

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ENDÜSTRİDE KULLANILAN METAL KAPLAMA TESİSLERİNDEKİ
ATIKSUYUN GERİ KAZANIMI, PROSESİN HAMMADDE SU VE ENERJİ
AÇISINDAN İNCELENEREK VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KEMAL TÜTÜN

(Y1313.08.0004)

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yeşim BÜYÜKAKINCI

Mayıs, 2017



T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı Makina Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1313.080004 numaralı öğrencisi Kemal TÜTÜN'ün "ENDÜSTRİDE KULLANILAN METAL KAPLAMA TESİSLERİNDEKİ ATIK SUYUN GERİ KAZANIMI, PROSESİN HAMMADDE, SU VE ENERJİ AÇISINDAN İNCELENEREK VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 16.05.2017 tarih ve 2017/11 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *aylortup!* ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak *kabul* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 27.05.2017

1) Tez Danışmanı: Doç. Dr. Banu Yeşim BÜYÜKAKINCI

2) Jüri Üyesi : Prof. Dr. Zafer UTLU

3) Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Bülent DEMİR

[Handwritten signatures in blue ink, corresponding to the names listed above.]

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Endüstride Kullanılan Metal Kaplama Tesislerindeki Atıksuyun Geri Kazanımı, Prosesin Hammadde Su Ve Enerji Açısından İncelenerek Verimliliğinin Artırılması” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim(10/05/2017).

Kemal TÜTÜN

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında atıksu arıtma-geri kazanım işleminde kullanılan yöntemler anlatılmış ve metal kaplama sektöründe geniş bir uygulama alanı bulunan alüminyum profil üzerine yapılan eloksal kaplama işleminde genel olarak kullanılan kaplama banyolarının karakterleri ortaya konulmuştur. Bu çalışma; son yıllarda uygulanmaya başlanan klasik arıtma yöntemlerinin daha gelişmiş halinin uygulanmasını sağlayan ileri arıtma yöntemleri kullanılarak eloksal kaplama banyolarından hammadde ve atıksu geri kazanım işlemlerinin değerlendirmesini ayrıca eloksal kaplama banyolarının ısıtılması, soğutulması, ve banyolardan oluşan emisyonlar için gerekli ısı transferi, termodinamik ve akışkanlar mekaniği hesaplarının yapılmasını kapsamaktadır.

Geri kazanım işlemleri ile hem proses maliyetleri azalmakta hem de banyoların kirlilik konsantrasyonlarının(yüklerinin) düşürülmesi ile banyo sürekliliği sağlanabilip kaplama kalitesi, dolayısı ile proses verimliliği artmaktadır.

Atıksular çeşitli amaçlarla geri kazanılarak tekrar kullanıldığında, yer altı su kaynaklarının potansiyeli korunabilmekte veyer altı su seviyesinin daha aşağılara düşmesi engellenebilmektedir. Böylece kuyu kullanımı ile su temininde kullanılacak pompa güçlerinin artması engellenerek bunların maliyetleri ve enerji tüketimleri azalmaktadır. Atıksudan geri kazanılan kimyasallar ile hammadde tasarrufu sağlanarak sürdürülebilir kalkınma desteklenmekte, atıksuyun geri kazanımı ile arıtma tesisine arıtılmak üzere daha az atıksu gönderilerek arıtma ve enerji maliyetleri(arıtma işleminde daha az hammadde-kimyasal kullanımı dahil) azalmakta ayrıca proste ve arıtma tesisinde daha az hammadde kullanımı ve daha az atıksu oluşumu ile faaliyetin çevre boyutu(hava, toprak, su kirliliğine olan etkisi ve doğal kaynak kullanımı) azalmaktadır.

Bu tezin hazırlanmasında bana yardımcı olan İstanbul Aydın Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Zafer UTLU'ya, İstanbul Aydın Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Banu Yeşim BÜYÜKAKINCI'ya ayrıca uygulama işleminin yapılmasına yardımcı olan EPA Çevre Teknolojileri ve Endüstriyel Ürünler Tic. Ve San. Ltd, Şti.'ne çok teşekkür ederim.

Mayıs 2017

Kemal TÜTÜN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET.....	xxiii
ABSTRACT	xxv
1 GİRİŞ.....	1
2 GENEL BİLGİ.....	7
2.1 Atıksuların Yeniden Kullanımı	7
2.2 Metal Kaplama	13
2.2.1 Metal Kaplamanın Amacı	14
2.2.2 Metal Kaplama İşlemleri(Yöntemleri).....	14
2.2.2.1 Kataforez Kaplama.....	14
2.2.2.2 Galvaniz(Çinko) Kaplama	15
2.2.2.3 Anodik Oksidasyon(Ekoksal) Kaplama.....	21
2.2.2.4 Diğer Kaplamalar(Bakır, Nikel, Kalay, Gümüş ve Altın) İçin Genel Uygulama	28
2.2.2.5 Metal Kaplama Atıksularının Özellikleri.....	34
2.3 Atıksu Arıtımı.....	37
2.3.1 Fiziksel(Mekanik) Yöntemler	40
2.3.1.1 Izgaralama(Izgaradan Geçirme).....	40
2.3.1.2 Elekten Geçirme(Öğütücü)	41
2.3.1.3 Kum Tutma(Kum Tutucu)	41
2.3.1.4 Dengeleme.....	42
2.3.1.5 Yüzdürme(Flotasyon)	42
2.3.1.6 Çöktürme.....	43
2.3.1.7 Aktif Karbonlama(Adsorbsiyon)	45
2.3.1.8 Süzme(Filtrasyon)	47
2.3.2 Kimyasal Yöntemler	50
2.3.2.1 Nötralizasyon	50
2.3.2.2 Koagülasyon-Flokülasyon(HızlıKarıştırma-Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma).....	50
2.3.2.3 İyon Değişirme.....	56
2.3.2.4 Kimyasal Oksidasyon	57
2.3.2.5 Dezenfeksiyon.....	58
2.3.3 Biyolojik Yöntemler	58
2.3.3.1 Aerobik Arıtma(Aktif Çamur Sistemi)	59
2.3.3.2 Anaerobik Arıtma Sistemleri	61
2.3.3.3 Damlatmalı Filtreler	62
2.3.3.4 Oksidasyon Havuzları	62

2.3.4	İleri Arıtma Yöntemleri.....	63
2.3.4.1	Membran Biyoreaktörler(MBR)	63
2.3.4.2	Membran Prosesleri.....	65
2.3.4.3	Elektrodiyaliz(ED)	72
2.3.4.4	İleri Oksidasyon	74
2.3.4.5	Elektrokimyasal Yöntemler.....	74
2.4	Metal Kaplama İşlemindeki Atıksu Arıtma Yöntemlerinin Uygulamaları .	82
2.5	Atıksuklardan Ağır Metallerin Giderimi	83
2.5.1	Siyanür Giderme	85
2.5.2	Krom Giderme.....	85
2.5.3	Kadmiyum Giderme	86
2.5.4	Bakır Giderme	86
2.5.5	Demir Giderme.....	86
2.5.6	Nikel Giderme	86
2.5.7	Çinko Giderme	87
3	MATERYAL VE METOD.....	89
3.1	Ultrafiltrasyon(UF) Ve Nanofiltrasyon(NF) Pilot Ünitesi	91
3.2	Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Pilot Ünitesi	92
3.3	Anyonik-Katyonik Demineralize(AKD) Pilot Ünitesi	94
4	UYGULAMA.....	97
4.1	Ultrafiltrasyon(UF) Pilot Ünitesi Geri Kazanım Çalışmaları.....	101
4.2	Mat Durulama Atıksularında NF Pilot Ünitesi İle İletkenlik Giderimi, Kostik Ve Alüminyum Geri Kazanımı	102
4.3	Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Pilot Ünitesi İle Eloksal Banyosundan Asit Geri Kazanımı.....	105
4.4	Eloksal Durulama Atıksularında NF İle İletkenlik Giderimi, Asit ve Alüminyum Geri Kazanımı	108
4.5	AKD Pilot Ünitesi İle Eloksal Durulama Banyosu Atıksularından İletkenlik Giderimi İle Atıksu Geri Kazanımı	111
4.6	AKD Pilot Ünitesi İle Renklendirme Durulama Banyosu Atıksularından İletkenlik Giderimi Yapılarak Atıksu Geri Kazanımı	118
4.7	AKD Pilot Ünitesi İle Tespit Durulama Banyosu Atıksularından İletkenlik Giderimi Yapılarak Atıksu Geri Kazanım Çalışmaları	119
5	HESAPLAMALAR.....	125
5.1	Mat(Kostik) Durulama Banyolarından Gerçek Ölçekli Nanofiltrasyon Ünitesi Çalışması.....	125
5.2	Eloksal Kaplama(Asit) Banyoları İçin Gerçek Ölçekli Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Ünitesi İle Asit Geri Kazanım Çalışması.....	129
5.3	Eloksal Durulama Banyoları İçin Gerçek Ölçekli AKD Ünitesi Çalışması	133
5.4	Renklendirme Durulama Banyoları İçin Gerçek Ölçekli AKD Ünitesi Çalışması	143
5.5	Tespit Durulama Banyoları İçin Gerçek Ölçekli AKD Ünitesi Çalışması	150
5.6	Çalışmanın Enerji Bakımından İncelenmesi	156
5.6.1	Eloksal Kaplama Yağ Alma Banyosunun Isıtılması Hesabı	160
5.6.2	Eloksal Kaplama Sökme Banyosunun Isıtılması Hesabı	161
5.6.3	Eloksal Kaplama Mat(Kostik) Banyosunun Isıtma Hesabı.....	162
5.6.4	Eloksal Kaplama Eloksal Banyosunun Soğutulması Hesabı	165
5.6.5	Eloksal Kaplama Renklendirme Banyosunun Isıtılması Hesabı.....	167
5.6.6	Eloksal Kaplama Soğuk Tespit Banyosunun Isıtılması Hesabı	168

