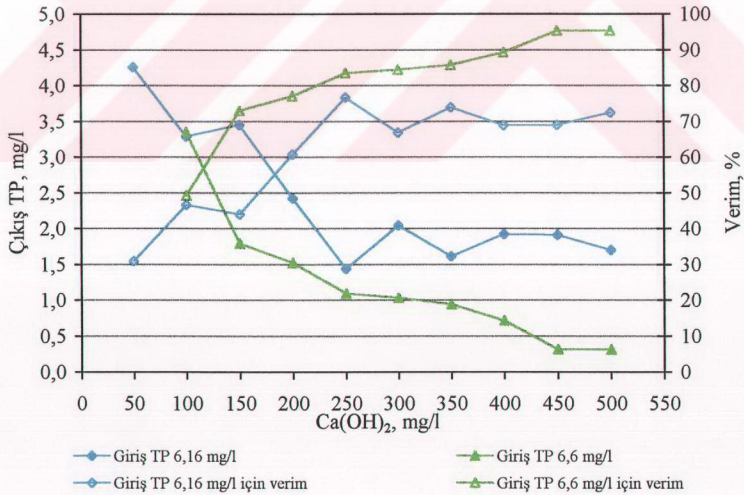
Doz, mg/l	KOİ giderimi %	TKN giderimi %	TP giderimi %	AKM giderimi %	Bulanıklık giderimi, %
50	33	3	31	29	7
100	59	19	48	60	44
150	67	19	58	62	53
200	69	20	69	66	56
250	71	21	80	65	57
300	73	24	76	68	59
350	72	24	80	62	57
400	71	25	79	58	49
450	72	24	82	61	54
500	72	18	84	58	56



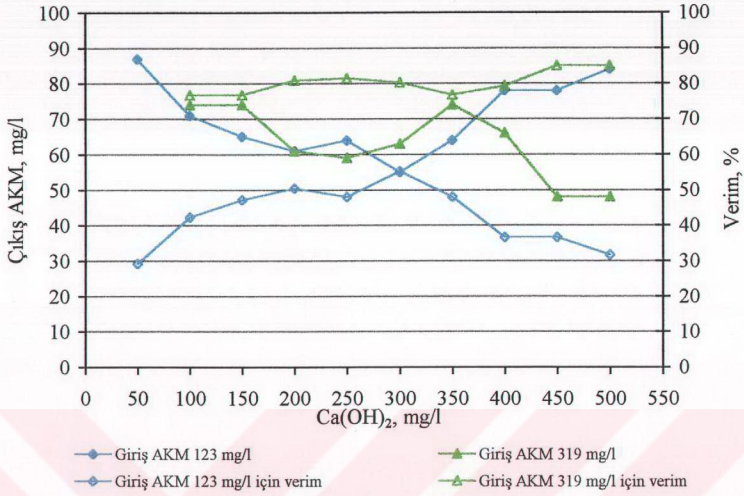
Şekil 7.57 Ataköy tesisi giriş atıksularında Ca(OH)_2 dozuna göre KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



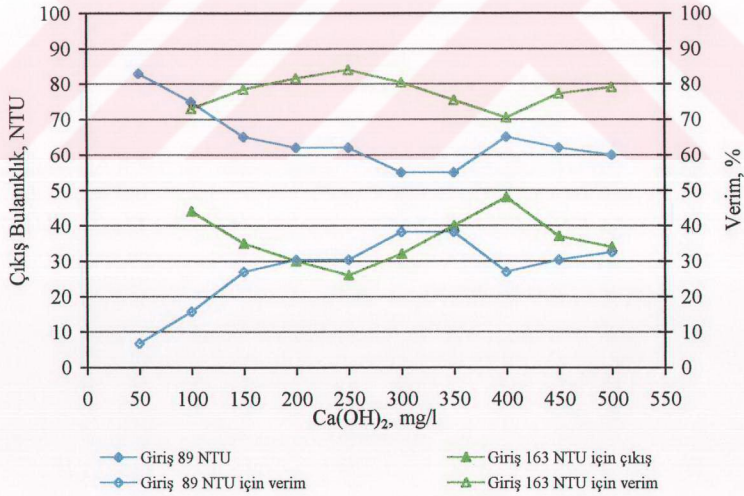
Şekil 7.58 Ataköy tesisi giriş atıksularında Ca(OH)_2 dozuna göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



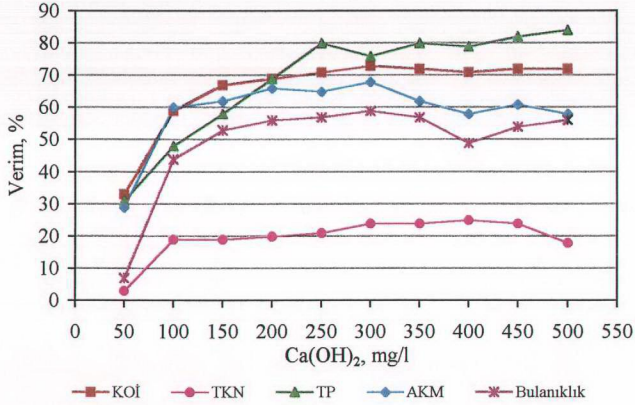
Şekil 7.59 Ataköy tesisi giriş atıksularında Ca(OH)_2 dozuna göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



Şekil 7.60 Ataköy tesisi giriş atıksularında Ca(OH)_2 dozuna göre AKM çıkışı konsantrasyonu ve giderme verimleri



Şekil 7.61 Ataköy tesisi giriş atıksularında Ca(OH)_2 dozuna göre kalan bulanıklık ve giderme verimleri



Şekil 7.62 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ uygulamasıyla oluşan ortalama verimlerin doz ile değişimi

7.3.1.1.4 Ataköy arıtma tesisi giriş atıksularında yardımcı kimyasallar ile yapılan çalışmalar

Bu çalışmalarda, Ataköy tesisi arıtma tesisine gelen atıksular için yapılan jar test deneylerinde $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'e yardımcı olarak, APE ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılmıştır. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 50-250 mg/l doz aralığında kullanılırken; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 300 mg/l, APE ise 0.5 mg/l dozlarında kullanılmıştır. Yapılan testlerin sonuçları Çizelge 7.34-7.35'de ve bu sonuçlara ait grafikler ise Şekil 7.63-7.72'de verilmiştir.

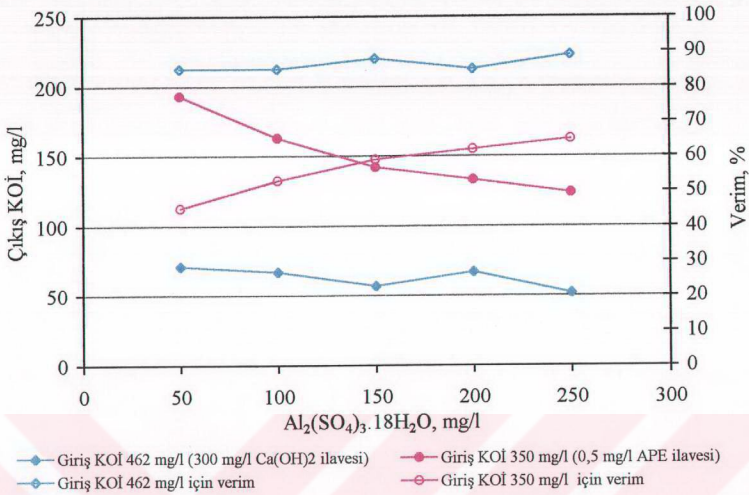
Çizelge 7.37-7.35 ile Şekil 7.63-7.72'ye göre, tesis giriş atıksuları için 50 mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ile 300 mg/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılması halinde KOİ'nin %85, TKN'nin %28, TP'nin %86, AKM'nin %91 ve bulanıklığın %76 verimle giderildiği görülmektedir. 200-250 mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ile 0.5 mg/l APE dozu kullanılmasıyla, KOİ %65, TKN %, TP %83, AKM %79 ve bulanıklık %73 verimle giderilmektedir. Diğer taraftan, 50 mg/l $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve 300 mg/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dozunun birlikte kullanılması ile KOİ'de %85, TKN'de %29, TP'de %88, AKM'de %95 ve bulanıklıkta %67 giderme verimi sağlanmaktadır. 200 mg/l $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ile 0.5 mg/l APE kullanıldığında ise KOİ'de %59, TKN'de %16, TP'de %86, AKM'de %85 ve bulanıklıkta %87 giderme verimi elde edilmektedir. Bu uygulamalarda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in kullanıldığı dozlamlarda TP 1 mg/l'nin altına düşmüştür.

Çizelge 7.34 Ataköy tesisi giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O/FeCl_3 \cdot 6H_2O + Ca(OH)_2$)

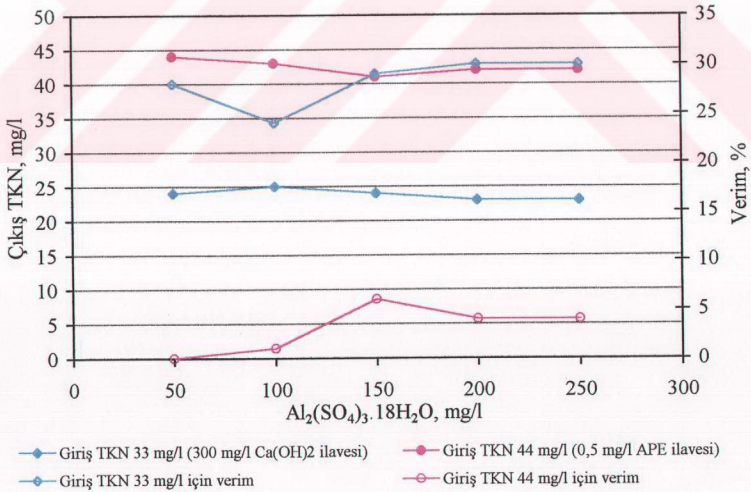
Parametre	Ham numune	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O + 300 \text{ mg/l } Ca(OH)_2$					$FeCl_3 \cdot 6H_2O + 300 \text{ mg/l } Ca(OH)_2$				
		50 mg/l	100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l
pH	7,86	10,14	9,93	9,74	9,65	9,41	10,38	9,99	9,60	9,36	8,91
KOİ, mg/l	462	71	67	57	67	52	71	81	52	48	43
Verim, %	---	85	85	88	85	89	85	82	89	90	91
TKN, mg/l	33	24	25	24	23	23	24	24	24	23	22
Verim, %	---	28	24	29	30	30	29	29	29	30	34
TP, mg/l	6,60	0,91	0,89	0,57	0,40	0,28	0,80	0,59	0,48	0,41	0,28
Verim, %	---	86	87	91	94	96	88	91	93	94	96
$PO_4\text{-P}$, mg/l	4,33	0,28	0,13	<0,10	<0,10	<0,10	0,19	0,18	0,15	<0,10	<0,10
Verim, %	---	94	97	>98	>98	>98	96	96	96	>98	>98
AKM, mg/l	319	30	37	53	50	45	16	67	88	69	66
Verim, %	---	91	88	83	84	86	95	79	72	78	79
Bulan., NTU	163	39	46	68	72	69	54	84	70	55	49
Verim, %		76	72	58	56	58	67	48	57	66	70

Çizelge 7.35 Ataköy giriş atıksularında yapılan jar test çalışması sonuçları (kimyasal: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O/FeCl_3 \cdot 6H_2O + APE$)

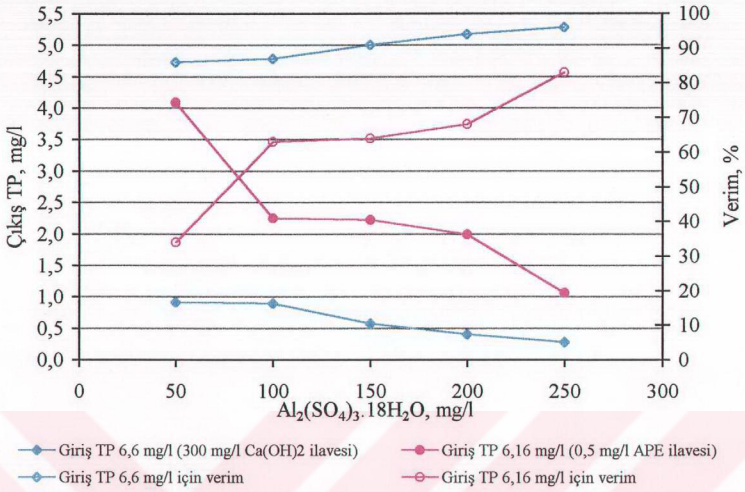
Parametre	Ham numune	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O + 0.5 \text{ mg/l APE}$						$FeCl_3 \cdot 6H_2O + 0.5 \text{ mg/l APE}$					
		50 mg/l	100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l		50 mg/l	100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	
pH	7,67	7,88	7,74	7,65	7,64	7,60		7,88	7,71	7,80	7,51	7,48	
KOl, mg/l	350	193	163	142	133	124		172	155	146	142	120	
Verim, %	---	45	53	59	62	65		51	56	58	59	66	
TKN, mg/l	44	44	43	41	42	42		38	37	37	37	37	
Verim, %	---	0	1	6	4	4		14	16	16	16	16	
TP, mg/l	6,16	4,09	2,25	2,22	1,99	1,06		4,99	2,53	1,83	0,89	1,00	
Verim, %	---	34	63	64	68	83		19	59	70	86	84	
AKM, mg/l	123	81	32	38	26	29		45	28	25	18	20	
Verim, %	---	34	74	69	79	76		63	77	80	85	84	
Bulan, NTU	89	62	37	34	28	24		71	48	31	12	12	
Verim, %		30	58	62	69	73		20	46	65	87	87	



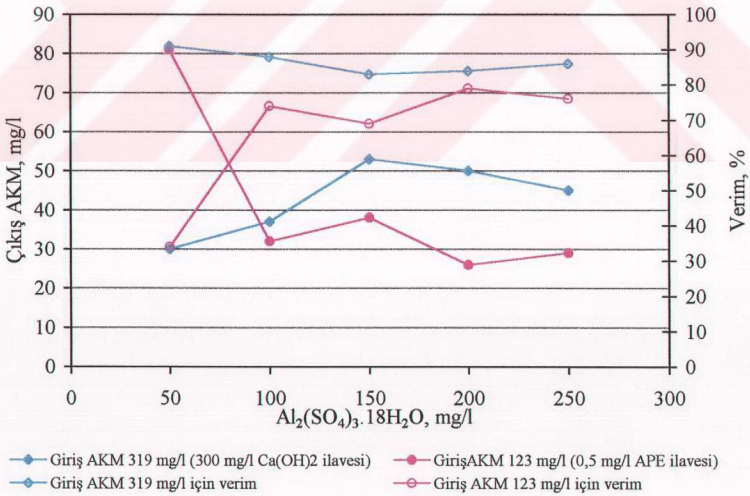
Şekil 7.63 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



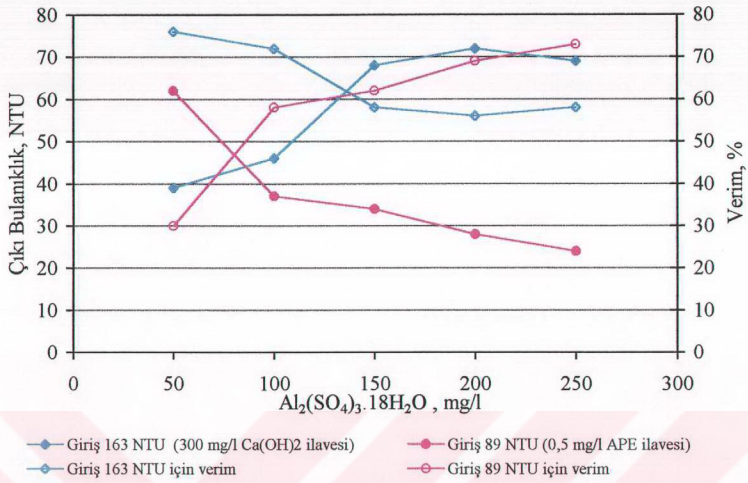
Şekil 7.64 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



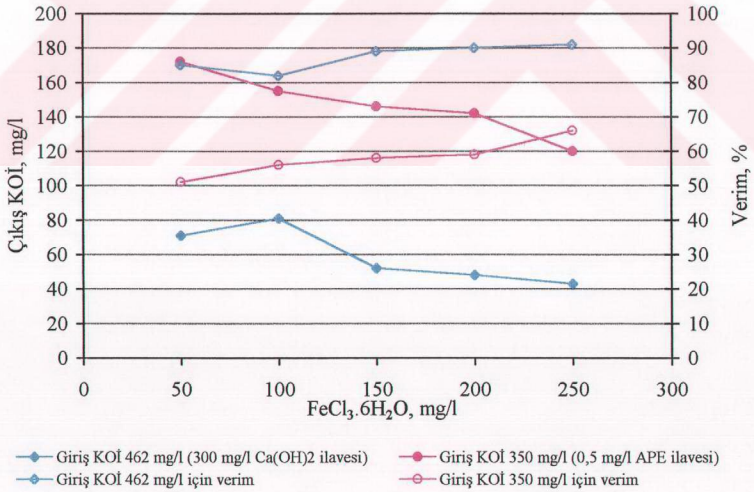
Şekil 7.65 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