5.6.7	Eloksal Kaplama Sıcak Tespit Banyosunun Isıtılması Hesabı	169
5.6.8	Eloksal Kaplama Eloksal Banyosu Hava Emiş Sistemi Hesabı	172
6	BULGULAR VE TARTIşMA.....	177
7	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	197
	KAYNAKLAR	203
	ÖZGEÇMİş.....	209

KISALTMALAR

UF.	: Ultrafiltrasyon
NF.	: Nanofiltrasyon
AİD.	: Anyonik İyonik Demineralize
AKD.	: Anyonik Katyonik Demineralize
AKF.	: Akrif Karbon Filtre
KF.	: Katyonik Filtre
AF.	: Anyonik Filtre
RO.	: Ters Osmoz
KÖ.	: Kirlilik Önleme
TÜ.	: Temiz Üretim
SKKY.	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
TDS.	: Toplam Çözünmüş Katılar
BOİ.	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
MF.	: Mikrofiltrasyon
AKM.	: Askıdaki Katı Madde
TKM.	: Toplam Katı Madde
MBR.	: Membran Biyoreaktörler
ED.	: Elektrodializ
UV.	: Ultraviyole
İOP.	: İleri Oksidasyon Prosesleri
KOİ.	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
SKHKKY.	: Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Eloksal Kaplama Kalınlığı İçin Banyo Özellikleri.....	24
Çizelge 2.2: Metal Kaplama Endüstrisi Üretim Proseslerinde Kirletici Kaynakları .	35
Çizelge 2.3: Metal Kaplama Endüstrisi Atıksularının Özellikleri.....	36
Çizelge 2.4: Atıksulardaki Kirleticileri Gidermek İçin Arıtma Yöntemleri	39
Çizelge 2.5: Aktif Karbon İle Ağır Metal Giderimi	80
Çizelge 2.6: Atıksu Geri Kazanımı İçin Uygulanan Arıtma Teknolojileri Ve Giderdikleri Kirleticiler .	81
Çizelge 2.7: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Metal Sanayi(Alüminyum Oksit ve Alüminyum İzabesi) Deşarj Limitleri.....	82
Çizelge 2.8: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Metal Sanayi(Elektrolitik Kaplama, Elektroliz Usulüyle Kaplama) Deşarj Limitleri.....	83
Çizelge 2.9: Değişik Sektörlere Göre Atıksularda Meydana Gelen Ağır Metaller ...	84
Çizelge 3.1: NF Pilot Ünitelerde Kullanılan Membranlar Ve Özellikleri	92
Çizelge 4.1: Uygulama Yapılan Eloksal Kaplama Banyoları ve Özellikleri.....	97
Çizelge 4.2: Mat(Kostik) Durulama Atıksuları UF Pilot Ünitesi Çalışma Verileri	101
Çizelge 4.3: KOCH SELRO34 Membran İle Mat Durulama Atıksularının Geri Kazanım Tablosu	102
Çizelge 4.4: AMS B4022 4040 Membran İle Mat Durulama Atıksularının Geri Kazanım Tablosu.....	103
Çizelge 4.5: FILMTEC NF 270-4040 Membran İle Mat Durulama Atıksularının Geri Kazanım Tablosu	104
Çizelge 4.6: Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Pilot Ünitesinde Çalışılan Reçinelerin Karşılaştırma Tablosu	107
Çizelge 4.7: KOCH MPS SELRO34 Membran İle Eloksal Durulama Banyosu Atıksularının NF Pilot Ünitesinde Giriş-Çıkış Çalışma Değerleri	108
Çizelge 4.8: AMS S3012 4040 Membran İle Eloksal Durulama Banyosu Atıksularının NF Pilot Ünitesinde Giriş-Çıkış Çalışma Değerleri	109
Çizelge 4.9: FILMTEC NF 270-4040 Membran İle Eloksal Durulama Banyosu Atıksularının NF Pilot Ünitesinde Giriş-Çıkış Çalışma Değerleri	110
Çizelge 4.10: Eloksal Durulama Atıksularının AKD Ünitesi İletkenlik Giderimi Deneme 1 Tablosu	113
Çizelge 4.11: Eloksal Durulama Atıksularının AKD Ünitesi İletkenlik Giderimi Deneme 2 Tablosu	115
Çizelge 4.12: Eloksal Durulama Atıksularının AKD Ünitesi İletkenlik Giderimi Deneme 3 Tablosu	117
Çizelge 4.13: Renklendirme Durulama Atıksularının AKD Ünitesi İletkenlik Giderim Tablosu	119
Çizelge 4.14: Tespit Durulama Atıksularının AKD Ünitesi İletkenlik Giderim Tablosu(Deneme 1).....	121
Çizelge 4.15: Tespit Durulama Atıksularının AKD Ünitesi İletkenlik Giderim Tablosu(Deneme 2).....	122

Çizelge 5.1: Mat Durulama Atıksuları İçin 15 m ³ /gün Kapasiteli NF Ünitesi Özellikleri	127
Çizelge 5.2: Mat Durulama Atıksuları 15 m ³ /gün Kapasiteli NF Ünitesi Günlük İşletme Giderleri Tablosu	128
Çizelge 5.3: Mat Durulama Atıksuları 15 m ³ /gün Kapasiteli NF Ünitesi İle Geri Kazanım Miktarları Tablosu	128
Çizelge 5.4: Eloksal Banyolarında 250 L Hacimde 5 m ³ /h Kapasiteli Gerçek Ölçekli AİD Ünitesi İle Geri Kazanım Maliyet Tablosu.....	132
Çizelge 5.5: Eloksal Banyoları 250 L Hacimde 5 m ³ /h Kapasiteli AİD Ünitesi İle Geri Kazanım Gelir Tablosu	132
Çizelge 5.6: Eloksal Durulama Banyosunda Kirliliğe Bağlı İçerik Değerleri.....	133
Çizelge 5.7: Eloksal Durulama Atıksuları 8 m ³ /saat Kapasiteli AKD Ünitesi Aktif Karbon Geri Yıkama Süreleri Ve Su Sarfıyatları Tablosu(Aktif Karbon 475 L,Ø750 mm)	137
Çizelge 5.8: Eloksal Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 8 m ³ /saat Kapasiteli AKD Ünitesi Reçine Geri Yıkama Süreleri Ve Su Sarfıyatları Tablosu(Katyonik Reçine 400 L, Ø750 mm)	138
Çizelge 5.9: Eloksal Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 8 m ³ /saat Kapasiteli AKD Ünitesi Anyonik Reçine Geri Yıkama Süreleri Ve Su Sarfıyatları Tablosu (Anyonik Reçine 800 L Ø900 mm)	139
Çizelge 5.10: Eloksal Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 8 m ³ /saat Kapasiteli AKD Ünitesi Rejenerasyon İçin Gerekli Günlük Su Ve Kimyasal Miktarı.140	
Çizelge 5.11: Eloksal Durulama Suları 8 m ³ /saat Kapasiteli AKD Ünitesi Dolgu Malzemeleri Günlük Maliyetleri.....	140
Çizelge 5.12: Eloksal Durulama Atıksuları 8 m ³ /saat AKD Ünitesi Günlük İşletme Maliyetleri.....	141
Çizelge 5.13: Renklendirme Durulama Banyosu Özellikleri Ve Değerleri.....	144
Çizelge 5.14: Renklendirme Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 2 m ³ /saat Kapasiteli AKD Aktif Karbon Filtresi Yıkama Tablosu(Aktif Karbon Miktarı 200 L)	146
Çizelge 5.15: Renklendirme Durulama Atıksuları 2 m ³ /saat Kapasiteli AKD Ünitesi Katyonik Filtre Rejenerasyon Tablosu (Katyonik Reçine Miktarı 200 litre).....	146
Çizelge 5.16: Renklendirme Durulama Atıksuları 2 m ³ /saat Kapasiteli AKD Ünitesi Anyonik Rejenerasyon Tablosu(Anyonik Reçine Miktarı 200 litre)..	147
Çizelge 5.17: Renklendirme Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 2 m ³ /saat Kapasiteli AKD Ünitesi Rejenerasyon İşlemi İçin Gerekli Günlük Su Ve Kimyasal Miktarı.....	148
Çizelge 5.18: Renklendirme Durulama Suları Gerçek Ölçekli 2 m ³ /saat Kapasiteli AKD Ünitesi Dolgu Malzemeleri Günlük Maliyetleri	148
Çizelge 5.19: Renklendirme Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 2 m ³ /saat AKD Ünitesi Günlük İşletme Maliyetleri.....	149
Çizelge 5.20: Tespit Durulama Banyosu Özellikleri Ve Değerleri	151
Çizelge 5.21: Tespit Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 3 m ³ /saat Kapasiteli AKD Ünitesi Karbon Filtresi Yıkama Tablosu(Aktif Karbon Miktarı 300 litre).....	153
Çizelge 5.22: Tespit Durulama Atıksuları 3 m ³ /saat Kapasiteli AKD Ünitesi Katyonik Filtre Tablosu (Katyonik Reçine Miktarı 300 litre)	153
Çizelge 5.23: Tespit Durulama Atıksuları 3 m ³ /saat Kapasiteli AKD Ünitesi Anyonik Filtre Rejenerasyon Tablosu(Anyonik Reçine Miktarı 300 litre)	154

Çizelge 5.24: Tespit Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 3 m ³ /saat Kapasiteli AKD Ünitesi Rejenerasyon İşlemi İçin Gerekli Günlük Su Ve Kimyasal Miktarı	154
Çizelge 5.25: Tespit Durulama Suları Gerçek Ölçekli 3 m ³ /saat Kapasiteli AKD Ünitesi Dolgu Malzemeleri Günlük Maliyetleri	155
Çizelge 5.26: Tespit Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 3 m ³ /saat AKD Ünitesi Günlük İşletme Maliyetleri	155
Çizelge 5.27: Eloksal Kaplama Banyoları Geri Kazanım Üniteleri Enerji Tablosu	157
Çizelge 5.28: Gerçek Ölçekli Geri Kazanım Ünitelerinin Kullanılmasına Bağlı Olarak Kimyasal Arıtma Tesisi'nden Sağlanacak Enerji Tasarrufu Tablosu.....	158
Çizelge 6.1: Eloksal Kaplama Banyoları Pilot Ölçekli Ünitelerle Geri Kazanım Tablosu.....	178
Çizelge 6.2: Eloksal Kaplama Banyoları Geri Kazanım Maliyet Tablosu.....	189
Çizelge 6.3: Eloksal Kaplama Banyoları Geri Kazanım Kazanç Tablosu.....	191
Çizelge 6.4: Eloksal Kaplama Banyoları Atıksu Geri Kazanım Miktar Tablosu....	193

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Atıksuların Proses Suyu Olarak Kullanımında Sistemik Yaklaşım Şeması	10
Şekil 2.2: Türkiye’de Atıksular Mevzuatı İçin Oluşturulan Kanun, Yönetmelik ve Tebliğler Şeması.....	13
Şekil 2.3: Sıcak Daldırma İle Yapılan Galvanizleme İşlemi.....	15
Şekil 2.4: Çinko(Galvaniz) Kaplama Banyosunda Yapılan İndirgenme-Yükseltgenme İşlemi.....	17
Şekil 2.5: Galvaniz Çinko Kaplama Prosesi İş Akış Şeması.....	18
Şekil 2.6: Eloksal(Anodik Oksidasyon) Kaplama Genel İş Akım Şeması.....	26
Şekil 2.7: Dolaplı Bakır, Nikel, Kalay, Gümüş, Altın Kaplama Öncesi Hazırlık İş Akış Şeması.....	31
Şekil 2.8: Dolaplı Nikel ve Kalay Kaplama İş Akış Şeması	31
Şekil 2.9: Dolaplı Gümüş Kaplama İş Akış Şeması	32
Şekil 2.10: Şerit İle Kaplama(Nikel, Kalay) İş Akış Şeması.....	33
Şekil 2.11: Şerit İle Kaplama(Bakır, Gümüş, Altın) İş Akış Şeması	34
Şekil 2.12: Koagülasyon Mekanizması	52
Şekil 2.13: Aktif Çamur Sistemine Sahip Havalandırma Havuzlu Klasik Bir Biyolojik Arıtma Tesisi Şeması	61
Şekil 2.14: Membran Biyoreaktörlerde Uygulanan Değişik Tertip Tarzları.....	63
Şekil 2.15: Tipik Bir Membran Bioreaktör(MBR) Ünitesi	64
Şekil 2.16: Membran Proseslerle Ayırma İşleminin Şematik Gösterimi	66
Şekil 2.17: Membran Prosesi’nde Çapraz Akış.....	66
Şekil 2.18: Atıksuda Kirletici Büyüklüklerine Göre Kullanılacak Membran Çeşidi.....	67
Şekil 2.19: Mikrofiltrasyon Uygulaması	68
Şekil 2.20: Ultrafiltrasyon Uygulaması	69
Şekil 2.21: Nanofiltrasyon Uygulaması.....	70
Şekil 2.22: Membran Prosesine Ait Genel Bir Uygulama Şeması	72
Şekil 2.23: Elektriksel Potansiyel Sürücülü Elektrodializ Prosesi	73
Şekil 2.24: Elektrokoagülasyon Prosesi	76
Şekil 3.1: UF Pilot Ünitesi Ve NF Pilot Ünitesi Resmi.....	91
Şekil 3.2: Alkali Ve Asidik Durulama Banyolarından Oluşan Atıksular İçin Pilot Membran(UF ve NF) Ünitesi Genel Akış Şeması	91
Şekil 3.3: Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Pilot Ünitesi Resmi.....	93
Şekil 3.4: Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Pilot Ünitesi Akış Şeması.....	93
Şekil 3.5: Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Pilot Ünitesi Geri Yıkama Akış Şeması.....	94
Şekil 3.6: Anyonik-Katyonik Demineralize(AKD) Pilot Ünitesi Genel Akış Şeması	95
Şekil 3.7: Anyonik-Katyonik Demineralize(AKD) Pilot Ünitesi Resmi.....	96
Şekil 4.1: UF Pilot Ünitesi Giriş Ve Çıkış Numune Resmi.....	101
Şekil 4.2: Mat Durulama Atıksuları İle NF Pilot Ünitesinde Farklı Membranlar İle Yapılan Çalışmalara Ait Karşılaştırma	105