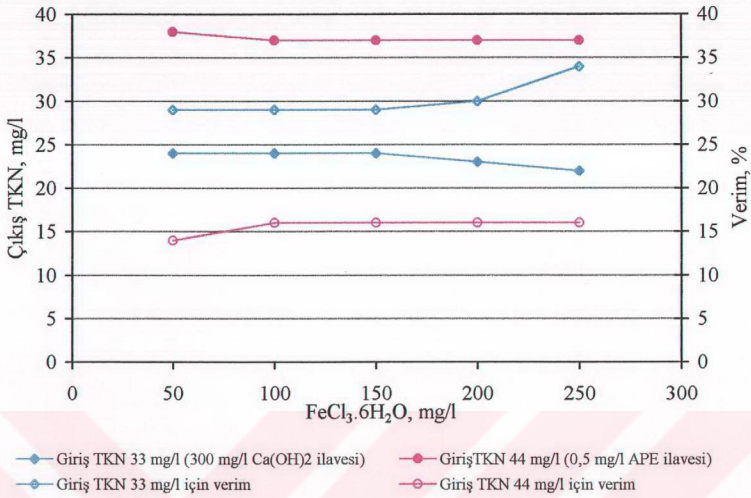
Şekil 7.66 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



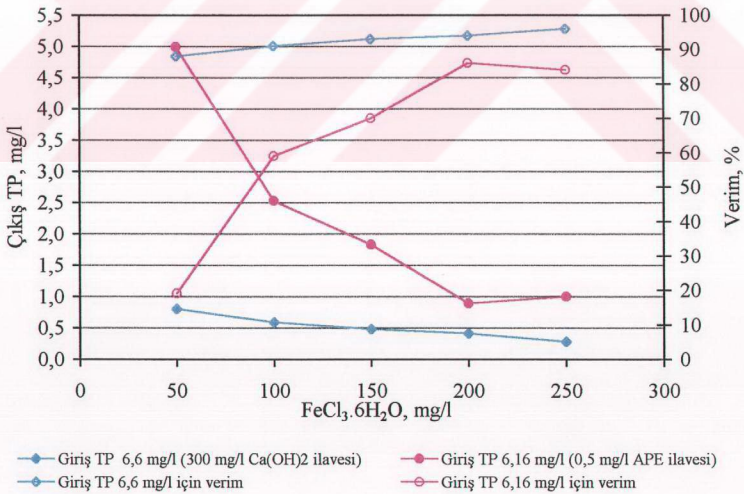
Şekil 7.67 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde çıkış bulanıklığı ve giderme verimleri



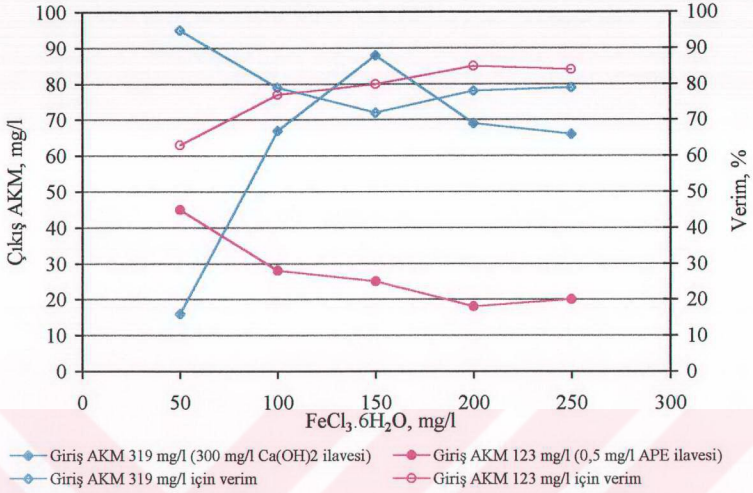
Şekil 7.68 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



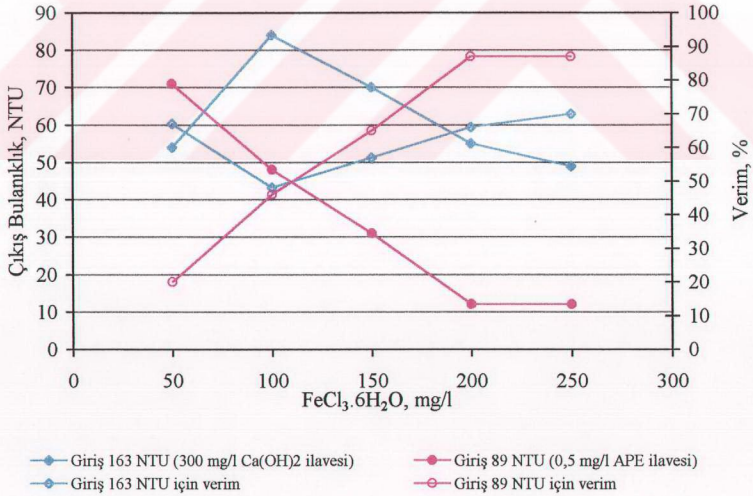
Şekil 7.69 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



Şekil 7.70 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



Şekil 7.71 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



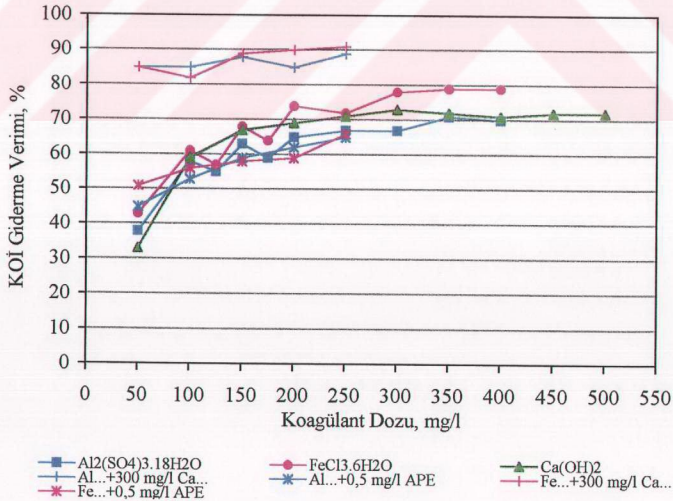
Şekil 7.72 Ataköy tesisi giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + yardımcı kimyasal kullanılması halinde çıkış bulanıklığı ve giderme verimleri

7.3.1.1.5 Ataköy tesisi giriş atıksularının kimyasal arıtılabilirliğinde kullanılan koagülantların mukayesesi

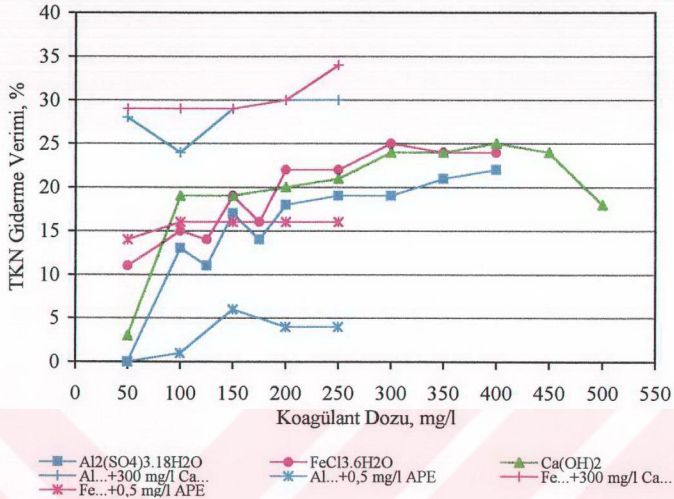
Ataköy giriş atıksularının kimyasal arıtılabilirliğinde kullanılan kimyasala göre, her bir kirlenici parametre için elde edilen verimler Şekil 7.73-7.77’de toplu olarak verilmiştir.

Şekil 7.73-7.77’ye göre, kimyasal koagülantların yardımcı kimyasal ilave etmeden kullanılmaları halinde, en verimli sonuçları $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ilavesi vermektedir. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ile $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ KOİ parametresi dışında diğer parametreler için hemen hemen aynı etkiyi göstermektedir. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, KOİ ve TKN parametrelerini etkili bir şekilde gidermesine rağmen diğer parametreleri iyi bir şekilde giderememektedir.

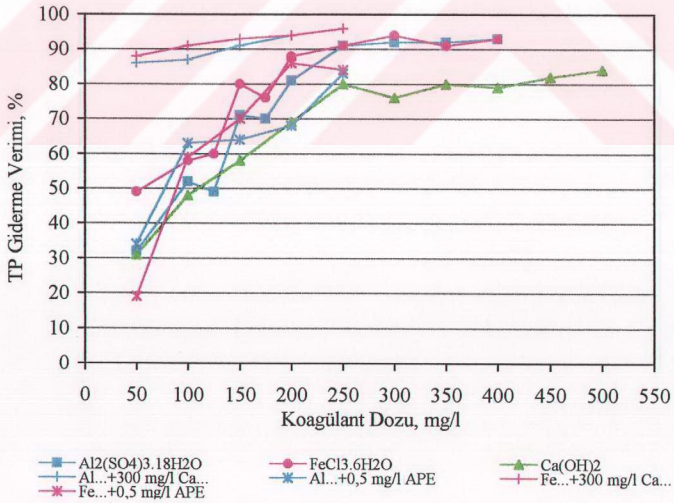
Koagülantların yardımcı kimyasallarla kullanılması durumunda; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yapılan denemelerde KOİ, TKN ve TP parametreleri için diğer kimyasallara göre en yüksek verimin elde edilmesini sağlamıştır. Ancak, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’in kullanımı AKM ve bulanıklık için diğer kimyasallara göre daha düşük verimin oluşmasına sebep olmaktadır. APE ile yapılan testler ise, koagülant kimyasalların tek başına kullanılması haline göre ilave bir verim artışı sağlamamıştır.



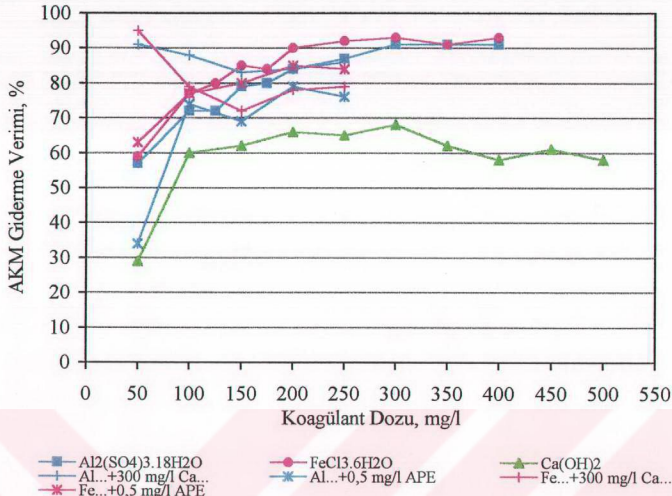
Şekil 7.73 Ataköy tesisi giriş atıksularında kullanılan kimyasala göre KOİ giderme verimi



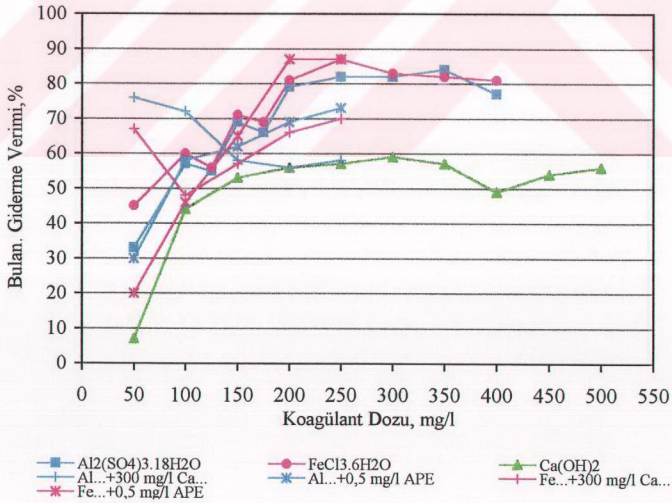
Şekil 7.74 Ataköy tesisi giriş atıksularında kullanılan kimyasala göre TKN giderme verimi



Şekil 7.75 Ataköy tesisi giriş atıksularında kullanılan kimyasala göre TP giderme verimi



Şekil 7.76 Ataköy tesisi giriş atıksularında kullanılan kimyasala göre AKM giderme verimi



Şekil 7.77 Ataköy tesisi giriş atıksularında kullanılan kimyasala göre bulanıklık giderme verimi

7.3.1.1.6 Ataköy tesisi giriş atıksularında kimyasal uygulamanın kirleticilerin çözünmüş ve partiküler kısımları üzerindeki etkisi

Ataköy arıtma tesisi giriş atıksularında kimyasal uygulamanın kirleticilerin çözünmüş ve partiküler kısımları üzerindeki giderme veriminin belirlenmesi amacıyla, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ün 250 mg/l dozunda, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in ise 300 mg/l dozunda jar test çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmaya ait sonuçlar Çizelge 7.40, 7.41 ve 7.42'de verilmiştir.

Kimyasal uygulamaların çözünmüş kısmı giderme verimi KOİ'de %12-28, TKN'de %35-39 ve TP'de %97 iken, partiküler kısmı giderme verimi KOİ için %97-99, TKN için %77-92 ve TP için %37-85 olarak tesbit edilmiştir. Kullanılan kimyasallar TP'nin çözünmüş kısımlarını 0.1 mg/l'nin altına düşürürken partiküler kısımlarında farklı etkiler göstermektedir.

Çizelge 7.36 Ataköy giriş atıksularında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 'ın çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi

Parametre	Numune			Kimyasal uygulamadan sonra					
	Ham	Süzülmüş	Partiküler	Duru faz		Süzülmüş		Partiküler	
				Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%
KOİ, mg/l	660	60	600	57	91	53	12	4	99
TKN, mg/l	36	23	13	17	53	14	39	3	77
TP, mg/l	4,17	2,96	1,21	0,28	93	0,10	97	0,18	85
AKM, mg/l	280	---	---	10	96	---	---	---	---

Çizelge 7.37 Ataköy giriş atıksularında $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ün çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi

Parametre	Numune			Kimyasal uygulamadan sonra					
	Ham	Süzülmüş	Partiküler	Duru faz		Süzülmüş		Partiküler	
				Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%
KOİ, mg/l	660	60	600	67	90	53	12	14	98
TKN, mg/l	36	23	13	16	56	15	35	1	92
TP, mg/l	4,17	2,96	1,21	0,30	93	0,10	97	0,20	83
AKM, mg/l	280	---	---	10	96	---	---	---	---

Çizelge 7.38 Ataköy giriş atıksularında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in çözünmüş ve partiküler kısımlar üzerindeki etkisi

Parametre	Numune			Kimyasal uygulamadan sonra					
	Ham	Süzülmüş	Partiküler	Duru faz		Süzülmüş		Partiküler	
				Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%	Kons.	Verim,%
KOİ, mg/l	660	60	600	62	91	43	28	19	97
TKN, mg/l	36	23	13	17	53	15	35	2	85
TP, mg/l	4,17	2,96	1,21	0,86	79	0,10	97	0,76	37
AKM, mg/l	280	---	---	33	88	---	---	---	---

7.3.1.2 Ataköy arıtma tesisi damlatmalı filtre çıkış suyunda yapılan jar test çalışmaları

Ataköy Biyolojik Arıtma tesisinin damlatmalı filtre ünitesinin çıkışından alınan numunede jar test çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada koagülant 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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılırken, polielektrolit'in yumaklaştırıcı yardımcısı olarak kullanıldığı testler de yapılmıştır. Jar test sonucunda elde edilen duru fazda; pH, KOİ, TKN, TP, $\text{PO}_4\text{-P}$, AKM ve bulanıklık deneyleri yapılmıştır. Çalışmalarda, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 50-250 mg/l, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 50-350 mg/l dozlarında kullanılırken, yardımcı kimyasalın kullanıldığı çalışmada $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 50-200 mg/l arasında kullanılmıştır. Çalışmalardan elde edilen neticeler Çizelge 7.39-7.42'de ve bu sonuçlara ait grafikler de Şekil 7.78-7.87'de verilmiştir. Çizelgelerdeki verim hesapları giriş atıksuyuna göre yapılmıştır.

Çizelge 7.39-7.42 ile Şekil 7.78-7.87'ye göre;

- 150-200 mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ilavesi yapılarak KOİ'de %89, TKN'de %57, TP'de %85, $\text{PO}_4\text{-P}$ 'de %97, AKM'de %94 ve bulanıklıkta %92 gibi yüksek giderme verimlerine ulaşabilmektedir. Bu dozların kullanılması ile TP 1 mg/l'nin altına düşmektedir.
- $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ün 200 mg/l dozlarında; KOİ %88, TKN %52, TP %90, $\text{PO}_4\text{-P}$ %98, AKM %92 ve bulanıklık %86 gibi yüksek verimlerle giderilebilmektedir. 150 mg/l'nin üstündeki dozlarda TP konsantrasyonu 1 mg/l'nin altına düşmektedir.