Şekil 4.3: Anyonik İyon Değişirici(AİD) Pilot Ünitesi Uygulama Akış Şeması	106
Şekil 4.4: Anyonik İyon Değişirici(AİD) Pilot Ünitesi Geri Yıkama Uygulama Akış Şeması	106
Şekil 4.5: Eloksal Durulama Atıksuları İçin 3 Farklı NF Membranının Performans Karşılaştırmaları Grafiği.....	111
Şekil 4.6: Eloksal Durulama Banyosu Atıksuları İçin AKD Pilot Ünitesinde Yapılan Çalışmaya Ait Akım Şeması(Deneme 1)	112
Şekil 4.7: Eloksal Durulama Banyosu Atıksuları İçin AKD Pilot Ünitesinde Yapılan Çalışmaya Ait Akım Şeması(Deneme 2)	114
Şekil 4.8: Eloksal Durulama Banyosu Atıksuları İçin AKD Pilot Ünitesinde Yapılan Çalışmaya Ait Akım Şeması(Deneme 3)	116
Şekil 4.9: Renklendirme Durulama Banyosu Atıksuları AKD Pilot Ünite Akış Şeması	118
Şekil 4.10: Tespit Durulama Atıksuları AKD Pilot Ünitesi Akım Şeması.....	120
Şekil 5.1: KOCH SEL RO MPS 34 Membran İle Gerçek Ölçekli 15 m ³ /gün Kapasiteli NF Ünitesi Akış Şeması	126
Şekil 5.2: Eloksal Banyoları Gerçek Ölçekli 250 L Hacimli 5 m ³ /h Kapasiteli Asit Geri Kazanım Sistemi(AİD) Akış Şeması.....	130
Şekil 5.3: Eloksal Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 8 m ³ /h Kapasiteli AKD Ünitesi Akış Şeması	136
Şekil 5.4: Renklendirme Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 2 m ³ /h Kapasiteli AKD Ünitesi Akış Şeması	145
Şekil 5.5: Tespit Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 3 m ³ /h Kapasiteli AKD Ünitesi Akış Şeması.....	152
Şekil 5.6: Eloksal Kaplama Yağ Alma Banyosu Ve Isıtılması.....	160
Şekil 5.7: Eloksal Kaplama Kostik Banyosu Ve Isıtılması	162
Şekil 5.8: Eloksal Kaplama Eloksal Banyosu Ve Soğutulması	165
Şekil 5.9: Eloksal Kaplama Sıcak Tespit Banyosu Ve Isıtılması	169
Şekil 5.10: Eloksal Kaplama Eloksal Banyosu Emisyon Emiş Sistemi	172
Şekil 5.11: Emiş Fanı Vantilatörü.....	174

ENDÜSTRİDE KULLANILAN METAL KAPLAMA TESİSLERİNDEKİ ATIKSUYUN GERİ KAZANIMI, PROSESİN HAMMADDE SU VE ENERJİ AÇISINDAN İNCELENEREK VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI

ÖZET

Extrüzyon yöntemiyle üretilen alüminyum profil malzeme üzerine yapılan eloksal kaplama, eloksal banyolarında kullanılan asidin elektrolit, kaplanacak olan profil malzeme ise anot görevi yaptırılarak genellikle doğru akım ile yapılan elektroliz işlemidir.

Eloksal kaplama işleminde kullanılan banyolar; asit, baz ve banyo özelliğine göre banyo kararlılığının sağlanması için çeşitli çözeltiler, farklı kimyasallar içermektedir. Banyolardan geçiş esnasında bir sonraki banyoya malzeme üzerindeki banyo çözeltisi taşınmakta ve banyoların konsantrasyonları dolayısı ile banyoların kirlilik yükleri de zamanla artmaktadır. Kaplama verimliliğini artırmak için banyoların en uygun başlangıç şartlarına getirilmesi amacıyla değişimi yapılmaktadır. Banyolardaki kirliliğinin tespitinde iletkenlik, asitlik, bazlık, PH gibi analizler yapılmakta ve analiz sonucuna göre banyoların değişimi ayrıca banyo kararlılığının sağlanmasında gerekli olan kimyasalların banyolara eklenmesi yapılmaktadır. Eloksal ve durulama banyolarından atıksu ve hammadde geri kazanımı için son yıllarda kullanılmaya başlanan klasik arıtma yöntemlerindeki arıtma yetersizliklerini gideren ileri arıtma yöntemlerden reçineli iyon değiştiriciler ve membran prosesler(Ultrafilresayon(UF) ve Nanofiltrasyon(NF)) kullanılmaktadır.

Geri kazanım-arıtma verimliliği atıksu karakterine, arıtma işleminde kullanılan yöntemlere ve bu yöntemlerde kullanılan ekipmanın özelliğine göre değişkenlik göstermekle beraber, geri kazanılan hammadde ve atıksu ile kaplama maliyetleri düşürülmekte, proses verimliliği artırılmakta ve doğal kaynak tasarrufu sağlanmaktadır. Kaplamadan oluşan çevre kirliliğinin azaltılmasıyla sürdürülebilir kalkınma desteklenirken ülke ekonomisine de katkı sağlanmış olacaktır.

Reçineli ve membranlı filtreler kullanılarak pilot uygulama yapılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Pilot uygulamada elde edilen verilerle gerçek arıtma-geri kazanım ünitelerinin tasarlanması ayrıca prosesin hammadde su ve enerji açısından değerlendirilmesi yapılmıştır

Anahtar Kelimeler: *Eloksal kaplama, atıksu, arıtma, geri kazanım,*

RECOVERY OF WASTEWATER THAT AT METAL PLATING INDUSTRY USED, EXAMINED IN PROPERTIES OF RAW MATERIAL WATER AND ENERGY IS INCREASING EFFICIENCY

ABSTRACT

Anodizing that done on aluminum material with extrusion method, providing use as electrolyte of acid and anode of aluminum material at anodizing baths is usually with done direct current a electrolysis process.

Anodizing baths used in the coating process are comprising different chemicals and solutions that according to acid, bas and bath characterized for ensure stability of the bathroom. Bathroom solution on material is moved during transition to the next bathroom and thus bath concentration and pullotion load are increasen in time. For increasing bathroom efficiency are chenged of baths for to bring the mostappropriate initial conditions. For determination pullution of bathrooms are done conductivity, acidity, alkanity and as pH analysis and according to result analysis are bathroms chenged also supplement necassary chemicals to bathrooms for stability bathroom. Recovery for raw materials and waste water than anodizing and rinse bathrooms are used ion exchange resins and membrane process(Ultrafiltration(UF) and Nanofiltration(NF)) one of then higher treatment methods that begun to use in recent years and insufficiency eliminates in conventional treatment methods.

While recovery-treatment efficiency shows variability according to used methods and equipment characteristic for the use at treatment process, within recovery; raw materials and wastewater, coating costs are decreased, process efficiency is increased and the saving of natural resource is provided. While a sustainable development is supported with the decreasing of environmental pollution due to coating, also the contribution to the national economy will be made.

Pilot application was carried out using resinous and membrane filters and successful results were obtained. Real treatment-coveyry units design carry out with data-informations that obtained finally of prototype practices. Also evaluate of process done for raw material, water and energy.

Keywords: *Anodising, wastewater, purification, recovery*

1 GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada, sanayinin gelişmesine bağlı olarak atıksu arıtımı gün geçtikçe daha önemli sorun oluşturmaktadır. Sanayinin daha ileri gitmesi açısından, fabrikaların yönetmelikteki yasal boşlukları kullanması ve atıksuyun deşarj limitlerinde olması için gerekli arıtım teknolojisinin çok pahalı olması sebebiyle tesisler(işletmeler) çevreyi bilinçsizce kirletmektedir. Bu nedenle tesisler, mevcut kullanılan metot ve teknolojilerin daha yüksek verim ve daha düşük maliyet ile işletilebilen alternatifleri aranmaktadır. Bununla birlikte nüfus artışına bağlı olarak meydana gelen üretim artışı da tesislerden oluşan atıksu miktarının artmasına sebep olmaktadır. Bu artış arıtım metot ve teknolojilerine yönelik alternatif arayışların daha önemli hal almasına sebep olmuştur [1]. Yasal boşluklar günümüzde hemen hemen tamamen ortadan kaldırılmış, deşarj kıstasları için limitler daraltılmış, Çevre Kanunu altında çıkarılan yönetmelik ve tebliğlerle bazı sektörlerin proseslerinde atıksu geri kazanımı, atıksudan kimyasal geri kazanımı, enerji kazanımı vb. kazanımlarda da eklenerek tesislerin temiz üretim planlarını hazırlamaları gerekmektedir. Hazırlanan temiz üretim planları bu planlardaki olan yıllık gelişmelerinyönetmelikler geriği Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na sunulmasıistenmektedir. Temiz üretim planlarındaki geri kazanımlar bazı sektörler için yasal zorunluluk olmakla birlikte(bu yasal zorunluluğun uygulandığı sektörlerle kaplama sektörünü de kapsayacak şekilde genişletilmesi bakanlıkça planlanmaktadır) bu kapsamda yapılan maliyetler kısa sürelerde geri dönüşebilmektedir. Bunun yanındaproses verimliliği artmakta ve kaplama işleminin oluştuğu faaliyetin çevre boyutu(hava kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği ve doğal kaynak kullanımı) iyileşmektedir.

Günümüzün en önemli sorunlarından biri olan küresel ısınmanın neden olduğu etkilerden biri de su kaynakları üzerine olmaktadır. Türkiye açısından ele alındığında yıllık tüketilebilecek su miktarı yaklaşık 112 milyar m³ olup, kişi başına yaklaşık yılda 1600 m³(4.38 m³/gün) su düşmektedir. Bu miktar büyük sanayi kentlerinde, gerek nüfusun hızla artması gerekse sanayi tesislerinin fazla

su tüketmesi nedeniyle daha da artmaktadır. Bu durum özellikle su kıtlığı yaşayan bölgelerde iyi bir su politikasının yanında arıtma tesislerinden çıkan arıtılmış atıksuların da yararlı kullanımlarına yönelik çalışmalara ağırlık kazandırmıştır [2].

Günümüzde sanayiden kaynaklanan atıkların denetimleri sıklaştırılmış, çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi çalışmaları hızlanmıştır. Bu konuda ilgili yönetimler uluslararası düzeyde kabul gören standart ve normlara uyulması konusunda çaba sarf etmektedirler. Bu nedenle sanayi alanında atıkların azaltılması, geri kazanımı ve çevreye verilen zararın azaltılmasını sağlayan teknolojilerin kullanımı teşvik edilmektedir. Metal kaplama tesislerinde yüksek miktarda kullanılan suyun geri kazanımı da son yıllardaki iklim değişikliği ve kuraklık paralelinde daha da önem kazanmıştır. Önceden düşük su maliyeti, su kaynaklarının bolluğu ve geri dönüşüm tesisi maliyetleri nedeniyle sanayicileri yatırımdan uzaklaştırmakta idi. Günümüzde ise bu durum değişmiştir. Su maliyetlerinin artması ile su kullanımına getirilmesi beklenen kısıtlamalar ve çevresel şartların iyileştirilmesinin gerekliliği su geri kazanımı sağlayacak teknolojilerin geliştirilmesini ve kullanılmasını cazip kılmıştır.

Son yıllarda doğal kaynaklardan olan suyun kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Teknoloji'nin gelişmesiyle birlikte artan tüketim, çevresel kirlilikle birlikte küresel ısınmaya ve bunun sonucunda da doğal kaynakların hızla tükenmesine neden olmaktadır. Bu nedenle son yıllarda doğal kaynakların tasarruflu kullanılması, geri dönüşüme önem verilmesi ve çevrenin doğal dengesini bozabilecek her türlü aktivitenin daha zararsız ve bilinçli şekilde kullanılması için çalışmalar yapılmakta, üretici ve tüketiciler bilinçlendirilmektedir.

Doğanın dengesinin bozulmasıyla birlikte en hızlı etkilenen su kaynakları olmaktadır. Su kaynakları ise sadece insan kullanımı için değil endüstri için de oldukça önemlidir. Endüstride birçok üretim prosesi suya bağımlıdır. Suya bağımlı olan üretimin başında metal kaplama endüstrisi gelmektedir.

Metal kaplama endüstrisi atıksularının arıtılması amacıyla farklı sistemler geliştirilmiştir. Bunların arasında siyanürlerin oksidasyonu, +6 değerlikli kromun +3 değerlikli hale indirgenmesi ve çöktürülmesi, asit artıklarının nötralizasyonu, metal artıklarının kimyasal yolla çöktürülmesi, iyon değiştirme,

ters ozmos, nötralizasyon, adsorbsiyon, oksidasyon arıtma teknolojileri sıralanabilir. Metal endüstrisi atıksularının biyolojik parçalanabilirlikleri oldukça düşüktür. Bu nedenle biyolojik, kimyasal ve fizikokimyasal arıtma proseslerinin metal kaplama atıksularına uygulanması her zaman yüksek verim sağlamayabilir [3].

Metal kaplama endüstrisinde yapılan kaplamalarda ne tür kaplama olursa olsun izlenecek yöntem kaplanacak malzemenin yüzey temizliği ile başlamaktadır. Yüzey temizliği için yağ alma işlemleri yapılmaktadır. Yağ alma işlemleri; sıcak yağ alma, asidik yağ alma ve elektrikli yağ alma olmak üzere genelde 3 çeşit olmaktadır. Her yağ alma işlemi yağ alma banyolarında yapılmakta ve her yağ alma işleminden sonra da durulama banyolarında durulamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle metal kaplama işlemlerinin ön hazırlığında dahi yüksek miktarda temiz suya ihtiyaç duyulmaktadır. Kaplama öncesi temizleme işlemlerinde durulama ve diğer kimyasal banyoların değişimine bağlı atıksu oluşumu daha az olmaktadır. Kaplama işleminden sonraki durulama ve diğer işlemler için kullanılan banyolarda kaplama verimliliğine etkileyen daha fazla kirlilik yükü olması nedeniyle bu banyolardan daha fazla atıksu oluşmaktadır.

Metal kaplama işlemlerinde kalitenin istikrarlı bir şekilde sağlanabilmesi için hem ön işlem banyolarının hem de kimyasal kaplama ve son işlem banyolarının fiziksel ve kimyasal şartları belirli değerlerde yerine getirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle asıl işlemin gerçekleştiği banyoların sıcaklık, konsantrasyon, kapasite vb. gibi değerlerinin yanında durulama banyolarındaki suyun kirlilik durumu da oldukça önemlidir. Durulama suyunun her daim temiz tutulması yapılan işin kalitesini büyük ölçüde etkilediğinden genelde durulama banyolarına sürekli temiz su beslenmektedir. Her ne kadar durulama banyolarından çıkan su kaplama kalitesini etkilese de her durulama banyosunun kirlilik seviyesi aynı değildir. Genelde çoğu durulama banyosundan çıkan suyun kolayca ve düşük maliyetle tekrar kullanılabilir hale getirilmesi mümkün olsa da işletmeler düşük kirlilikteki bu suyu tekrar değerlendirmeden arıtma tesisine göndererek arıtma tesisinin yükünü ve maliyetini artırmakta, arıtma için gereklifiziksel alanlar vb. gibi birçok kaynak verimsiz kullanılmaktadır. Bunun yanında arıtma tesisine daha fazla atıksu gitmesi nedeniyle çevreye(hava, toprak

ve suya)olan olumsuz etki ve bununda sonucunda meydana gelen çevre kirliliği artmaktadır.

Türkiye’de metal kaplama işlemleri için gerekli proses suyu ve proste kullanılan kimyasalların arıtma sistemleri ile geri kazanılarak tekrar aynı işlemlerde kullanılması konusunda uygulama yönünden ciddi bir eksiklik söz konusudur. Her ne kadar metal kaplama işlemi proseslerinde kullanılan kimyasallar ve kaplama yöntemleri bilinse de, durulama ve çözelti içeren diğer kimyasal banyoların arıtılarak bu banyolaradan geri kazanılan proses suyu ve kimyasalların tekrar proste kullanılması için yeterli düzeyde bilgi, uygulama ve tecrübe bulunmamaktadır.

Kaplama işleminde kullanılan kirlenme veya proses gereği banyodan atıksudan proses suyu ve hammadde geri kazanımı için gerekli kıstasların tanımlanması ve prosesin verimli bir şekilde çalıştırılması için gerekli değerlendirmelerin yapılması tez gerekçemizi oluşturmaktadır. Kaplama işleminde kullanılan banyoların ve bu banyoların proses özelliğine göre en verimli şartlarda çalıştırılması için gerekli koşulların oluşturulması için gerekli çalışmanın yapılması amaçlanmıştır.