Çizelge 7.39 Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ile yapılan jar test çalışması sonuçları

Parametre	Tesis giriş numunesi	Jar test numunesi	Uygulanan doz				
			50 mg/l	100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l
pH	7,75	8,34	7,85	7,73	7,20	7,44	7,15
KOI, mg/l	286	97	51	46	37	32	32
Verim, %	---	---	82	84	87	89	89
TKN,mg/l	44	27	24	22	21	19	22
Verim, %	---	---	45	50	52	57	50
TP, mg/l	4,98	5,74	2,55	1,51	0,90	0,74	0,46
Verim, %	---	---	49	70	82	85	91
PO ₄ -P, mg/l	4,71	4,71	2,36	0,99	0,28	0,14	0,15
Verim, %	---	---	50	79	94	97	97
AKM,mg/l	202	45	36	22	20	13	13
Verim, %	---	---	82	89	90	94	94
Bulan., NTU	120	34	22	16	13	10	10
Verim, %	---	---	82	87	89	92	92

Çizelge 7.40 Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ile yapılan jar test çalışması sonuçları

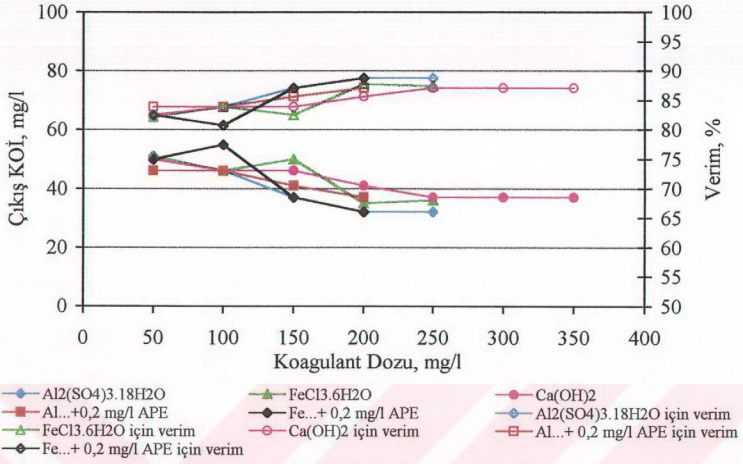
Parametre	Tesis giriş numunesi	Jar test numunesi	Uygulanan doz				
			50 mg/l	100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l
pH	7,75	8,34	7,90	7,53	7,43	7,22	7,12
KOI, mg/l	286	97	51	46	50	35	36
Verim, %	---	---	82	84	83	88	87
TKN,mg/l	44	27	24	23	22	21	20
Verim, %	---	---	47	48	49	52	55
TP, mg/l	4,98	5,74	0,80	1,11	0,79	0,49	0,44
Verim, %	---	---	84	78	84	90	91
PO ₄ -P, mg/l	4,71	4,71	2,39	0,69	0,19	0,11	0,10
Verim, %	---	---	49	85	96	98	98
AKM,mg/l	202	45	27	16	17	17	15
Verim, %	---	---	87	92	92	92	93
Bulan., NTU	120	34	23	17	14	17	13
Verim, %	---	---	81	86	88	86	89

Çizelge 7.41 Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyuunda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yapılan jar test çalışması sonuçları

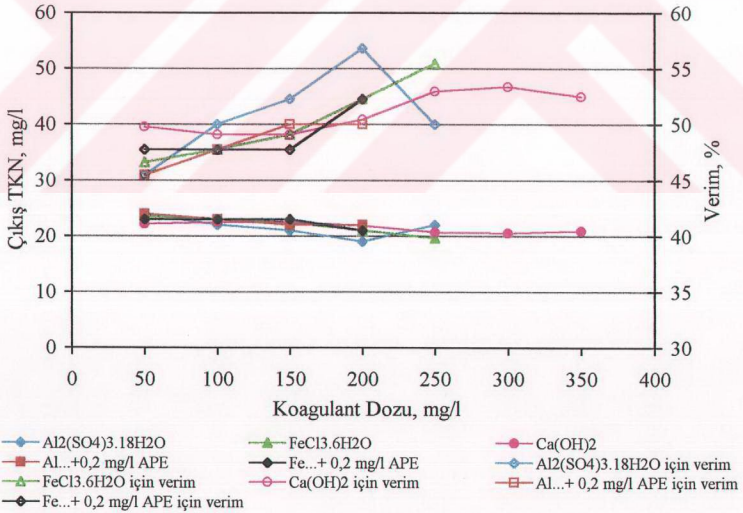
Parametre	Tesis giriş numunesi	Jar test numunesi	Uygulanan doz							
			50 mg/l	100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	300 mg/l	350 mg/l	
pH	7,75	8,34	9,33	9,62	9,83	10,11	11,09	11,02	11,49	
KOI, mg/l	286	97	50	46	46	41	37	37	37	
Verim, %	---	---	83	84	84	86	87	87	87	
TKN, mg/l	44	27	22	22	22	22	21	21	21	
Verim, %	---	---	50	49	49	50	53	53	53	
TP, mg/l	4,98	5,74	2,93	1,50	1,70	2,00	1,00	1,00	1,00	
Verim, %	---	---	41	70	66	66	71	77	83	
$\text{PO}_4\text{-P}$, mg/l	4,71	4,71	1,31	0,84	0,62	0,52	0,10	0,10	0,10	
Verim, %	---	---	72	82	87	89	98	98	98	
AKM, mg/l	202	45	39	40	41	42	41	43	42	
Verim, %	---	---	81	80	80	79	80	79	79	
Bulan, NTU	120	34	31	30	32	33	33	33	31	
Verim, %	---	---	74	75	73	73	73	73	74	

Çizelge 7.42 Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çöküş suyunda APE'nin yardımcı kimyasal olarak kullanıldığı jar test çalışması sonuçları

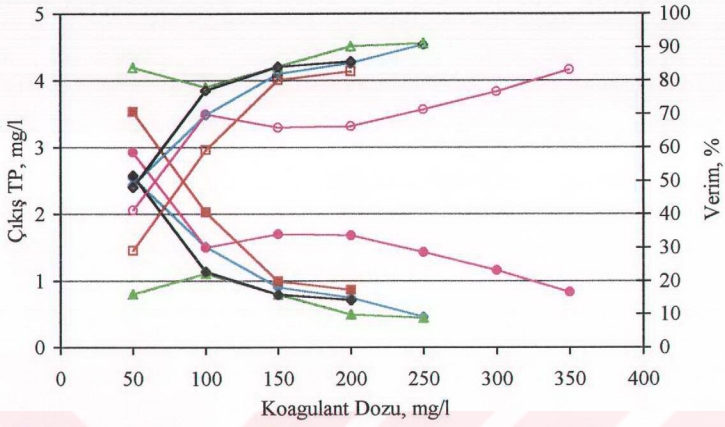
Parametre	Tesis giriş numunesi	Jar test numunesi	Al ₂ (SO ₄) ₃ . 18H ₂ O + 0.2 mg/l APE				FeCl ₃ . 6H ₂ O + 0.2 mg/l APE			
			50 mg/l	100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l
pH	7,75	8,34	8,03	7,70	7,48	7,05	7,93	7,71	7,37	7,21
KOI, mg/l	286	97	46	46	41	37	50	55	37	32
Verim, %	---	---	84	84	86	87	83	81	87	89
TKN, mg/l	44	27	24	23	22	22	23	23	23	21
Verim, %	---	---	45	48	50	50	48	48	48	52
TP, mg/l	4,98	5,74	4,00	2,03	0,99	0,86	2,58	1,14	0,79	0,71
Verim, %	---	---	29	59	80	83	48	77	84	86
PO ₄ -P, mg/l	4,71	4,71	2,20	0,99	0,26	0,14	2,12	0,75	0,23	0,16
Verim, %	---	---	53	79	94	97	55	84	95	97
AKM, mg/l	202	45	31	23	19	15	24	24	16	18
Verim, %	---	---	85	89	91	93	88	88	92	91
Bulan., NTU	120	34	20	17	12	12	24	17	14	12
Verim, %	---	---	83	86	90	90	80	86	88	90



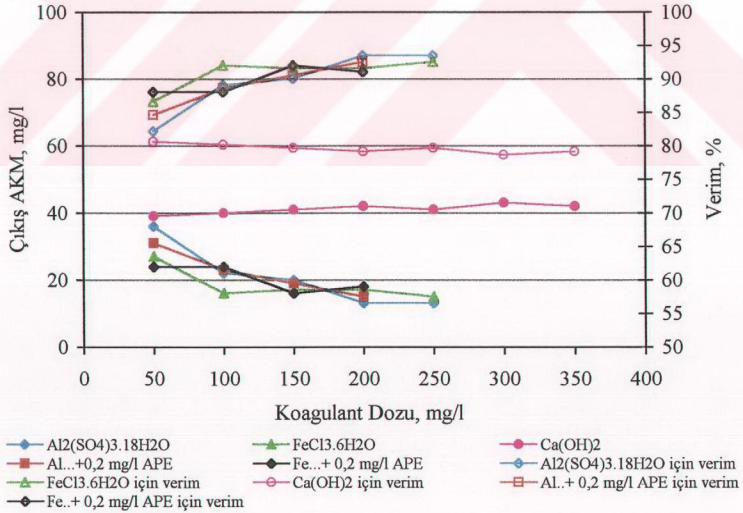
Şekil 7.78 Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyu kimyasallara göre KOİ çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



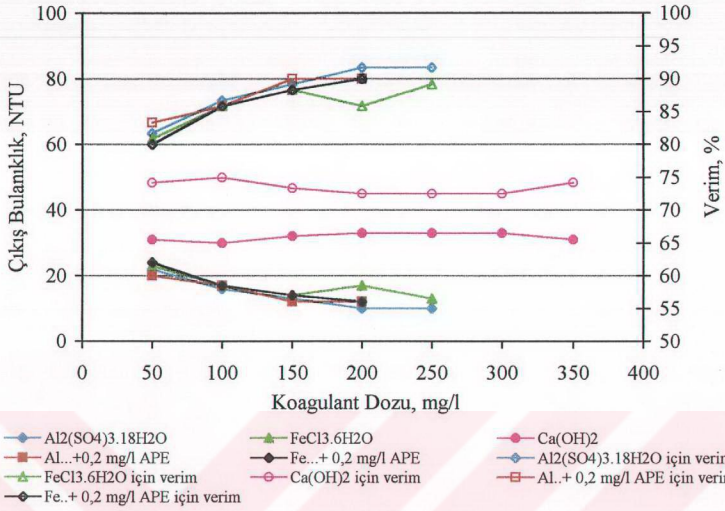
Şekil 7.79 Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyu kimyasallara göre TKN çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



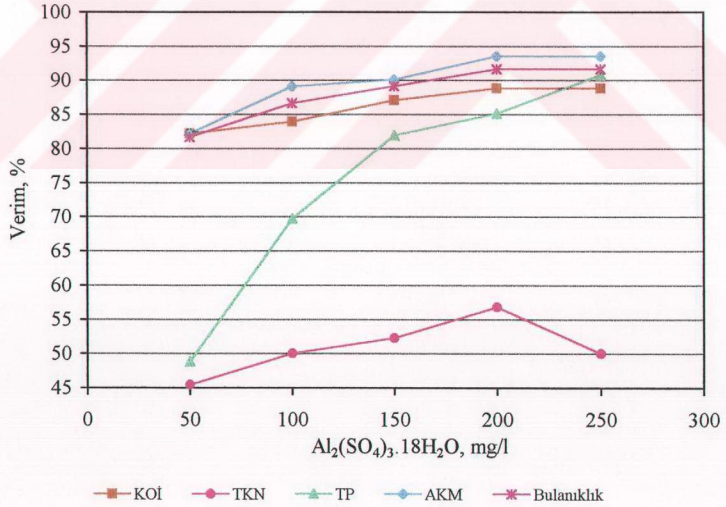
Şekil 7.80 Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda kullanılan kimyasallara göre TP çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



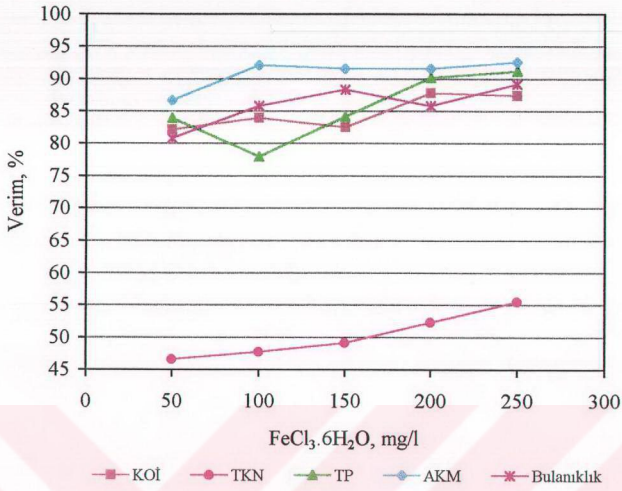
Şekil 7.81 Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda kullanılan kimyasallara göre AKM çıkış konsantrasyonu ve giderme verimleri



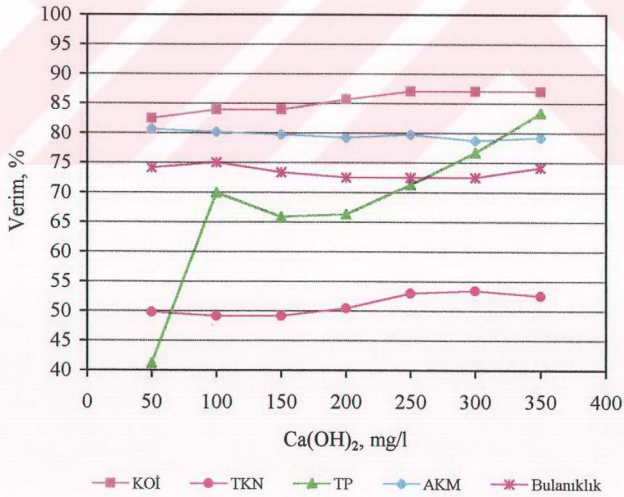
Şekil 7.82 Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda kullanılan kimyasallara göre çıkışta bulanıklık değerleri ve giderme verimleri



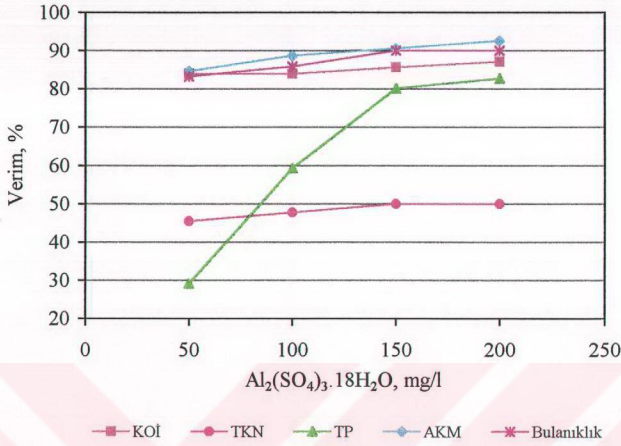
Şekil 7.83 Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ uygulamasının kirlenmecileri giderme verimi



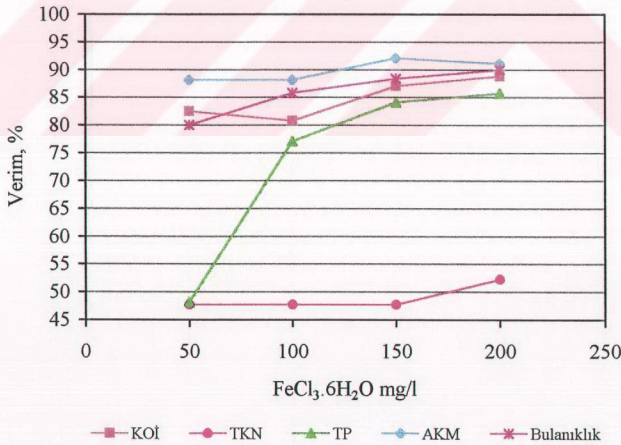
Şekil 7.84 Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ uygulamasının kirlenimleri giderme verimi



Şekil 7.85 Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda Ca(OH)_2 uygulamasının kirlenimleri giderme verimi



Şekil 7.86 Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O} + 0.2$ mg/l APE uygulamasının kirlenici giderme verimi



Şekil 7.87 Ataköy tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyunda $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 0.2$ mg/l APE uygulamasının kirlenici giderme verimi

- Ca(OH)_2 200-250 mg/l dozlandığında; KOİ'nin %87'si, TKN'nin %53'ü, TP'nin %71'i, $\text{PO}_4\text{-P}$ 'nin %98'i, AKM'nin %80'i ve bulanıklığın %73'ü giderilebilmektedir. Ca(OH)_2 'in 250 mg/l'den yüksek dozlarında TP ancak 1 mg/l'ye düşmektedir.
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ veya $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ile birlikte APE'nin kullanılması, sadece koagülant kimyasalların kullanılması durumuna göre ilave bir verim artışı sağlamamıştır.