Tez’in temel hedefi; arıtma-geri kazanım ünitesinin tasarlanmasında gerekli kıstaslarının belirlenerek yüksek verimlilikle geri kazanım işlemlerinin gerçekleştirilmesi ayrıca kaplama banyolarının amaca uygun olarak optimum şartlarda çalıştırılmasıdır. Atıksudan hammadde ve atıksu geri kazanım ile proses maliyetleri düşecek, bu konuda know how gelişecek, banyoların daha fazla kirlenmesi engellenerek kaplama verimliliği artacak, hammadde geri kazanımı ile hammaddelerin üretiminde kullanılacak olan enerji dahil doğal kaynak tasarrufu sağlanacaktır. Ayrıca kaplama banyolarının değişimine bağlı olarak arıtma tesisinde arıtılan atıksu miktarı azalacak, arıtma maliyetleri azalacak ve çevresel boyutta iyileştirme olacaktır.

Bu çalışmada atıksudan proses kullanım suyu ve hammadde geri kazanımının yapılarak kaplama işlemlerinin verimli bir şekilde yapılması için prosesin, atıksu geri kazanımı ve enerji açısından değerlendirilmesi yapılmıştır.

Yer altı ve yerüstü su kaynaklarının devamlı kullanımı ile sular kirlenmekte, arıtılması için maliyetler artmaktadır. Bunun yanında suyun yer altından temininde su seviyesinin kullanımlara bağlı olarak sürekli düşmesiyle kullanılacak yer altı suyunun daha derinlerden çıkarılmasına neden olmaktadır. Bu durumda maliyetler ve enerji sarfiyatı artmaktadır. Kullanılan suyun geri kazanılması bu konuda meydana gelen olumsuzluğun azaltılması bakımından fayda sağlayacaktır.

Kaplama banyolarından yapılan atıksu ve kimyasal(hammadde) geri kazanımı yapılarak kaplama banyolarından oluşacak atıksuyun arıtılmasıyla da içerisinde ağır metal içeren arıtma çamurlarının içerdiği tehlikelilik özelliği ve arıtma işleminden oluşacak arıtma çamurunun miktarı azalacaktır. Arıtma işleminden oluşan arıtma çamurlarının miktar ve tehlikelilik özelliğinin azaltılmasıyla bunların depolanması, taşınması ve bertaraf(yakma, düzenli depolama vb.)işlemlerin maliyetleri ve çevreye(hava kirliliğine, toprak kirliliğine ve su kirliliğine) olan olumsuz etkileri de azalacaktır.

Çevre kirliliğini artıran ve ekolojikdengenin bozulmasında önemli rol oynayan endüstri kuruluşlarının başında, atıksularında ağır metal içeren kuruluşlar gelmektedir. İlgili endüstri kuruluşları, süreçleri gereği çeşitli ağır metalleri kullanmakta ve atıklarında civa, çinko, kobalt, bakır, demir, kurşun, krom, arsenik ve gümüş gibi metal iyonlarını ihtiva etmektedir [4].

Kirlilik Önleme(KÖ) ve Temiz Üretim(TÜ) endüstrilerin çevre kirliliklerini önleme veya azaltma yolunda etkili yöntemler olup, birbiri ile örtüşen ve destekleyen etkinliklerdir. KÖ, endüstriyel kuruluşun varolan prosesinde büyük değişiklikler yapmaksızın, proses akım semasını detaylı bir incelemeye alır ve üretim sürecinde kontrolü/düzeni(good housekeeping), çevreye zararlı olmayan hammaddelerin kullanımını ve üretim basamaklarının azaltılmasını önerir. Yani KÖ, TÜ'ye ulaşmak için kullanılacak metodlardan birisidir [5]. Uygulamalarda atıksu geri kazanımda sağlanan maliyet düşürülmesinin yanında kullanılan su miktarının azaltılması kaplama endüstrileri için uygulanabilecek KÖ yollarından sadece birisidir.

Metal kaplama sanayi hızla gelişen sanayi dalları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Gelişen teknoloji ve tesislerine rağmen metal kaplama sanayi

büyük miktarda çevre kirliliğine neden olmaktadır. Metal kaplama tesisleri, belirlenen teknik dokümanlara uygun olarak ve birçok değişik metal malzemenin kullanım amacına yönelik işlem yapmaktadır [6]. Metal kaplama işlemlerinden oluşan atıksular fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle arıtılmaktadır. Arıtılan atıksular tesisin içinde bulunduğu Organize Sanayi Bölgesi Deşarj Yönetmeliği, Belediye'nin Deşarj Yönetmeliği'ne veya yaptığı faaliyete göre sektör bazında Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği(SKKY)'nde alıcı ortama(deniz, göl, dere, alt yapı tesisi vb.) için belirlenen deşarj kıstaslarına göre deşarj edilmektedir. Tesisler deşarj limitlerini aşmayacak şekilde atıksu deşarjlarını gerçekleştirmek için arıtma-geri kazanım işlemleri yapmaktadırlar.

Metal kaplama atıksularının toksik, kompleks, atıksu debi ve karakterinin değişken olması nedeniyle bunların arıtılması veya geri kazanımı için klasik arıtma yöntemlerine ilave olarak yeni arıtma yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Arıtma-geri kazanım işlemi için kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerinden bir tanesi yada birkaçı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kullanılan yöntemin özelliğine ve birkaç yöntemin birlikte kullanımına göre arıtma işlemleri; birincil(ön) arıtma, ikincil arıtma, üçüncül arıtma ve ileri arıtma olarak da ayrıca tanımlanabilmektedir. İler arıtma haricindeki arıtmalarla deşarj limitleri sağlanabilmekle birlikte proses suyunun kullanılmasında bunlar yerli olmayıp ileri arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada da atıksu ve hammaddenin geri kazanılarak proste kullanılmasında için ileri arıtma yöntemleri olan reçineli iyon deşitiriciler, Ultrafilresayon(UF) ve Nanofiltrasyon(NF)membran prosesleri kullanılmıştır.

Atıksular geri kazanım ile çeşitli amaçlarla kullanıldığında; yer altı su kaynaklarının potansiyeli korunacak, kuyudan su temini ile yer altı su seviyesinin daha aşağılara düşmesi ve su teminindeki maliyet artışları engellenecektir. Atıksudan hammadde geri kazanılmasıyla sürdürülebilir kalkınma desteklenecektir. Böylece daha az çevre kirliliği ve bu kirliliğinin ekolojik çevrede meydana getirdiği olumsuz etki azalacaktır. Deşarj limitlerinin sağlanması ile de meydana gelebilecek çevresel cezalar önlenebilecektir.

2 GENEL BİLGİ

Bu bölümde atıksuların tekrar kullanımı, metal kaplama endüstrisinden kaynaklanan atıksuların özellikleri ve metal kaplama işlemleri devamında atıksuların tekrar kullanımı için arıtma-geri kazanım yöntemleri anlatılmıştır.

Atıksuların geri kazanılarak tekrar kullanımının faydaları, kullanım alanları ve Türkiye'deki kullanımına ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir.

2.1 Atıksuların Yeniden Kullanımı

Özellikle sanayinin ve nüfusun yoğun olduğu kentlerde yeterli miktarda suyun olmaması, su temininde karşılaşılan güçlükler, su ve atıksu ücretlerindeki hızlı artışlar, atıksuların yeniden kullanımı konusunun gündeme gelmesine neden olmuştur [7]. Atıksuların yeniden kullanımı konusunun gündeme gelmesine, atıksuyun oluşmadan geri kazanımıyla atıksu maliyetlerinin düşürülmesi konusunu da ilave edebiliriz.

Atıksuların geri kazanımının sağlayacağı faydalar aşağıdaki gibidir;

- a) Daha az enerji tüketimine neden olur.
- b) Yeni su kaynaklarının daha az tüketilmesine neden olur.
- c) Arıtılmış atıksuların geri kazanılması, yüzey sularının atıksu deşarjlarıyla kalitesinin bozulmasını azaltır [8].
- d) Çeşitli uygulamalar için arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı ile hem tatlı (temiz) su kaynaklarında büyük tasarruf sağlanacak hem de akarsu, göl vb. su kütleleri atıksu deşarjından korunarak yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesi önlenmiş olacaktır. Ayrıca arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılması ile gübre ihtiyacı azalacak ve böylece ekonomiye de katkı sağlayacaktır [9].

Yukarıda açıklanan faydalara aşağıdaki faydaları da ilave edebiliriz;

- a) Atıksuların arıtma tesisinden önce proseste geri kazanımı ile atıksu arıtımından kullanılan enerji ve hammadde tasarrufu sağlanır.