7.3.2 Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisinde tam ölçekte yapılan çalışma sonuçları

Evsel atıksuların kimyasal ilavesiyle arıtımının tam ölçekte araştırılması Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisinde gerçekleştirilmiştir. Arıtma tesisine kimyasal ilavesi, kum tutucudan sonraki kanalda ve hızlı karıştırmayı sağlamak için, yeterli türbülansın olduğu noktada yapılmıştır (Şekil 7.88). Çalışma süresince, özellikleri Çizelge 7.43'te verilen Tip III teknik alüminyum sülfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) koagülant olarak kullanılmıştır. Alüminyum sülfat %22.5-32.9 sulu çözelti halinde hazırlanmıştır. Kimyasal dozlama için 2 adet peristaltik pompa kullanılmıştır. Pompalar, jar test çalışmalarında elde edilen optimum doz civarında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ 'ı ortalama 300 m³/saat'lik debiye verebilecek şekilde çalıştırılmıştır. Kimyasal uygulama süresince tesis girişinden, ön çöktürme çıkışından ve tesis çıkışından 24 saatlik kompozit numuneler alınmıştır. Tesisten alınan numunelerde; KOİ, TKN, TP, $\text{PO}_4\text{-P}$, AKM ölçümleri yapılmıştır. Tesisin ön çöktürme havuzu çıkışında kimyasal uygulamanın etkisi görülünceye kadar numuneler günlük alınmış (ilk 6 gün), daha sonra ise muhtelif zamanlarda alınmıştır. Uygulama süresince yapılan ölçümler ile uygulama sonucu tesiste oluşan verimler Çizelge 7.44-7.48'de ve bu ölçümlere ait grafikler ise Şekil 7.89-7.93'de verilmiştir.

Çizelge 7.43 Ataköy arıtma tesisinde kimyasal ilavesi süresince kullanılan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ 'ın teknik özellikleri (TS 1867, Mart 1975)

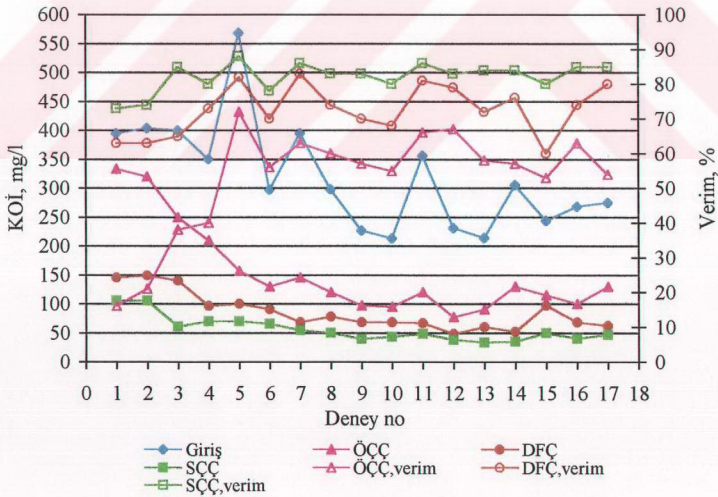
Özellikler	Tip III
Alüminyum (Al_2O_3 olarak), % en az	14
Suda çözünmeyen madde, % en çok	0.3
Demir (Fe olarak), % en çok	1.5
pH, en az	2.5



Şekil 7.88 Ataköy biyolojik arıtma tesisinde kimyasalın uygulandığı nokta

Çizelge 7.44 Ataköy arıtma tesisinde kimyasal uygulama süresince KOİ ölçümleri ve elde edilen verimler

Deney no	Giriş mg/l	Ön çöktürme çıkışı		Damlatmalı filtre çıkışı		Son çöktürme çıkışı	
		mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
1	395	333	16	145	63	105	73
2	404	320	21	149	63	105	74
3	400	250	38	140	65	61	85
4	350	210	40	96	73	70	80
5	568	157	72	100	82	70	88
6	297	130	56	90	70	65	78
7	395	145	63	68	83	54	86
8	298	120	60	78	74	50	83
9	227	97	57	68	70	39	83
10	213	95	55	68	68	43	80
11	356	120	66	67	81	48	86
12	231	77	67	48	79	38	83
13	214	90	58	60	72	33	84
14	305	130	57	52	76	35	84
15	244	115	53	97	60	50	80
16	268	100	63	68	74	40	85
17	275	130	54	62	80	47	85



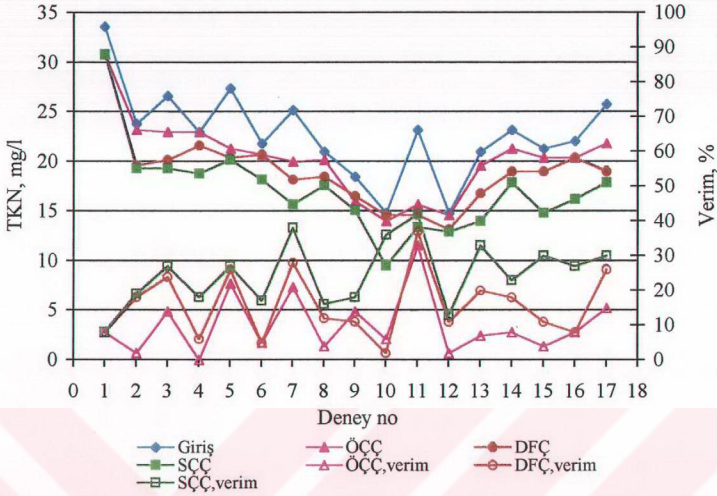
Şekil 7.89 Ataköy arıtma tesisine kimyasal ilavesi ile tesisteki KOİ değişimi ve giderme verimi

Çizelge 7.44 ve Şekil 7.89'a göre, tesiste kimyasal ilavesine başladıktan sonra ilk dört gün ön çöktürme çıkışındaki KOİ konsantrasyonunun düşme eğilimine girdiği ve daha sonraki ölçümlerde 77 ile 157 mg/l arasında salınım gösterdiği görülmektedir. Bu ölçümlerde ortalama KOİ konsantrasyonu 115 mg/l ve ortalama verim %60 olarak tesbit edilmiştir. Sadece damlatmalı filtre ünitesinin verimi ortalama %41, damlatmalı filtre ünitesi sonuna kadar tesisin toplam verimi ise ortalama %75 olarak gerçekleşmiştir. Diğer taraftan, ikinci günden sonra son çöktürme çıkışında KOİ konsantrasyonu 33-70 mg/l arasında ve tesisin toplam verimi de %78 ile %88 arasında değişmiştir. Ortalama KOİ konsantrasyonu 47 mg/l olarak hesaplanırken, ortalama verim %84 olarak tesbit edilmiştir.

Biyolojik arıtma esnasındaki sonuçlara göre ön çöktürmedeki ortalama %46 olan KOİ giderme verimi, kimyasal ilavesinden sonra %60'a, damlatmalı filtreden sonra %67'den %75'e, son çöktürmede ise %72'den %84'e yükselmiştir. Diğer taraftan, son çöktürme'den sonra KOİ konsantrasyonu ortalama 72 mg/l'den 47 mg/l mertebelerine düşmüştür. Bunun yanında çıkış suyu KOİ konsantrasyonu çok değişken özellik göstermemektedir.

Çizelge 7.45 Ataköy arıtma tesisinde kimyasal uygulama süresince TKN ölçümleri ve elde edilen verimler

Deney no	Giriş mg/l	Ön çöktürme çıkışı		Damlatmalı filtre çıkışı		Son çöktürme çıkışı	
		mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
1	34	31	8	31	8	31	8
2	24	23	2	20	18	19	19
3	27	23	14	20	24	19	27
4	23	23	0	22	6	19	18
5	27	21	22	20	26	20	27
6	22	21	5	21	5	18	17
7	25	20	21	18	28	16	38
8	21	20	4	19	12	18	16
9	19	16	14	17	11	15	18
10	15	14	6	15	2	10	36
11	23	16	33	15	37	13	42
12	15	15	2	13	11	13	13
13	21	20	7	17	20	14	33
14	23	21	8	19	18	18	23
15	21	20	4	19	11	15	30
16	22	20	8	20	8	16	27
17	26	22	15	19	26	18	30



Şekil 7.90 Ataköy arıtma tesisine kimyasal ilavesi ile testteki TKN değişimi ve giderme verimi

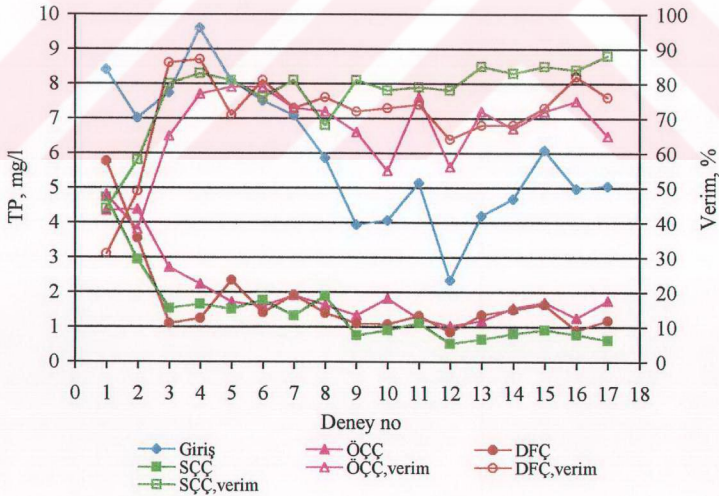
Çizelge 7.45 ve Şekil 7.90'dan; kimyasal ilavesiyle TKN giderme veriminin, ön çöktürme çıkışında ortalama %11, damlatmalı filtre çıkışında ortalama %16 ve son çöktürme çıkışında ortalama %25 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Uygulama ile biyolojik arıtmada elde edilen verimlere göre önemli bir artış olmadığı tesbit edilmiştir.

Çizelge 7.46 ve Şekil 7.91'e göre, testte kimyasal uygulama ile ilk dört gün TP gideriminin tam olarak gerçekleşmediği, daha sonra ön çöktürmede 1.03 ile 1.90 mg/l arasında çıkış konsantrasyonu oluşurken ortalama %70 civarında giderme veriminin elde edildiği görülmektedir. Damlatmalı filtre çıkışında ön çöktürmeye göre %3 daha fazla TP giderme verimi gerçekleşmiştir. Son çöktürme çıkışında ise ikinci günden itibaren etkisini gösteren kimyasal ilavesi ile ortalama %81'lik giderme verimine ulaşılmıştır. Bu uygulama ile son çöktürmede ortalama 1 mg/l çıkış konsantrasyonu elde edilmiştir.

Biyolojik arıtma esnasında ön çöktürmede %25, damlatmalı filtrede %15 ve son çöktürmede %11 gibi ortalama giderme verimleri ile kimyasal ilavesinden sonraki verimler mukayese edildiğinde TP gideriminde önemli bir artış olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.46 Ataköy arıtma tesisinde kimyasal uygulama süresince TP ölçümleri ve elde edilen verimler

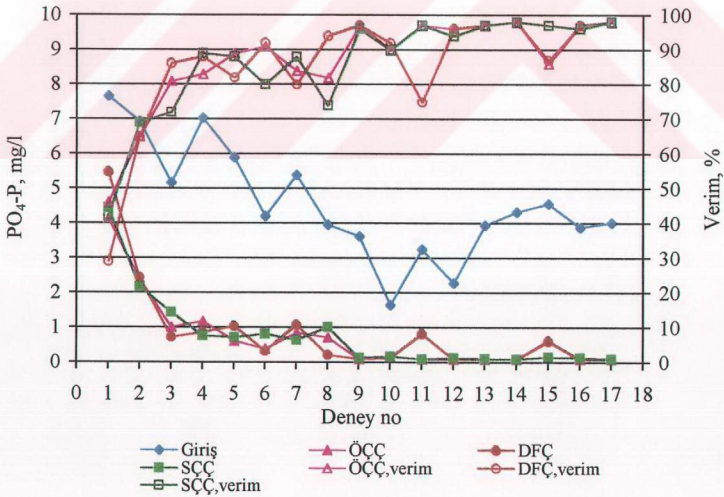
Deney no	Giriş mg/l	Ön çöktürme çıkışı		Damlatmalı filtre çıkışı		Son çöktürme çıkışı	
		mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
1	8,41	4,35	48	5,77	31	4,72	44
2	7,01	4,38	38	3,55	49	2,94	58
3	7,74	2,72	65	1,10	86	1,53	80
4	9,60	2,24	77	1,25	87	1,65	83
5	8,10	1,71	79	2,35	71	1,51	81
6	7,51	1,59	79	1,41	81	1,77	76
7	7,09	1,90	73	1,92	73	1,32	81
8	5,86	1,63	72	1,39	76	1,89	68
9	3,94	1,33	66	1,10	72	0,75	81
10	4,06	1,81	55	1,08	73	0,90	78
11	5,15	1,23	76	1,32	74	1,11	79
12	2,35	1,03	56	0,85	64	0,52	78
13	4,20	1,17	72	1,35	68	0,64	85
14	4,68	1,54	67	1,50	68	0,80	83
15	6,09	1,70	72	1,64	73	0,91	85
16	4,97	1,26	75	0,90	82	0,78	84
17	5,05	1,75	65	1,19	76	0,62	88



Şekil 7.91 Ataköy arıtma tesisine kimyasal ilavesi ile testesteki TP değişimi ve giderme verimi

Çizelge 7.47 Ataköy arıtma tesisinde kimyasal uygulama süresince $\text{PO}_4\text{-P}$ ölçümleri ve elde edilen verimler

Deney no	Giriş mg/l	Ön çöktürme çıkışı		Damlatmalı filtre çıkışı		Son çöktürme çıkışı	
		mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
1	7,67	4,14	46	5,47	29	4,44	42
2	6,94	2,40	65	2,44	65	2,17	69
3	5,17	1,01	81	0,73	86	1,45	72
4	7,04	1,19	83	0,86	88	0,76	89
5	5,90	0,62	89	1,04	82	0,72	88
6	4,21	0,40	91	0,33	92	0,82	80
7	5,39	0,85	84	1,08	80	0,64	88
8	3,96	0,71	82	0,22	94	1,01	74
9	3,63	<0,10	>97	<0,10	>97	0,14	96
10	1,66	0,17	90	0,13	92	0,17	90
11	3,26	<0,10	>97	0,82	75	0,10	97
12	2,29	<0,10	>96	<0,10	>96	0,13	94
13	3,95	<0,10	>97	<0,10	>97	0,11	97
14	4,33	<0,10	>98	<0,10	>98	<0,10	>98
15	4,57	0,64	86	0,16	87	0,16	97
16	3,89	<0,10	>97	0,14	98	0,14	96
17	4,03	<0,10	>98	<0,10	>98	<0,10	>98



Şekil 7.92 Ataköy arıtma tesisine kimyasal ilavesi ile testteki $\text{PO}_4\text{-P}$ değişimi ve giderme verimi

Çizelge 7.47 ve Şekil 7.92'ye göre, kimyasal uygulamanın yapıldığı ilk dört gün $PO_4\text{-P}$ gideriminin etkili bir şekilde gerçekleşmediği, daha sonraki ölçümlerde ön çöktürmede 0.10-0.85 mg/l arasında çıkış konsantrasyonu oluşurken ortalama %93 civarında giderme veriminin elde edildiği görülmektedir. Damlatmalı filtre ve son çöktürme çıkışında ilave bir giderme verimi gerçekleşmemiştir.

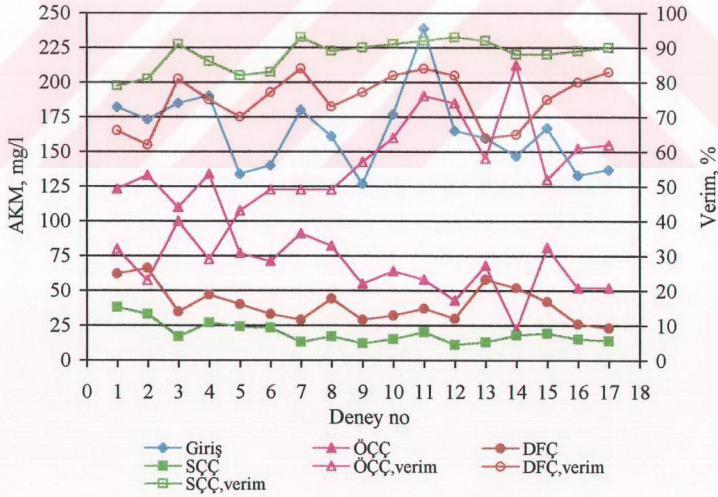
Biyolojik arıtma esnasında ön çöktürmede %14, damlatmalı filtrede %2 ve son çöktürmede %0 gibi ortalama giderme verimleri ile kimyasal ilavesinden sonraki verimler mukayese edildiğinde $PO_4\text{-P}$ gideriminde önemli bir artış olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.48 ve Şekil 7.93'e göre, kimyasal ilavesinin yapıldığı ilk dört gün AKM'de de etkili bir verim söz konusu değildir. Uygulamanın ilerleyen safhalarında ise ön çöktürmede 22-91 mg/l arasında çıkış konsantrasyonu oluşurken ortalama %60 civarında giderme verimi elde edilmiştir. Damlatmalı filtreden sonra ortalama %77 verim meydana gelmiştir. Son çöktürme çıkışında ikinci günden itibaren etkili olan kimyasal ilavesi ile AKM konsantrasyonu 11-27 mg/l arasında ve tesisin toplam verimi de %82-93 arasında değişmiştir. Ortalama AKM konsantrasyonu 16 mg/l olarak hesaplanırken, ortalama verim %89 olarak tesbit edilmiştir.

Biyolojik arıtma esnasında ön çöktürmede %48, damlatmalı filtrede %75 ve son çöktürmede %80 gibi ortalama giderme verimleri kimyasal ilavesinden sonra, sırasıyla %60, %77 ve %89 gibi değerlere yükselmiştir. Aynı zamanda, biyolojik halde son çöktürmede ortalama 34 mg/l AKM çıkış konsantrasyonu, kimyasal uygulama ile 16 mg/l seviyelerine düşmüştür.

Çizelge 7.48 Ataköy arıtma tesisinde kimyasal uygulama süresince AKM ölçümleri ve elde edilen verimler

Deney no	Giriş mg/l	Ön çöktürme çıkışı		Damlatmalı filtre çıkışı		Son çöktürme çıkışı	
		mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
1	182	123	32	62	66	38	79
2	173	133	23	66	62	33	81
3	185	110	40	35	81	17	91
4	190	134	29	47	75	27	86
5	134	77	43	40	70	24	82
6	140	71	49	33	77	23	83
7	180	91	49	29	84	13	93
8	161	82	49	44	73	17	89
9	127	55	57	29	77	12	90
10	177	64	64	32	82	15	91
11	239	58	76	37	84	20	92
12	165	43	74	30	82	11	93
13	160	68	58	58	64	13	92
14	147	22	85	52	65	18	88
15	167	81	52	42	75	19	88
16	133	52	61	26	80	15	89
17	137	52	62	23	83	14	90



Şekil 7.93 Ataköy arıtma tesisine kimyasal ilavesi ile tesisteki AKM değişimi ve giderme verimi

7.3.3 Evsel atıksuların kimyasal arıtımı ile oluşan çamurların susuzlaşabilirlik özelliklerinin belirlenmesi çalışmalarının neticeleri

Evsel atıksuların kimyasal arıtımı ile oluşan çamurların susuzlaşabilirlik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, Ataköy Arıtma Tesisinden kimyasal uygulama öncesi ve sonrası çamur numuneleri alınmıştır. Bu numunelerde pH, sıcaklık ve TKM parametrelerinin ölçümleri yapılmıştır. Çamurun susuzlaşabilirlik özelliklerinin tesbiti için; çamur şartlandırılmadan önce ve şartlandırıldıktan sonra, özgül direnç ve kapiler emme süresi (CST) deneyleri yapılmıştır. Çamur şartlandırma deneyleri için $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ (TS 1867, Tip III), $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve polielektrolit kullanılmıştır.

7.3.3.1 Kimyasal arıtma sonucu oluşan çamur miktarının tesbiti

Kimyasal arıtma ile oluşacak çamur miktarının tesbiti için, laboratuvarında 80, 160 ve 240 mg /l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozu kullanılarak jar test deneyleri yapılmıştır.

Jar test deneylerinde kullanılan numunede; pH, toplam alkalinite, AKM, TÇM (toplam çözünmüş madde), $\text{PO}_4\text{-P}$ ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucu elde edilen deney neticeleri 7.49'da verilmiştir.

Çizelge 7.49 Kimyasal arıtma ile oluşacak çamurun tesbiti için kullanılan numunenin analiz sonuçları

pH	Toplam alkalinite mg CaCO_3 /l	AKM mg/l	TÇM mg/l	$\text{PO}_4\text{-P}$ mg/l
7,43	220	150	1100	5,0

Jar test çalışmalarında, hızlı karıştırma işlemi 100 devir/dk.'da 1 dk. ve yavaş karıştırma işlemi 30 devir/dk.'da 30 dk. süreyle yapılmıştır. Hızlı karıştırma ve yavaş karıştırma işlemleri gerçekleştirilen karışım İmhoff konisine konulmuş ve 1 saat süre ile çöktürülmüştür. Çökme işlemi gerçekleştiğinde; oluşan çamur hacimleri okunarak, üst

durdu fazdan numune alınmıştır. Duru faz numunesinde pH, toplam alkalinite ve AKM tayinleri yapılmıştır. Daha sonra, üst duru faz çökelen çamurları kaçırmayacak şekilde atılmış ve kalan sulu çamurda TKM deneyi yapılmıştır. TKM, 1 lt atıksudan oluşan katı maddenin ağırlığı cinsinden tesbit edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 7.50’de verilmiştir.

Çizelge 7.50 Kimyasal arıtma ile oluşacak çamur miktarının tesbiti için yapılan deneylerin sonuçları

$Al_2(SO_4)_3$ dozu, mg/l	pH	Oluşan sulu çamur, ml	Toplam alk. mg $CaCO_3$ /l	AKM mg/l	TKM için alınan sulu çamur numunesi, ml	TKM, mg/l atıksu
80	7,11	15	190	48	40	176
160	6,76	27	160	23	60	229
240	6,5	38	130	19	80	301

Ayrıca oluşacak çamur miktarı denklem 4.1 ve 4.3 kullanılarak hesaplanacak olursa;

80 mg/l $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ dozu için TKM miktarı;

AKM giderme verimi = %68

Ortama verilen SO_4^{2-} miktarı = $(288 / 666,7) * 80 = 34,56$ mg/l

Toplam çözünmüş madde = $1100 + 34,56 = 1134,56$ mg/l

$AlPO_4$ oluşumu (mg/l atıksu) = $(122 / 31) * 5 = 19,6$ mg/l

P ile reaksiyona giren alüm = $(666,7 / 2) * 5 / 31 = 53,77$ mg/l

Kalan $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ = $80 - 53,77 = 26,23$ mg/l

Oluşan $Al(OH)_3$ (mg/l atıksu) = $2 * 78 * 26,23 / 666,7 = 6,14$ mg/l

AKM’den oluşan çamur (mg/l atıksu) = $151 * 0,68 = 102,68$ mg/l

Toplam oluşan çamur (mg/l atıksu) = $19,6 + 6,14 + 102,68 = 128,42$ mg/l

Sulu çamurdaki çözünmüş madde = $40 * 1134,56 / 1000 = 45,38$ mg/l

TKM = $AlPO_4 + Al(OH)_3 + AKM$ çamuru + çözünmüş madde = $128,42 + 45,38 \approx 174$ mg/l

Aynı şekilde;

		<u>160 mg/l için</u>	<u>240 mg/l için</u>
AKM giderme verimi	=	%85	%87
Ortama verilen SO_4^{2-} miktarı	=	69,11 mg/l	103,68 mg/l
Toplam çözünmüş madde	=	1169,11 mg/l	1203,68 mg/l
AlPO_4 oluşumu	=	19,6 mg/l	19,6 mg/l
P ile reaksiyona giren alüm	=	53,77 mg/l	53,77 mg/l
Kalan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	=	106,23 mg/l	186,23 mg/l
Oluşan $\text{Al}(\text{OH})_3$	=	24,86 mg/l	43,57 mg/l
AKM'den oluşan çamur	=	128,35 mg/l	131,37 mg/l
Toplam oluşan çamur	=	172,81 mg/l	194,54 mg/l
Sulu çamurdaki çözünmüş madde	=	70,15 mg/l	96,29 mg/l
TKM	$\approx$	243 mg/l	291 mg/l

şeklinde hesaplanabilir.

Labaratuvlar çalışmasında elde edilen çamur miktarları ile hesaplanan çamur miktarlarının mukayesesi Çizelge 7.51'de verilmiştir.

Çizelge 7.51 Deneysel çalışmalarla elde edilen çamur miktarları ile teorik olarak hesaplanan çamur miktarlarının mukayesesi

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dozu, mg/l	Hesaplanan, mg çamur/l atıksu	Deney sonucu, mg çamur/l atıksu	Fark, mg/l	Hata, %
80	174	176	2	1,15
160	243	229	14	5,8
240	291	301	10	3,4

Ortalama hata $\approx$ 3,5

Çizelgeden görüleceği gibi ortalama %3,5'lik bir hata ile çamur miktarları tesbit edilebilmektedir.

Ataköy arıtma tesisinde kullanılan ortalama 250 mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ dozu için, uygulama süresince ortalama 7200 m³/gün debi, 4,58 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$, 160 mg/l AKM ve %60

AKM giderme verimi için günlük oluşacak çamur miktarı teorik olarak şu şekilde hesaplanabilir.

AlPO ₄ oluşumu	= (122 / 31) * 4,58 = 18 g/m ³
P ile reaksiyona giren alum	= (594 / 2) * 4,58 / 31 = 43,87 g/m ³
Kalan Al ₂ (SO ₄) ₃ .14H ₂ O	= 250 - 53,77 = 206,13 g/m ³
Oluşan Al(OH) ₃	= 2 * 78 * 206,13 / 594 = 13,53 g/m ³
AKM'den oluşacak çamur	= 160 * 0,60 = 96 g/m ³
Toplam oluşacak çamur	≈ 127 g/m ³
Günlük oluşacak çamur	= 127 g/m ³ * 7200 m ³ /gün * 10 ⁻³ ≈ 914 kg/gün

Yapılan deneysel çalışmalardan oluşan kimyasal çamurun su muhtevası ortalama %3,5 olarak tesbit edilmiştir. Buradan günde oluşacak sulu çamur miktarı;

$$0,914 / 0,035 \approx 26 \text{ m}^3/\text{gün} \text{ olarak hesaplanabilir.}$$

Bu çalışmalara ilaveten, Ataköy arıtma tesisinde kimyasal uygulama öncesi ve sonrası çamur oluşumu takip edilmiştir. Tesis biyolojik halde çalışırken oluşan sulu çamur miktarı ortalama 37 m³/gün iken, kimyasal uygulama ile bu değer %46 artarak ortalama 54 m³/gün'e yükselmiştir.

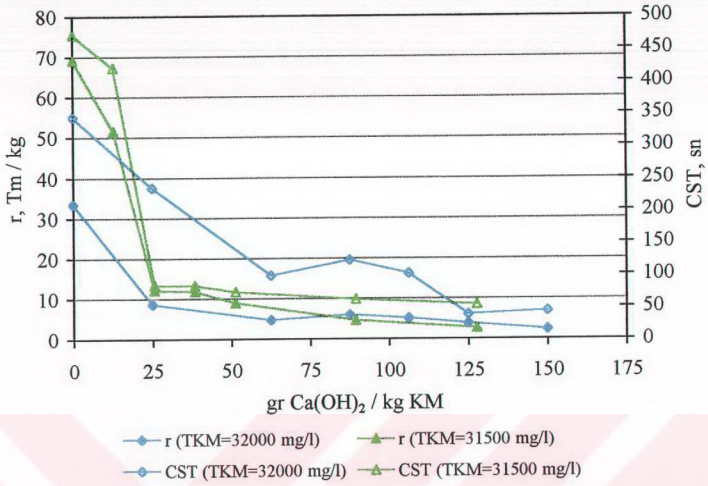
7.3.3.2 Biyolojik arıtmadan çıkan çamurların susuzlaşabilirlik özellikleri

Ataköy arıtma tesisi biyolojik olarak çalışırken, muhtelif zamanlarda ön çöktürme ve son çöktürme çamur bacalarından ayrı ayrı çamur numuneleri alınmıştır. Bu numunelerden ön çöktürme çamurları için yapılan analiz sonuçları ve susuzlaşabilirlik deneylerinin neticeleri Çizelge 7.52 ve Şekil 7.94-7.96'da verilmiştir.

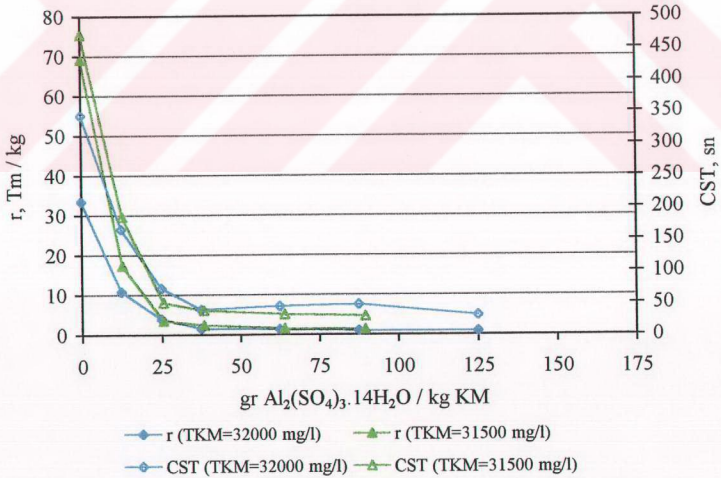
Çizelge 7.52 ve Şekil 7.94-7.96'ya göre, incelenen çamurların özgül direnci 33,4 ve 69,2 Tm/kg (Tm/kg=10¹² m/kg) olarak tesbit edilmiştir. Bu çamurların CST değerleri ise sırasıyla 344 ve 471 sn olarak belirlenmiştir. Şartlandırılmış çamurların özgül direnç değerlerinin 0,3-4,0 Tm/kg arasında olduğu dikkate alındığında, ön çöktürme çamurlarının

Çizelge 7.52 Ataköy damlatmalı filtre tesisinde biyolojik arıtma esnasında oluşan ön çöktürme çamurlarının susuzlaştırma sonuçları

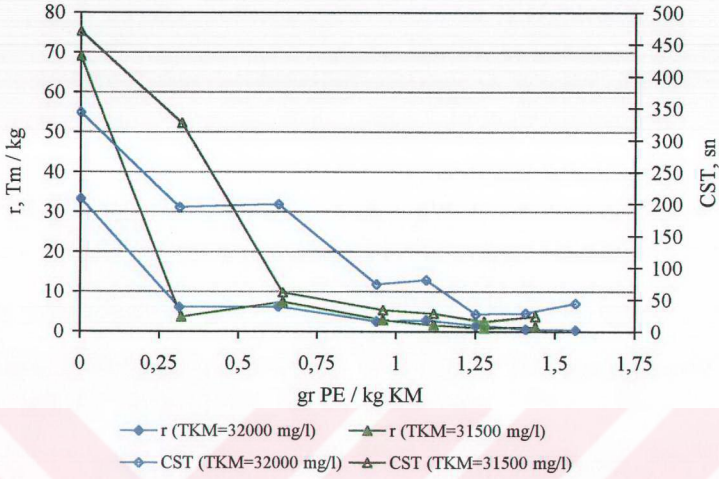
Çamur numunesinin özellikleri	Şarılandırıcının cinsi									
	Ca(OH) ₂					Al ₂ (SO ₄) ₃ . 14H ₂ O				
	Doz, gr/kg KM	r, Tm / kg	CST, sn	Doz, gr/kg KM	r, Tm / kg	CST, sn	Doz, gr/kg KM	r, Tm / kg	Doz, gr/kg KM	CST, sn
T = 18 °C pH = 5,84 TKM=32000 mg/l	0	33,4	344	0	33,4	344	0,00	33,4	0,00	344
	25	8,6	234	13	10,7	165	0,31	6,2	0,31	196
	63	4,7	98	25	3,9	72	0,63	6,4	0,63	200
	88	5,9	122	38	1,5	39	0,94	2,7	0,94	75
	106	5,1	101	63	1,3	44	1,09	3,0	1,09	82
	125	3,8	38	88	1,0	47	1,25	1,7	1,25	28
	150	2,4	43	125	0,9	30	1,41	0,7	1,41	30
T = 15 °C pH = 6,21 TKM=31500 mg/l	---	---	---	---	---	---	1,56	0,6	1,56	45
	0	69,2	471	0	69,2	471	0,00	69,2	0,00	471
	13	51,6	420	13	17,3	185	0,32	3,8	0,32	327
	26	12,1	83	26	3,5	50	0,64	7,6	0,64	62
	38	11,8	83	38	2,4	37	0,96	3,0	0,96	34
	51	8,9	73	64	1,5	32	1,12	1,7	1,12	29
	89	4,6	61	89	1,3	29	1,28	0,9	1,28	16
	128	2,7	53	---	---	---	1,44	1,3	1,44	24



Şekil 7.94 Biyolojik arıtma esnasında oluşan ön çöktürme çamurlarının Ca(OH)_2 ile susuzlaştırılması



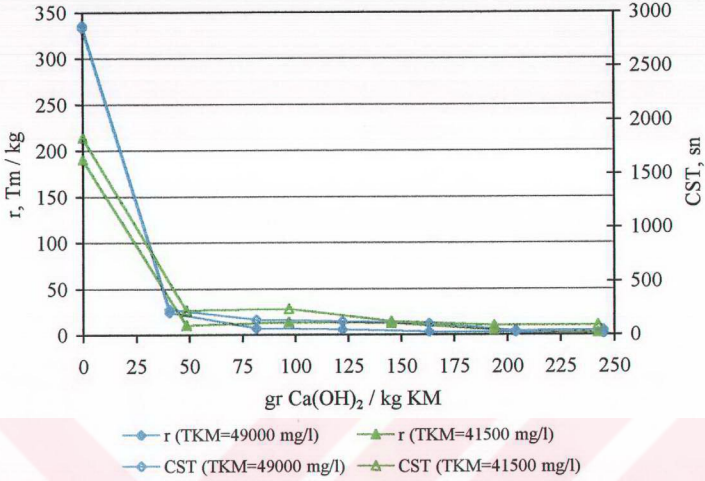
Şekil 7.95 Biyolojik arıtma esnasında oluşan ön çöktürme çamurlarının $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ile susuzlaştırılması



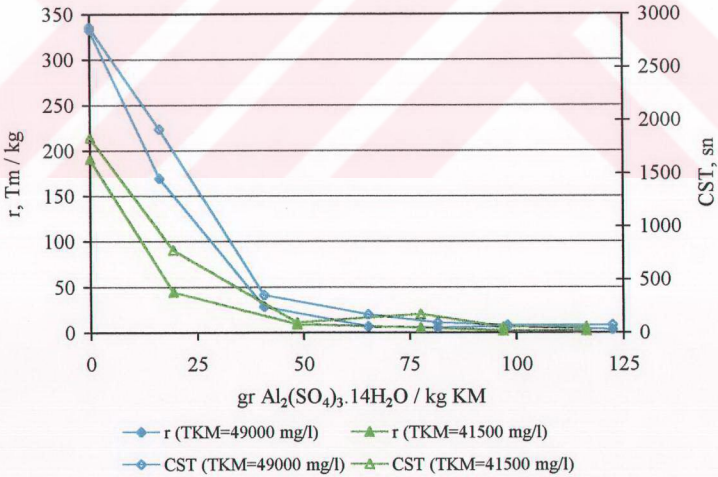
Şekil 7.96 Biyolojik arıtma esnasında oluşan ön çöktürme çamurlarının polielektrolit ile susuzlaştırılması

susuzlaştırılması için 125 gr $\text{Ca(OH)}_2/\text{kg KM}$, 25-26 gr $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}/\text{kg KM}$ veya 0,94-0,96 gr polielektrolit/kg KM kimyasal dozunun uygulanması gerekmektedir. Bu dozlarda şartlandırılmış çamurun CST değerleri, Bölüm 4.3.2'de verilen şartlandırılmış çamurların CST değeri olan 10 sn.'den daha büyük çıkmıştır.