- b) Atıksu arıtımı için oluşan atıkların miktarı, bu atıkların çevreye vereceği olumsuz etkileri ayrıca bu atıkların bertaraf veya geri kazanım maliyetleri azalır.
- c) Atıksu geri kazanımında yapılan uygulamalarla kimyasal kullanımı ile kimyasalın üretiminde kullanılan doğal kaynak kullanımı, ve enerji kullanımı azalarak sürdürülebilir kalkınma desteklenir.
- d) Atıksu deşarjındaki çevre faaliyetin çevre boyutunun (hava kirliliği, toprak kirliliği, su kirliliği, doğal kaynak kullanımı) etkisi azaltılır.
- e) Arıtılan atıksuların yeraltı suyu beslemesinde kullanılarak azalan yeraltı su seviyesinin ve miktarlarının artırılmasına katkı sağlanır.

Arıtılan atıksular çok çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Arıtılmış atıksuların başlıca kullanım alanları arasında; tarımsal sulama, arazi sulaması (park ve bahçe sulaması), kentsel ve evsel kullanım, endüstriyel kullanım (soğutma ve proses suyu olarak kullanılması), çevresel uygulamalar (yüzey sularına verme ve yer altı sularına reşarj), rekreasyon faaliyetleri şehir temizliği, yangın, inşaat gibi klasik uygulamalarda kullanım sayılabilir.

Arıtılmış sular habitat oluşturma, restorasyon ve/veya iyileştirme, bir su kütlesine deşarjdan önce arıtılmış suya ek bir arıtma sağlama gibi çeşitli sebeplerle de sulak alanlara uygulanabilir [9]. Ayrıca arıtılmış atıksular gölleri geliştirme, bataklık iyileştirme ve akarsu akımlarını çoğaltma gibi uygulamalar için de kullanılır.

Atıksuların tekrar kullanımında tarımsal sulama, kentsel ve endüstriyel sulama, endüstriyel kullanım ve yeraltı suyu beslemesi gibi yaygın olarak uygulamalar aşağıda açıklanmıştır;

Genelde toplam tatlı su tüketiminin % 40'ı gibi oldukça önemli bir bölümünü tarımsal sulama oluşturmaktadır. Dolayısıyla, tarımda, arıtılmış atıksuyun geri kullanımı önemli miktarda su korunumu sağlamaktadır ve diğer kullanımlarla birlikte planlanması halinde ise, geri kullanımda önemli bir yüzdeyi oluşturmaktadır [9].

Tarımsal sulama için arıtılan atıksuların kullanılması ile [10];

- a) Su kıtlığı çözülebilir,

- b) Bütün bir yıl boyunca atıksuların büyük bir miktarı bertaraf edilebilir,
- c) Kalitesi yüksek olan kaynaklar içme suyu olarak kullanılabilir,
- d) Ekonomik faydalar sağlanabilir,
- e) Atıksuyun nutrient içeriği tarımsal ürünler için katkı sağlayabilir [11].

Atıksuların tarımda kullanımı hem olumlu hem de olumsuz çevresel etkilere sahiptir [12]. Kentsel arıtılmış atıksular humik maddeler, ağır metaller, pestisitler, dezenfeksiyon yan ürünleri, endüstriyel kirleticiler, mikroorganizmalar, organik ve inorganik maddeler içerir. Bu kirleticilerin bir kısmı klasik atıksu arıtımıyla kısmen giderilemediği için arıtılmış suda bulunabilir [13]. Sulama için arıtılan atıksuların yeniden kullanımı, birincil ve ikincil arıtma prosesleri ile giderilemeyen nutrientlerin çoğunu giderdiği için atıksu kullanımının en iyi yolu olabilir, pahalı üçüncül arıtma ihtiyacını azaltır ve sınırlı temiz su kaynakları kentsel amaçlar için kullanılır. Nutrientler, özellikle azot ve fosfor gübre tasarrufunda önemli bir faktör olabilir [14].

Birçok kurak ve yarı kurak ülkede su giderek kaynaklarının azalmasında tehdit oluşturmaktadır ve toprakları sulamak için az ve daha düşük kaliteli su kullanımı sorunuyla karşı karşıyadır [15]. Ancak bu uygulamaya öncelikli olarak patojen mikroorganizmalar ile besinlerin kirlenmesinden dolayı insan sağlığı için riskler taşıdığı düşüncesiyle endişe ile yaklaşmıştır [16].

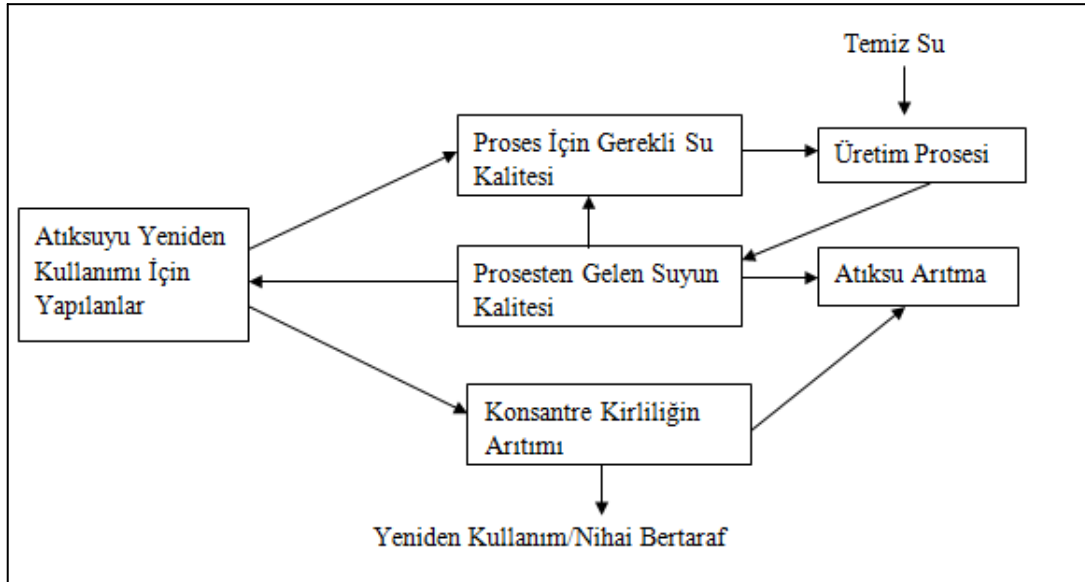
Bilindiği gibi dünyada su tüketiminde önemli bir bileşende endüstriyel sulardır ve ülkeler teknolojik olarak geliştikçe endüstriler için su gereksinimi de artmaktadır [17].

Enerji santralleri; soğutma suyu, kül sulama ve baca gazı yıkama gibi gereksinimler için fazla su ihtiyacından dolayı suların yeniden kullanımları için ideal tesislerdir. Petrol rafinerileri, kimyasal madde tesisleri ve metal işleme tesisleri de geri kazanılmış sudan faydalanan endüstriler arasındadır [18]. Bir endüstriyel tesis içinde su çevrimi çoğunlukla endüstriyel prosesin tamamlayıcı bir parçasıdır ve geri kazanılan ve yeniden kullanılan sular, suyun korunması ve zorlayıcı deşarj standardı gereksinimlerinin ortadan kaldırılması için geri çevrilir [19].

Soğutma suyu, birçok endüstri için geri kazanılmış suların en yaygın kullanım şeklidir ve tek başına en büyük endüstriyel su ihtiyacını oluşturur [18]. Ancak,

soğutma suyu olarak arıtılmış atıksuların kullanılması durumunda, korozyon, çökelek oluşması, mikrobiyal büyüme gibi konulara dikkat edilmesi gereklidir [10].

Kazanlardaki çökeleklerin gideriminde yumuşatma işlemi kullanılabilir. İlaç endüstrisinde safsuya yakın su kullanımı olmaktadır. Metal kaplama sektöründe de durulama banyolarındaki suyun kirlilik yükünden arıtılması kaplama verimliliği için ayrıca su kullanımı ve atıksu maliyetlerinin düşürülmesi için gereklilik olmaktadır. Arıtılmış atıksuyun proses suyu olarak kullanımının değerlendirilmesi amacıyla sistematik bir yaklaşım geliştirilmiş olup bu yaklaşım Şekil 2.1’de verilmiştir [20].