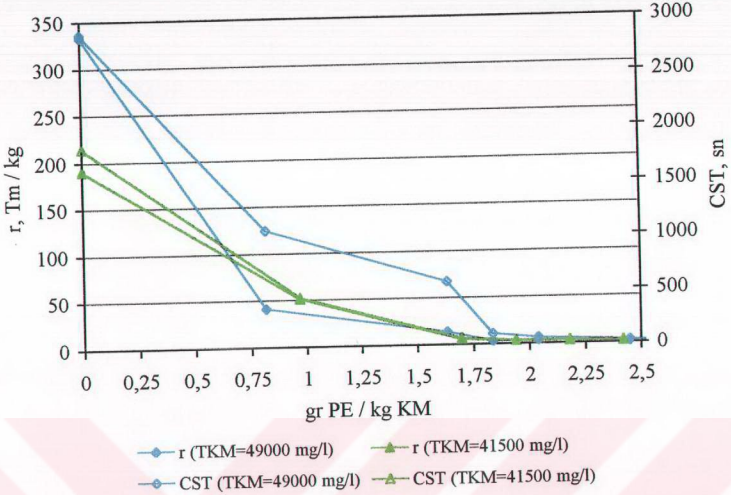
Biyolojik arıtma esnasında oluşan son çöktürme çamurları için yapılan analiz sonuçları ve susuzlaşabilirlik deneylerinin neticeleri Çizelge 7.53 ve Şekil 7.97-7.99'daki gibidir. Çizelge 7.53 ve Şekil 7.97-7.99'a göre, oluşan son çöktürme çamurlarının özgül direnci 333 ve 190 Tm/kg olarak tesbit edilmiştir. Bu çamurların CST değerleri ise sırasıyla 2879 ve 1836 sn olarak belirlenmiştir. Şartlandırılmış çamurlar için beklenen özgül direnç değerlerine göre, son çöktürme çamurlarının susuzlaştırılması için 160-240 gr $\text{Ca(OH)}_2/\text{kg KM}$, 90-120 gr $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}/\text{kg KM}$ veya 1,8-1,9 gr polielektrolit/kg KM kimyasal dozunun uygulanması gerekmektedir. Bu dozlarda şartlandırılmış çamurun CST değerleri, şartlandırılmış çamurlar için tavsiye edilen CST değerinden daha büyük çıkmıştır.



Şekil 7.97 Biyolojik arıtma esnasında oluşan son çöktürme çamurlarının Ca(OH)_2 ile susuzlaştırılması



Şekil 7.98 Biyolojik arıtma esnasında oluşan son çöktürme çamurlarının $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ile susuzlaştırılması



Şekil 7.99 Biyolojik arıtma esnasında oluşan son çöktürme çamurlarının polielektrolit ile susuzlaştırılması

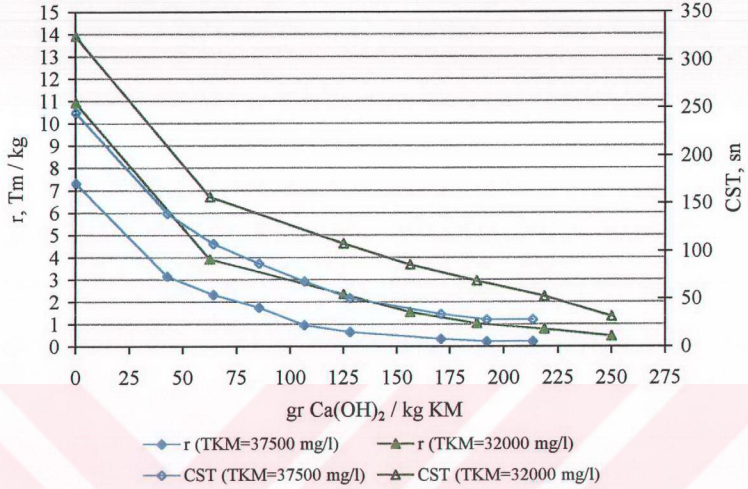
7.3.3.3 Kimyasal ilavesinden sonra çıkan çamurların susuzlaşabilirlik özellikleri

Ataköy arıtma tesisinde kimyasal ilavesi yapılırken, muhtelif zamanlarda ön çöktürme ve son çöktürme çamur bacasından ayrı ayrı çamur numuneleri alınmıştır.

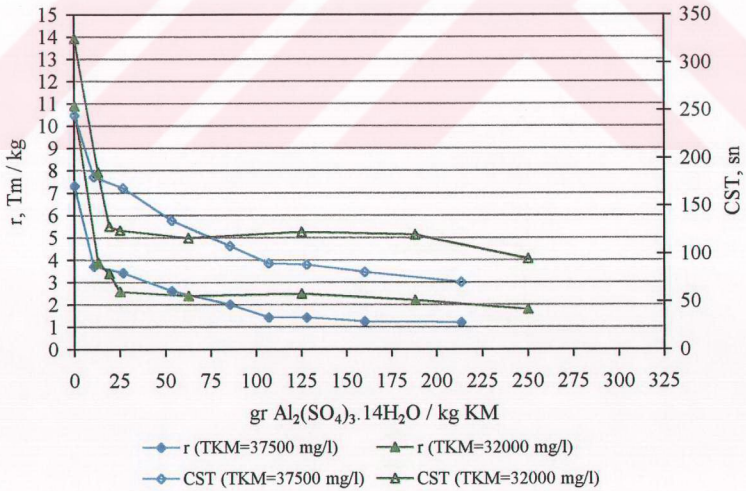
Bu numunelerden ön çöktürme çamurları için yapılan analiz sonuçları ve susuzlaşabilirlik deneylerinin neticeleri Çizelge 7.54 ve Şekil 7.100-7.102'de verilmiştir. Çizelge 7.54 ve Şekil 7.100-7.102'ye göre, incelenen çamurların özgül direnci 7,3 ve 10,9 Tm/kg ve CST değerleri ise sırasıyla 245 ve 325 sn. olarak tesbit edilmiştir. Kimyasal arıtma esnasında oluşan ön çöktürme çamurlarının şartlandırılması için 43-63 gr $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{kg KM}$, 11-13 gr $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}/\text{kg KM}$ veya 0,27-0,43 gr polielektrolit/kg KM kimyasal dozunun uygulanması gerekmektedir. Bu dozlarda şartlandırılmış çamurun CST değerleri, 10 sn.'den daha büyük çıkmıştır. Ancak polielektrolitin yüksek dozlarında 15 sn. gibi değerlere ulaşılabilmiştir.

Çizelge 7.54 Ataköy damlatmalı filtre tesisinde kimyasal ilavesiyle oluşan ön çöktürme çamurlarının susuzlaştırma sonuçları

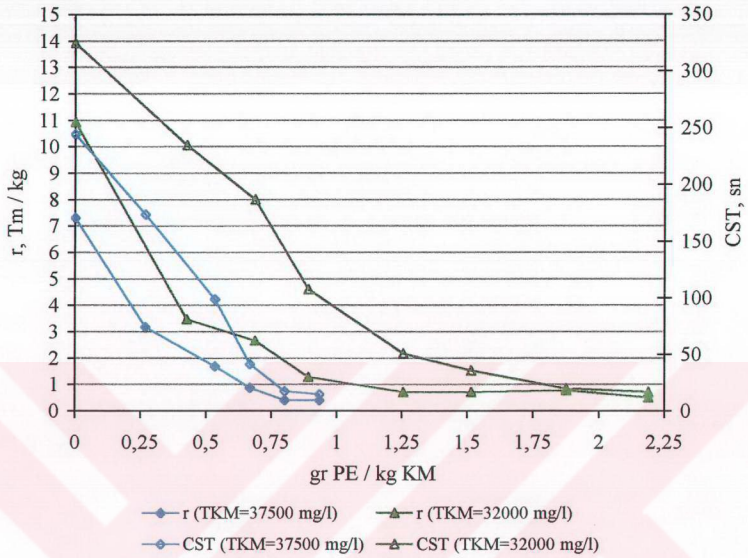
Çamur numunesinin özellikleri	Şarlandırıcının cinsi $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$						Polielektrolit		
	Doz, gr/kg KM	Ca(OH) ₂ r, Tm / kg	CST, sn	Doz, gr/kg KM	r, Tm / kg	CST, sn	Doz, gr/kg KM	r, Tm / kg	CST, sn
T = 16 °C pH = 6,63 TKM=37500 mg/l	0	7,3	245	0	7,3	245	0,00	7,3	245
	43	3,2	140	11	3,7	181	0,27	3,2	174
	64	2,3	108	27	3,4	169	0,53	1,7	99
	85	1,8	87	53	2,6	135	0,67	0,9	42
	107	1,0	69	85	2,0	108	0,80	0,4	18
	128	0,7	51	107	1,5	90	0,93	0,4	15
	171	0,4	34	128	1,4	89	---	---	---
	192	0,3	29	160	1,3	81	---	---	---
T = 18 °C pH = 6,27 TKM=32000 mg/l	213	0,2	29	213	1,2	71	---	---	---
	0	10,9	325	0	10,9	325	0,00	10,9	325
	63	3,9	157	13	3,9	185	0,43	3,5	235
	125	2,4	108	19	3,4	129	0,69	2,7	187
	156	1,6	86	25	2,6	125	0,89	1,3	108
	188	1,1	69	63	2,4	116	1,26	0,7	51
	219	0,8	53	125	2,5	123	1,52	0,7	36
	250	0,5	32	188	2,2	120	1,88	0,8	20
	---	---	---	250	1,8	95	2,19	0,5	17



Şekil 7.100 Kimyasal ilavesi ile oluşan ön çöktürme çamurlarının Ca(OH)_2 kullanılarak susuzlaştırılması

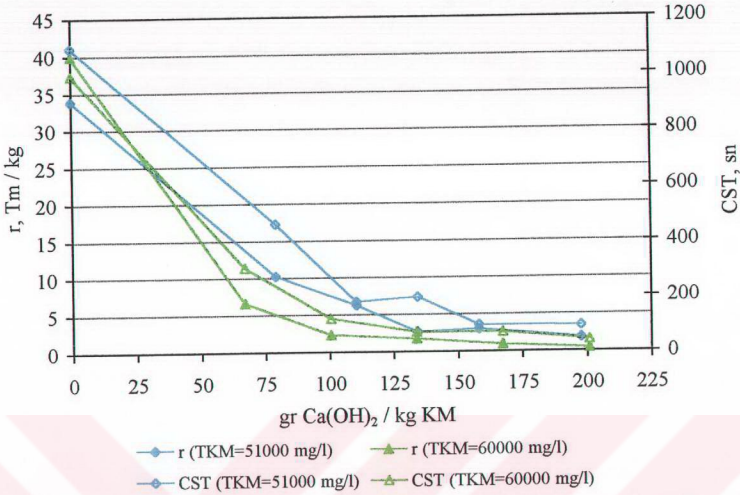


Şekil 7.101 Kimyasal ilavesi ile oluşan ön çöktürme çamurlarının $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ kullanılarak susuzlaştırılması

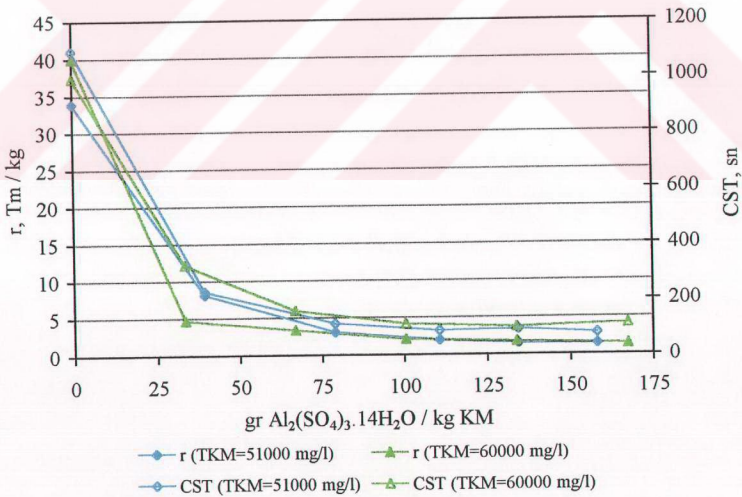


Şekil 7.102 Kimyasal ilavesi ile oluşan ön çöktürme çamurlarının polielektrolit kullanılarak susuzlaştırılması

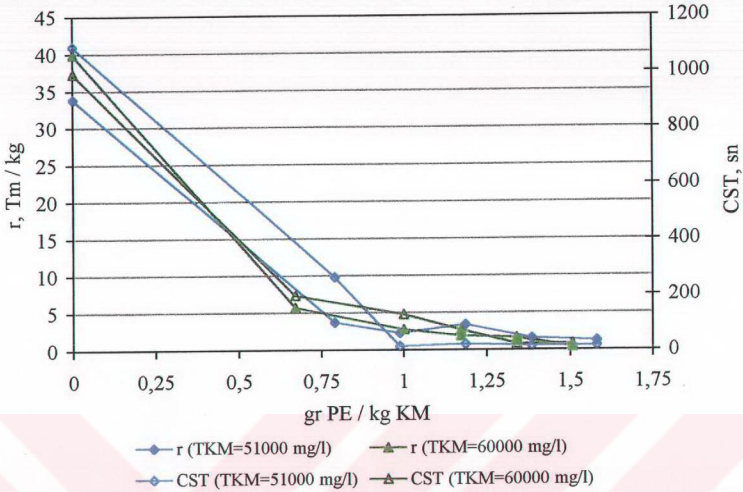
Kimyasal ilavesiyle oluşan son çöktürme çamurları için yapılan analizlerin ve susuzlaşabilirlik deneylerinin sonuçları Çizelge 7.55 ve Şekil 7.103-7.105’de verilmiştir. Çizelge 7.55 ve Şekil 7.103-7.105’e göre, kimyasal ilavesiyle oluşan son çöktürme çamurlarının özgül direnci 33,9 ve 39,9 Tm/kg olarak tesbit edilmiştir. Bu çamurların CST değerleri ise sırasıyla 1093 ve 995 sn olarak bulunmuştur. Kimyasal ilavesiyle oluşan son çöktürme çamurlarının susuzlaştırılması için 100-134 gr $\text{Ca(OH)}_2/\text{kg KM}$, 67-79 gr $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}/\text{kg KM}$ veya 0,79-1,0 gr polielektrolit/kg KM kimyasal dozunun uygulanması gerekmektedir. Bu dozlarda şartlandırılmış çamurun CST değerleri, şartlandırılmış çamurlar için tavsiye edilen 10 sn.’den daha büyük çıkmıştır.



Şekil 7.103 Kimyasal ilavesi ile oluşan son çöktürme çamurlarının Ca(OH)_2 kullanılarak susuzlaştırılması



Şekil 7.104 Kimyasal ilavesi ile oluşan son çöktürme çamurlarının $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ kullanılarak susuzlaştırılması



Şekil 7.105 Kimyasal ilavesi ile oluşan son çöktürme çamurlarının polielektrolit kullanılarak susuzlaştırılması

Çamur susuzlaştırma deneylerinin neticeleri bir bütün olarak ele alındığında, evsel atıksuların kimyasal arıtımı ve biyolojik arıtımı esnasında oluşan çamurların özelliklerini aşağıdaki gibi karşılaştırmak mümkündür:

- Biyolojik arıtma esnasında oluşan ön çöktürme çamurlarının özgül direnci 33,4-69,2 Tm/kg arasında değişirken, kimyasal arıtma esnasında oluşan çamurların özgül direnci 7,3-10,9 Tm/kg değerlerine kadar düşmüştür. Ayrıca, kimyasal arıtma sonucu oluşan çamurların şartlandırılması için gerekli olan şartlandırıcı ihtiyacı biyolojik halde oluşan ön çöktürme çamurlarının şartlandırılması için gerekli olan kimyasal miktarının yaklaşık olarak yarısı kadar bulunmuştur..
- Biyolojik arıtma esnasında oluşan son çöktürme çamurlarının özgül direnç değerleri 190 ile 333 Tm/kg olarak gerçekleşirken, kimyasal ilavesinden sonra oluşan son çöktürme çamurlarının özgül direnci 33,9-39,9 Tm/kg değerlerine düşmüştür. Diğer taraftan kimyasal ilavesi yapıldıktan sonra oluşan çamurların şartlandırılması için gerekli olan kimyasal ihtiyacı %30-50 arasında azalma göstermiştir.

- Kimyasal ilavesinden sonra oluşan ön çöktürme çamurlarının TKM konsantrasyonunda, biyolojik arıtma esnasında oluşan çamurlara göre ortalama %0,3'lük bir artış olurken, son çöktürme çamurlarının TKM konsantrasyonu kimyasal ilavesinden sonra ortalama %4,5'dan %5,5 gibi değerlere yükselmiştir.

7.4 Çalışmada Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Evsel atıksuların kimyasal arıtılabilirliğinin belirlenmesi için yapılan çalışma süresince, Baltalımanı ve Yenikapı Ön Arıtma Tesisi ile Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisi'nden alınan numunelerde yapılan jar test sonuçları Çizelge 7.56'da özetlenmiştir. Çizelge 7.57'de ise, bu konuda daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilen sonuçlardan bir kısmı verilmiştir.

Çizelge 7.56 Laboratuvar çalışmalarından elde edilen jar test sonuçları*

Numune	Kimyasal	Parametre	Verim %	Numune	Kimyasal	Parametre	Verim %
Baltalımanı Tesisi atıksuyu	Ca(OH) ₂	KOİ	67	Ataköy Tesisi giriş atıksuları	Fe ⁺³	KOİ	78
		TKN	47			TKN	25
		TP	94			TP	94
		AKM	71			AKM	93
Baltalımanı Tesisi atıksuyu	Al ⁺³ + APE	KOİ	67	Ataköy Tesisi giriş atıksuları	Fe ⁺³ + Ca(OH) ₂	KOİ	85
		TKN	43			TKN	29
		TP	91			TP	88
		AKM	92			AKM	95
Yenikapı Tesisi atıksuyu	Fe ⁺³	KOİ	74	Ataköy Tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyu	Al ⁺³	KOİ	89
		TKN	31			TKN	57
		TP	95			TP	85
		AKM	95			AKM	94
Yenikapı Tesisi atıksuyu	Al ⁺³ + APE	KOİ	68	Ataköy Tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyu	Al ⁺³ + APE	KOİ	87
		TKN	27			TKN	52
		TP	88			TP	83
		AKM	93			AKM	93

*Tablodaki değerler, her tesis için en verimli sonuçları veren koagülant ve koagülant+yardımcı kimyasal için verilmiştir.

Çizelge 7.57 Evsel atıksuların kimyasal arıtılabilirliği ile alakalı olarak daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar

Çalışma	Parametre	Ham su	Kimyasal	Çıkış mg/l	Verim %	Açıklama
Nenov, (1995)	BOİ ₅ ,mg/l	228	Al ⁺³ veya Fe ⁺³	107	53	Jar test 30 sn. 100 d/d ve 5 dk. 0 d/d şartlarında, pH 7'de yapılmıştır.
	AKM,mg/l	248		94	62	
Heinke vd., (1980)	BOİ ₅ ,mg/l	101	Fe ⁺³	39	62	Mekanik arıtma tesisinde kimyasal uygulama sonuçları
	AKM,mg/l	102		35	66	
	TP,mg/l	5,1		1,63	68	
	BOİ ₅ ,mg/l	101	Fe ⁺³ + polimer	35	65	
	AKM,mg/l	102		13	87	
Odegaard, (1992)	TP,mg/l	5,1		0,92	82	Norveç'teki 87 kimyasal arıtma tesisinden ön kimyasal uygulamalı arıtma tesislerinin ortalama sonuçları (10)
	KOI,mg/l	505	Al ⁺³ veya Fe ⁺³	108	76	
	AKM,mg/l	233		17,3	88	
	TKN,mg/l	36,5		28,5	28	
Heinke vd., (1980)	TP,mg/l	5,4		0,28	93	Ön kimyasal uygulamalı arıtma tesisi sonuçları
	BOİ ₅ ,mg/l	134	Fe ⁺³	51	62	
	AKM,mg/l	220		51	77	
	TP,mg/l	6,2		1,36	78	
	BOİ ₅ ,mg/l	134	Fe ⁺³ + polimer	32	76	
	AKM,mg/l	220		24	89	
Kristensen vd., (1992)	TP,mg/l	6,2		0,99	84	Azot giderimine de sahip biyolojik arıtma tesisinde ön kimyasal uygulama sonuçları
	KOI,mg/l	446	Al ⁺³	162	60	
	AKM,mg/l	216		37	83	
	TKN,mg/l	42		36	17	
Özcan vd, (1992)	TP,mg/l	10,1		3,6	76	Yenikapı evsel atıksuyunda pH ayarlaması yapılmadan elde edilen jar test sonuçları
	KOI,mg/l	825	Fe ⁺³ ve APE	128	84	
	AKM,mg/l	617		28	96	
	TKN,mg/l	72		59	18	
Galil ve Rebhun, (1990)	TP,mg/l	7,8		0,77	90	Pilot ölçekte ön kimyasal uygulamalı biyolojik tesis arıtma sonuçları
	KOI,mg/l	850	Al ⁺³	50	94	
	BOİ ₅ ,mg/l	310		9	97	
	AKM,mg/l	430		17	96	
Hruschka, (1980)	PO ₄ -P,mg/l	56		2,1	96	Ön kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma tesisi sonuçları
	KOI,mg/l	581	Ca(OH) ₂	31	92	
	BOİ ₅ ,mg/l	205		4	97	
	MLSS,mg/l	500		5	98	
Galil ve Rebhun, (1990)	PO ₄ -P,mg/l	15,2		4,6	69	Pilot ölçekte ikincil kimyasal uygulamalı biyolojik tesis arıtma sonuçları
	KOI,mg/l	850	Al ⁺³	100	88	
	BOİ ₅ ,mg/l	310		20	93	
	AKM,mg/l	430		34	92	
Storhaug, (1990)	PO ₄ -P,mg/l	56		30	46	Norveç'teki 49 adet ikincil kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma tesisinin ortalama verimi
	BOİ ₅ ,mg/l	---	---	---	93	
	TP,mg/l	---		---	92	

Sonuçların iyi bir şekilde değerlendirilmesi için; öncelikle her tesiste optimum kimyasal dozlarında yapılan, kimyasal uygulama ile kirleticilerin çözünmüş ve partiküler kısımlarının giderimi ile ilgili çalışmalar tetkik edilirse; kimyasal uygulama ile KOİ ve TKN'nin çözünmüş kısımları sırasıyla %5-28 ve %4-39 arasında giderilirken, bu kirleticilerin partikül kısımlarının sırasıyla %72-99 ve %75-92 arasında giderilmekte olduğu, TP'nin ise, çözünmüş kısmının %93-97 ve partiküler kısmının %24-85 arasında giderilmekte olduğu ve buradan, kimyasal arıtmanın KOİ ve TKN gideriminde partiküler kısımlarda etkili olurken, TP giderimi için çözünmüş ($\text{PO}_4\text{-P}$) kısımda etkili olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.56'daki deneysel neticeler ile Çizelge 7.57'deki literatür değerleri mukayese edildiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- Baltalımanı tesisi atıksularında elde edilen verimler ön kimyasal uygulamalı arıtma tesisleri ile karşılaştırıldığında, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in kullanılması ile AKM dışındaki diğer parametrelerin Çizelge 7.57'de verilen değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir. AKM gideriminin düşük olması, muhtemelen karıştırma şartlarının ve çöktürme süresinin yeterli şekilde ayarlanamaması olabilir (Vosser, 1980). Bununla birlikte, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ile APE kullanıldığında, Çizelge 7.57'de verilen değerlerden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Diğer taraftan, hem yardımcı kimyasal ile hem de yardımcı kimyasal kullanılmadan elde edilen TKN giderme verimi daha önce yapılan çalışmalarda verilen verimlerden daha yüksek çıkmıştır. TKN'nin organik kısmının yüzdesi kimyasal arıtmada TKN giderimini etkileyen önemli unsurdur. Baltalımanı tesisi atıksularının organik azot muhtevasının %48 civarında olması TKN giderme veriminin yüksek çıkmasına sebep olmuştur.
- Yenikapı tesisi atıksularında, kimyasal olarak sadece $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ün kullanılması halinde, ön kimyasal uygulamalı arıtma tesisleri için verilen verimlerden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Ancak aynı tesis için; Özcan vd. (1992)'nin yaptıkları çalışmada elde edilen KOİ verimi bu çalışmada elde edilen verimden daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi muhtemelen numunedeki partiküler KOİ yüzdesinin yüksek olmasıdır. Yenikapı tesisi atıksuları için yardımcı kimyasalın kullanılması ilave bir verim artışı sağlamamıştır.

- Ataköy tesisi giriş atıksularında da, Çizelge 7.57’de verilenlerden daha yüksek verimler elde edilmiştir. Bu atıksularda, yardımcı kimyasalın kullanılması ile TP giderimi haricinde, diğer parametreleri giderme verimi daha da artmıştır. Elde edilen verimlerin yüksek çıkması atıksuyun karakteri ile ilgilidir.
- Ataköy damlatmalı filtre tesisinin çıkışından alınan numunede, TP gideriminde daha düşük verimler elde edilirken, diğer parametreler için Baltalıman, Yenikapı ve Ataköy tesisi giriş atıksularında yapılan çalışmalar içerisinde en yüksek verimler elde edilmiştir. Diğer taraftan, bu sonuçlar ikincil kimyasal uygulamalı biyolojik tesislerin verimleri ile mukayese edildiğinde, Çizelge 7.57’de verilen değerler elde edilmiş ve hatta TP gideriminde daha yüksek sonuçlar alınmıştır.
- Kimyasal uygulamanın kirleticilerin çözünmüş ve partiküler kısmı giderme çalışmaları ile jar test çalışmalarından, atıksuyun zayıf karakterli veya orta karakterli olmasının, kimyasal arıtmada etkili olduğu belirlenmiştir. Zayıf karakterli olan Baltalıman tesisi atıksularında, orta karakterli özellik gösteren Yenikapı ve Ataköy tesisi atıksuları için elde edilen verimlerden daha düşük giderme verimleri elde edilmiştir.

Ataköy Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde tam ölçekte yapılan çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır:

- Ön çöktürme çıkışına kadar olan kısımda elde edilen neticeler, Nenov (1995)’un yaptığı çalışma ve Heinke vd. (1980)’nin mekanik arıtma tesisinde yaptıkları çalışma ile mukayese edildiğinde; sonuçların uyum içinde olduğu KOİ, TKN, TP, PO₄-P ve AKM’de sırasıyla %60, %11, %70, %93 ve %60 gibi beklenen giderme verimlerinin sağlandığı görülmüştür.
- Tesisin son çöktürme çıkışında elde edilen %84 KOİ, %81 TP, %90’ın üzerinde PO₄-P ve %89 AKM giderme verimleri, Çizelge 7.57’de ön kimyasal uygulamalı biyolojik arıtma tesisleri için verilen neticelerle karşılaştırıldığında beklenen değerlere ulaşıldığı görülmüştür.

Kimyasal arıtma sonucu oluşacak çamur miktarını belirlemek amacıyla yapılan çalışmada; deneysel olarak elde edilen çamur miktarının ortalama %3,5'luk bir hata ile teorik olarak hesaplanabildiği gösterilmiştir. Buradan, tesiste yapılacak bir kimyasal uygulama ile oluşacak çamur miktarı 914 kg/gün veya 26 m³/gün olarak tesbit edilmiştir. Diğer taraftan, kimyasal uygulama öncesi ve sonrasında tesisten atılan günlük çamur miktarı tesbit edilmiştir. Kimyasal uygulama ile tesisten atılan günlük sulu çamur miktarında ortalama %46'lık bir artış olduğu belirlenmiştir. Bu değer, literatürde (Çizelge 4.1) mekanik/biyolojik/kimyasal tesisler için verilen ve mekanik/biyolojik tesislere göre oluşan fazla çamur miktarına oldukça yakındır.

Tesiste oluşan çamurların susuzlaşabilirlik özelliklerinin tesbiti çalışması ile, biyolojik arıtma esnasında oluşan çamurlarının özgül direncinin, kimyasal arıtma esnasında oluşan çamurların özgül direncinden ortalama %80-85 daha fazla olduğu bulunmuş ve biyolojik halde oluşan çamurlarının şartlandırılması için gerekli olan kimyasal ihtiyacı, kimyasal arıtma sonucu oluşan çamurların şartlandırılması için gerekli olan miktarın yaklaşık olarak iki katı çıkmıştır.

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

SONUÇLAR

Evsel atıksuların kimyasal olarak arıtılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada; farklı karakterizasyonlara sahip atıksulara kimyasal madde ilavesinin etkileri, bu maddelerin kirleticilerin çözünmüş ve partiküler kısımları üzerindeki tesiri, kimyasal arıtma ile oluşacak çamur (primer çamur) miktarı ve oluşan bu çamurların biyolojik arıtma esnasında meydana gelen çamurlarla mukayeseli olarak susuzlaşabilirlik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, tam ölçekte bir uygulama yapılarak, işletilmekte olan bir atıksu arıtma tesisine kimyasal ilavesinin etkileri araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında, İstanbul'da halen işletilmekte olan Baltalıman ve Yenikapı Ön Arıtma Tesislerinin çıkış atıksuları ile Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisinin giriş atıksuları ve damlatmalı filtre ünitesi çıkış suları incelenmiştir. Söz konusu arıtma tesislerinden alınan atıksu numunelerinde kimyasal madde olarak $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ve $Ca(OH)_2$ kullanılarak yapılan jar test çalışmalarına göre şu sonuçlar elde edilmiştir:

1. Baltalıman arıtma tesisine gelen atıksular zayıf karakterli bir özellik gösterirken, Yenikapı ve Ataköy tesisi atıksuları orta karakterli bir özellik göstermektedir.
2. Kimyasal arıtma ile atıksu özelliğine ve kullanılan kimyasala bağlı olarak KOİ'de %63-85, TKN'de %24-47, TP'de %88-95, PO_4 -P'de %97'nin üzerinde, AKM'de %71-95 (çoğunlukla %90'ın üzerinde) ve bulanıklıkta %67-92 giderme verimleri sağlanabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, kimyasal uygulamanın atıksuyun karakteri (kuvvetliliği) arttıkça daha etkili olduğu tesbit edilmiştir.
3. Atıksuların kimyasal arıtımıyla elde edilecek verim üzerinde kirleticilerin atıksudaki partiküler veya çözünmüş kısımlarının önemli derecede etkisinin olduğu belirlenmiştir. Kimyasal ilavesinin, KOİ ve TKN'nin partiküler kısımları üzerinde sırasıyla %72-99 ve %75-92 arasında etkili olurken, bu kirleticilerin çözünmüş kısımları üzerinde sırasıyla

%5-28 ve %4-39 arasında giderme verimine sahip olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan TP gideriminde, kimyasal uygulamanın çözünmüş fosforu ($\text{PO}_4\text{-P}$) %93-97 arasında giderdiği ancak partiküler kısmının üzerinde %24-85 arasında etkili olduğu tesbit edilmiştir.

4. Ataköy Tesisi damlatmalı filtre ünitesi çıkış suyuna yapılan kimyasal uygulaması ile KOİ'de %89, TKN'de %57, TP'de %85, $\text{PO}_4\text{-P}$ 'de %97, AKM'de %94 ve bulanıklıkta %92 giderme verimlerine ulaşılarak, damlatmalı filtre tesislerinde; damlatmalı filtre ünitesinden sonra yapılan kimyasal ilavesinin, bu üniteden önce yapılacak uygulamalardan daha iyi sonuçlar verdiği tesbit edilmiştir. Ayrıca, TKN diğer uygulamalara göre önemli miktarda atıksudan uzaklaştırılmıştır. görülmüştür.

Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisinde tam ölçekte yapılan çalışmalarda ise;

5. Ön çöktürme çıkışında KOİ, TKN, TP, $\text{PO}_4\text{-P}$ ve AKM için sırasıyla %60, %11, %70, %93 ve %60 gibi giderme verimleri sağlanmıştır. Ataköy Arıtma Tesisinde biyolojik arıtma esnasında oluşan KOİ'de %72, TP'de %11 ve AKM'de %80 gibi toplam tesis verimi ve kimyasal madde ilavesi ile elde edilen ön çöktürme çıkışındaki verimler karşılaştırıldığında, kimyasal arıtmanın organik maddeleri giderimi yanında özellikle besi maddeleri için daha iyi giderme verimleri sağlayan geçerli bir alternatif olarak kullanılabileceği görülmektedir.

6. Ön çöktürme çıkışındaki verimlerin jar test sonuçlarına göre düşük olduğu ve ön çöktürmeden önce yapılacak olan bir flokülasyon biriminin elde edilen bu verimleri daha da artıracığı görülmüştür.

7. Tesiste biyolojik arıtma esnasında elde edilen %72 KOİ, %11 TP ve %80 AKM verimleri ile kimyasal uygulamada elde edilen %84 KOİ, %81 TP, %90'ın üzerinde $\text{PO}_4\text{-P}$ ve %89 AKM giderme verimleri karşılaştırıldığında, kimyasal ilavesiyle tesisin veriminin önemli miktarda arttığı görülmüştür.

8. Kimyasal arıtma ile oluşan çamur miktarının, artan kimyasal dozu ile arttığı tesbit edilmiştir. Tesiste biyolojik arıtma esnasında günde ortalama 37 m³ sulu çamur oluşurken, kimyasal ilavesi ile günde oluşan sulu çamur miktarı %46 artışla ortalama 54 m³ olarak gerçekleşmiştir.

9. Biyolojik arıtma esnasında oluşan ön çöktürme çamurlarının özgül direnci 33,4-69,2 Tm/kg arasında değişirken, son çöktürme çamurlarının özgül direnç değerleri 190 ile 333 Tm/kg olarak gerçekleşmiştir. Diğer taraftan, kimyasal uygulama esnasında oluşan ön çöktürme çamurlarının özgül direnci 7,3-10,9 Tm/kg, son çöktürme çamurlarının özgül direnci ise 33,9-39,9 Tm/kg değerlerine kadar düşmüştür. Kimyasal ilavesi ile oluşan ön çöktürme çamurlarının susuzlaştırılması için gerekli olan kimyasal miktarı, biyolojik arıtma esnasında oluşan ön çöktürme çamuru için gerekli miktardan %50 daha az bulunurken, kimyasal uygulaması ile oluşan son çöktürme çamurlarının susuzlaştırılması için gerekli olan kimyasal miktarı ise, biyolojik arıtma esnasında oluşan son çöktürme çamuru için gerekli miktardan %30-50 daha az bulunmuştur.

10. Kimyasal uygulamasından sonra oluşan ön çöktürme çamurlarının TKM konsantrasyonundaki artış, biyolojik arıtma esnasında oluşan çamurlara göre ortalama %0,3 iken, bu oran son çöktürme çamurlarında %22 mertebelerine ulaşmıştır.

ÖNERİLER

1. Belediyelerimizin şehir atıksularını arıtmak için ileri arıtma adımlarını tercih etmek yerine, öncelikle kimyasal arıtmayı tercih etmeleri ve daha sonra kademeli olarak biyolojik arıtmaya geçmeleri arıtmasız geçecek olan zamanı kısaltacaktır. Böylece, büyük yatırımların gerçekleştirilmesi zamana yayılmış olacak ve bu süreçte kimyasal arıtma ile alıcı ortamların kirlenmesi engellenecektir.

2. Halihazırda mevcut mekanik tesislerin bulunduğu ve atıksularını alıcı ortamlara veren belediyeler için, arıtma tesislerinde kimyasal ilavesi yapılması ile organik madde ve AKM

giderimi yanında besi maddelerinin giderimi de sağlanarak, hassas alıcı ortamların aşırı ve hızlı bir şekilde kirlenmesi önlenecektir.

3. Biyolojik arıtmaya sahip yerleşimlerde, tesiste kimyasal ilavesi yapılarak besi maddelerin de giderimi sağlanarak alıcı ortamlarda ötrofikasyon gibi problemlerin oluşumu önemli derecede ortadan kalkacaktır.

KAYNAKLAR

- AWWA, (1995), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition.
- AWWA, (1992), Operational Control of Coagulation and Filtration Processes, First Edition.
- Boller, M., (1993), "Removal of Organic Matter by Physico-Chemical Mechanisms in Wastewater Treatment Plants", Water Science and Technology, Vol. 27, No. 11, pp. 167-183.
- Caceres, L. and Contreras, R., (1995), "Municipal Wastewater Treatment by Lime/Ferrous Sulfate and Dissolved Air Flotation", Water Science and Technology, Vol. 31, No. 3-4, pp. 285-294.
- Chung, Y.J., (1985), Interrelationships Among Anaerobic Digestion, Sludge Dewaterability, and Particle Characteristics, PhD Thesis, The University of Texas, Austin.
- Çabuk, M., (1998), Anaerobik Çürütücü Çamurlarının Kimyasal Şartlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Debik, E., Demir, A., Toröz, İ. ve Günay, A., (1998a), "Evsel Atıksuların Kimyasal Arıtılabilirliğinin İncelenmesi", Kayseri I. Atıksu Sempozyumu, 22-26 Haziran 1998, Kayseri.
- Debik, E., Demir, A., Toröz, İ. and Günay, A., (1998b), "Investigation of Chemical Treatability of Effluent Water in Istanbul-Baltalimanı Preliminary Mechanical Treatment Plant", 1st International Workshop on Environmental Quality and Environmental Engineering in the Middle East Region, Ed: Bahadır, M. and Burdurlu, Y., 5-7 Ekim 1998, Konya.
- Dharmappa, H.B., Verink, J., Fujiwara, O. and Vigneswaran, S., (1993), "Optimal Design of Flocculator", Water Research, Vol. 27, No. 3, pp. 513-519.
- Eroğlu, V., (1991), Su Tasfiyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- François, R.J. and Van Haute, A.A., (1984), "The Role of Rapid Mixing Time on a Flocculation Process", Water Science and Technology, Vol. 17, Amsterdam, pp. 1091-1101.
- Galil, N. and Rebhun, M., (1990), "Primary Chemical Treatment Minimizing Dependence on Bioprocess in Small Treatment Plants", Water Science and Technology, Vol. 22, No. 3-4, pp. 203-210.
- Göhan, M. ve Aksoğan, S., (1970), Suların Arıtılması, PİMAŞ Yayınları, İstanbul.

Hahn, H.H., (1968), Effects of Chemical Parameters Upon the Rate of Coagulation, PhD Thesis, Harvard University, Cambridge.

Harremoës, P.; Bundgaard, E. and Henze, M., (1991), "Developments in wastewater treatment for nutrient removal", European Water Pollution Control, Vol. 1, No. 1, pp. 19-23.

Heinke, G.W., Tay, A.J. and Qazi, M.A., (1980), "Effects of Chemical Addition on the Performance of the Settling Tanks", Journal WPCF, Vol. 52, No. 12, pp. 2946-2954.

Henze, M. and Harremoës, P., (1990), "Chemical-Biological Nutrient Removal – The HYPRO Concept", In: Hahn, H.H., Klute, R. (eds.), Chemical Water and Wastewater Treatment. Proceedings of the 4th Gothenburg Symposium, Madrid, Springer-Verlag, Berlin, pp. 499-510.

Henze, M. and Odegaard, H., (1994), "An Analysis of Wastewater Treatment Strategies for Eastern and Central Europe", Water Science and Technology, Vol. 30, No. 5, pp. 25-40.

Henze, M. and Odegaard, H., (1995), Wastewater Treatment Process Development in Central and Eastern Europe-Strategies for a Stepwise Development Involving Chemical and Biological Treatment, Remediation and Management of Degraded River Basins, Chapter 10, Springer-Verlag, Berlin.

Henze, M., (1992), "Characterization of Wastewater for Modelling of Activated Sludge Processes, Water Science and Technology", Vol. 25, No. 6, pp. 1-15.

Henze, M., (1995a), "Wastewater Nitrogen and Phosphorus Removal Management and Control in Europe", Journal of Japan Society on Water Environment (JSWE), Vol. 18, No. 3, pp. 11-16.

Henze, M., (1995b), "Nutrient Removal from Wastewater", In: Harris, R. (ed.), New World Water, Sterling Publications Limited. London, UK. pp. 114-117.

Karlsson, I., (1996), "Environmental and Energy Efficiency of Different Sewage Treatment Processes", Water Science and Technology, Vol. 34, No. 3-4, pp. 203-211.

Ketchum, L.H., Irvine, R.L., Breyfogle, R.E. and Manning, J.G., (1987), "A Comparison of Biological and Chemical Phosphorus Removals in Continuous and Sequencing Batch Reactors", Journal WPCF, Vol. 59, No. 1, pp. 13-18.

Kristensen, G.H., Jorgensen, P.E., Strube, R. and Henze, M., (1992), "Combined Pre-Precipitation, Biological Sludge Hydrolysis and Nitrogen Reduction- A Pilot Demonstration of Integrated Nutrient Removal", Water Science and Technology, Vol. 26, No. 5-6, pp. 1057-1066.

Lawler, D.F., Chung, Y.J., Hwang, S.J. and Hull, B.A. (1986), "Anaerobic Digestion: Effects on Particle Size and Dewaterability", Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 58, pp. 1107-1117.

- Le Bell, J.C., Stenius, P. and Axberg, C., 1983, "Coagulation and Sedimentation in Chemical Precipitation of Wastewaters", *Water Research*, Vol.17, No.9, pp. 1073-1080.
- Leentvaar, J. and Rebhun, M., (1982), "Effect of Magnesium and Calcium Precipitation on Coagulation-Flocculation With Lime", *Water Research*, Vol. 16, pp. 655-662.
- Leentvaar, J. and Ywema, T.S.J., (1980), "Some Dimensionless Parameters of Impeller Power in Coagulation-Flocculation Processes", *Water Research*, Vol. 14, pp. 135-140.
- Lefebvre, E. and Legube, B., (1993), "Coagulation-Flocculation by Ferric Chloride of Some Organic Compounds in Aqueous Solution", *Water Research*, Vol. 27, No. 3, pp. 433-447.
- Levine, A.D., Tchobanoglous, G. and Asano, T., (1985), "Characterization of the Size Distribution of Contaminants in Wastewater: Treatment and Reuse Implications", *JWPCF*, Vol. 57, No. 7, pp. 805-816.
- Lewis, G.O., Austin, F.J., Loubit, M.V. and Sharples, K., (1986), "Enterovirus Removal from Sewage. The Effectiveness of Four Different Treatment Plants", *Water Research*, Vol. 20, No. 10, pp. 1291-1297.
- Lotito, V., Mininni, G. and Spinose, L., (1993), Developments in Laboratory Evaluation of Sewage Sludges Dewaterability, *Water Science and Technology*, Vol.28, pp.103-108.
- Metcalf and Eddy Inc., (1991), *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, Third Ed., Mc Graw Hill Co., Singapore.
- Mhaisalkar, V.A., Paramasivam, R. and Bhole, A.G., (1986), "An Innovative Technique for Determining Velocity Gradient in Coagulation-Flocculation Process", *Water Research*, Vol. 20, No. 10, pp. 1307-1314.
- Minton, G.R. and Carlson, D.A., (1976), "Effects of Lime Addition on Treatment Plant Operation", *JWPCF*, Vol. 48, No.7, pp. 1697-1727.
- Murcott, S.E. and Harleman, R.F., (1994), "Use of Chemical Upgrading (CU) in Hungary and Slovakia", *Water Science and Technology*, Vol. 30, No. 5, pp. 87-95.
- Muslu, Y., (1990), *Kullanılmış Suların Tasfiyesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Narkis, N., Rebhun, M. and Offer, R., (1975), "Ferric Chloride or Lime for Chemical Treatment", *Water and Sewage Works*, January, pp. 43-45.
- Nenov, V., (1995), "TSS/BOD Removal Efficiency and Cost Comparison of Chemical and Biological Wastewater Treatment", *Water Science and Technology*, Vol. 32, No. 7, pp. 207-214.

- Novak, J.T. and Haugan, B.E. (1979), "Chemical Conditioning of Activated Sludge", *Journal of Environmental Engineering Division*, Vol. 105, pp. 993-1008
- Odegaard, H. and Storhaug, R., (1990) "Small Wastewater Treatment Plants in Norway", *Water Science and Technology*, Vol. 22, No. 3-4, pp. 33-40.
- Odegaard, H., (1987), "Optimization of Flocculation/flotation in Chemical Wastewater Treatment", *Water Science and Technology*, Vol. 19, Rio, pp. 1233-1236.
- Odegaard, H., (1989), "Appropriate Technology for Wastewater Treatment in Coastal Tourist Areas", *Water Science and Technology*, Vol. 21, No. 21, pp. 1-17.
- Odegaard, H., (1992), "Norwegian Experiences With Chemical Treatment of Raw Wastewater", *Water Science and Technology*, Vol. 25, No. 12, pp. 255-264.
- Odegaard, H., (1995), "Optimization of Flocculation/flotation in Chemical Wastewater Treatment", *Water Science and Technology*, Vol. 31, No. 3-4, pp. 73-82.
- Odegaard, H., Balmer, P. and Hanaeus, J., (1987), "Chemical Precipitation in Highly Loaded Stabilization Ponds in Cold Climates: Scandinavian Experiences", *Water Science and Technology*, Vol. 19, No. 12, pp. 71-77.
- Onay, T., Gönenç, İ.E., (1989), *Sludge Dewatering Techniques, Wastewater Treatment and Disposal Studies*, NATO-TU Waters, Final Report, November, 1989.
- Orta, M.T., Manero, O., Cardoso, J. and Martinez, G., 1998, "New Polymeric Coagulants Tested in Water and Wastewater", *Environmental Technology*, Vol. 19, pp. 323-330.
- Özcan, Z.B., Orhon, D. ve Tünay, O., (1992), "Yenikapı Deşarjı Atıksularının Kimyasal Artılabilirliği", *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*, Cilt 2, Sayı 2, 67-76.
- Puhakka, J.A., Alavakeri, M. and Shieh, W.K., (1992), "Anaerobic Treatment of Kraft Pulp-Mill Waste Activated-Sludge: Sludge Dewaterability and Filtrate Quality", *Biosource Technology*, Vol.39, pp.68-75.
- Qureshi, S. and Nalmborg, R.H., (1985), "Reducing Aluminium Residuals in Finished Water", *AWWA*, Vol. 77, No. 10, pp. 101-108.
- Rantala, P., 1980, "A Design Study of Biochemical Combined Wastewater Treatment Plant", *Prog. Wat. Tech.*, Vol. 12, No. 3, pp. 271-278.
- Ratnaweera, H., Odegaard, H. and Fettig, J., (1992), "Coagulation with Prepolymerized Aluminium Salts and Their Influence on Particle and Phosphate Removal", *Water Science and Technology*, Vol. 26, No. 5-6, pp. 1229-1237.
- Reynolds, T.D., (1977), *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*, California.

Rusten, B., Kolkinn, O. and Odegaard, H., 1997, "Moving Bed Biofilm Reactors and Chemical Precipitation for High Efficiency Treatment of Wastewater from Small Communities", *Water Science and Technology*, Vol. 35, No. 6, pp. 71-79.

Sarikaya, H.Z., All-Marshoud, S. (1993), "Improvement of Dewatering Characteristics of Aerobically Digested Sludges", *Water Science and Technology*, Vol.28, No. 1, pp.47-51.

Storhaug, R.,1990, "Performance Stability of Small Biological Chemical Treatment Plants", *Water Science and Technology*, Vol. 22, No. 3-4, pp. 275-282.

Tanaka, Y., Miyajima, K., Funakosi, T. and Chida, S., (1995), "Filtration of Municipal Sewage by Ring Shaped Floating Plastic Net Media", *Water Research*, Vol. 29, No. 5, pp. 1387-1392.

Vosser, J.L., (1980) "Chemically Aided Settlement of Crude Sewage", *Prog. Wat. Tech.*, Vol.12, No.5, pp.411-426.

Vrale, L. and Jorden, R.M., (1971), "Rapid Mixing in Water Treatment", *JAWWA*, January, pp. 52-58.

Wilson, G.E., (1972), Initial Mixing and Turbulent Flocculation, PhD Thesis, University of California, Berkeley.

WPCF and ASCE, (1977), *Wastewater Treatment Plant Design*, Lancaster, USA.

WPCF, (1983), *Sludge Dewatering- Manual of Practice 20*, Washington.

WPCF, (1988), *Sludge Conditioning, Manual of Practice No.FD-14*, Alexandria, VA

WPCF, (1990), *Hazardous Waste Treatment Processes. Including Environmental Audits and Waste Reduction*, USA.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 13.01.1966

Doğum yeri Karaman

Lisans 1987-1992 İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fak.
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1993-1995 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enst.
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Çevre Mühendisliği Programı

Doktora 1995-1999 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enst.
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı,
Çevre Mühendisliği Programı

Çalıştığı kurum 1993-Devam ediyor YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü
Araştırma Görevlisi