Şekil 2.1:Atıksuların Proses Suyu Olarak Kullanımında Sistematik Yaklaşım Şeması

Şekil 2.1 incelendiğinde; üretim prosesine kullanılmak üzere temiz su girmektedir. Temiz su prosesde kullanılmasıyla zamanla kirlenecektir. Kirlenen proses suyu kirlilik boyuna ve proses özelliğine göre ya direkt olarak arıtma-geri kazanım işleminden sonra tekrar prosesde kullanılabilir. Tekrar prosesde kullanılmayan atıksu deşarj limitlerinin sağlanması için arıtma tesisinde arıtılacaktır. Geri kazanım işleminden tekrar kullanılmayan konsantre atıksular arıtılarak deşarj edilmesi için arıtma tesisine gönderilecektir. Konsantre kirliliğin kirlilik yükünün fazla olmasına bağlı olarak bu atıksuların arıtma tesisinde istenilen limitlerde arıtılmaması söz konusu olabilecektir. Bu durumdaki konsantre atıksular, atıksuyun içerdiği kirliliğe göre nihai

bertaraf(enerji geri kazanımı için yakma, düzenli depolama vb.) işlemine tabi tutulacaktır.

Yeraltısularının doğal beslenmesi çok yavaştır. Uzun vadede azalan yeraltısuyu seviyesinin sebebi, yeraltısularının aşırı tüketimi ve yok oluşunun yeniden dolum oranından daha büyük oluşudur ve sonunda bu durum yeraltısuyu kaynaklarının tükenmesine neden olur. Bu nedenle yeraltı suyu havzalarının suni beslenimi giderek önem kazanmaktadır [21].

Arıtılmış suyun yer altı suyu beslenim amaçları [18];

- a) Sahil akiferlerine tuzlu su girişimini engellemek için bariyer oluşturmak,
- b) Gelecekteki yeniden kullanımlar için ilave arıtım sağlamak,
- c) İçme suyu veya içme suyu dışındaki akiferleri artırmak,
- d) Daha sonra kullanmak üzere arıtılmış suyun depolanmasını sağlamaktır.

Ayrıca geri kazanılmış suların doğal ortama verilmesi ile geri dönüşüm süresi artar ve böylece çok yavaş parçalananan kirleticilerin biyolojik parçalanması için gerekli olan süre kazanılmış olur [22].

Soğutma suları çok kirlenmediği zaman birçok proseste tekrar kullanılabilir.

Kaplama sektöründeki asitli atıksular ve bazik atıksular ayrı olarak toplanmasından sonra birleştirilerek arıtılmaları sonucunda atıksu pH dengelenmesinde kimyasal kullanımını azaltmaktadır.

Proses düzenlemeleri ile bazı atıksu akımları azaltılabilir veya ortadan kaldırılabilir. Buna en çarpıcı örnek boyama hatlarında tasarruflu ve sprey yıkamalı tankların kullanımınıdır. Bu sayede atıksu debi ve konsantrasyonundabelirgin bir düşme sağlanır. Süt endüstrisinde sızıntıları toplayacak şekilde ekipman değişiklikleri atıksu kanalına gidecek Biyolojik Oksijen İhtiyacı(BOI) yükünün azalmasına neden olur. Tekstilde mercerizasyon işleminde oluşan atıksudan Evaporasyon'la kostik ve atıksu geri kazanılarak proseste tekrar kullanılabilir.

TÜBİTAK-MAM-Enerji ve Çevre Araştırma Enstitüsü'nde, endüstriyel proje kapsamında yapılan "Tusaş Evsel Atıksu Arıtma Sistemi Deşarj Atıksuyunun Sulama Amaçlı Kullanılabilirliğinin Saptanması" çalışmasında Tusaş Mürted

tesislerine ait evsel atıksu arıtma sistemi deşarj suyunun kalitesi III. Sınıf olarak belirlenmiş ve buna göre arıtma sistemi deşarj suyu çevre sulama amaçlı(çim,ağaç) kullanılabilir özellikte olduğu görülmüştür [7].

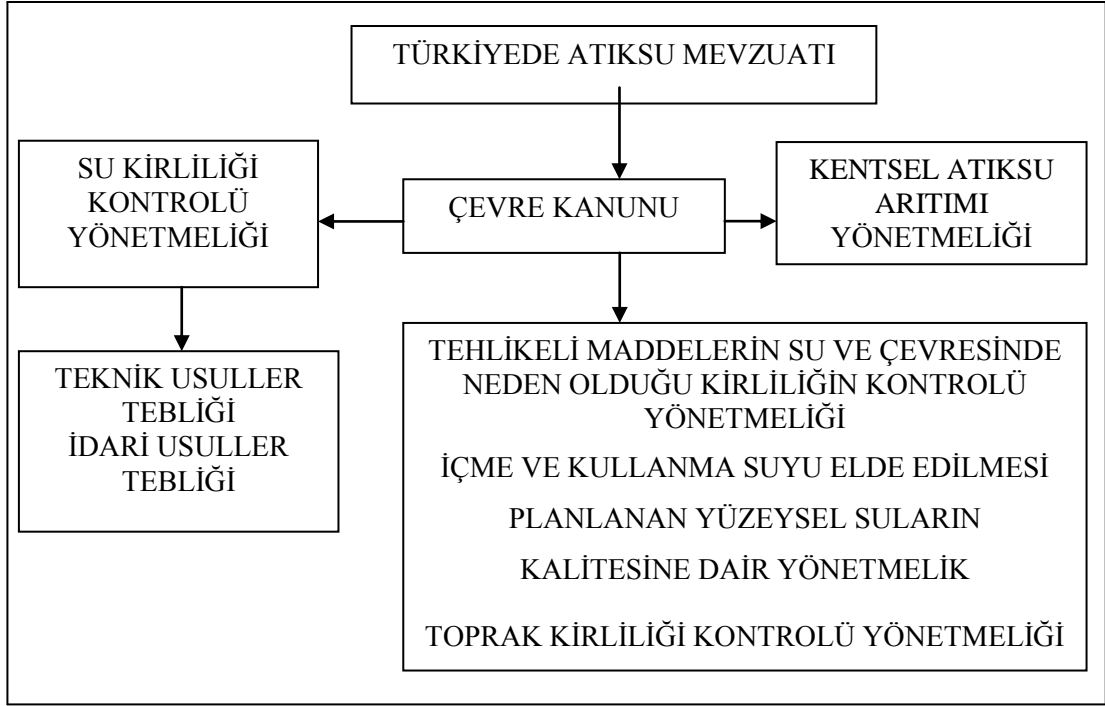
Üstün ve Solmaz'ın 48.000 m³/gün atıksuyun kimyasal arıtma ve uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemi ile arıtıldığı organize sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisinden çıkan atıksuların tarımsal sulama suyu olarak yeniden kullanılabilirliğine yönelik yaptıkları araştırmada, ilave kimyasal çöktürme ve iyon değiştirme yöntemleri ile 1. sınıf tarımsal amaçlı sulama suyu kalitesine ulaştığı ve tekrar kullanılabilirliğinin mümkün olduğu tespit edilmiştir [23].

Çapar ve arkadaşlarının bir halı fabrikasına ait baskı ve asit boyama atıksularının arıtımı ve geri kazanımına yönelik yaptığı araştırmada, baskı boyama atıksuyunun kalitesi, British Textile Technology Group tarafından sentetik iplik boyama işlemi için belirlenmiş olan geri kazanım kriterleri ile karşılaştırılmış ve bunun sonucu baskı boyama atıksularından alum ile kimyasal çöktürme sonrası NF ve UF prosesleri ile elde edilen süzüntü sularının boyama işleminde yeniden kullanılabilir kalitede olduğu belirlenmiştir. Asit boyama atıksuları için ise Mikrofiltrasyon(MF) ön işleminin ardından uygulamalı üç kademeli NF işlemi ile geri kazanım kriterlerinin sağlandığı görülmüştür [24].

Atıksuların yeniden kullanımına yönelik Alaton ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada Adana Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri'nin bazılarındaşarjları mevcut sulama suyu kalite kriterlerine göre incelenmiş, fekal koliform açısından tarımsal amaçlı sulama suyu olarak kullanımına elverişli olmadığı görülmüştür. Bunun nedeninin de bazı tesislerde dezenfeksiyon ünitesinin olmaması, olanlarda ise gerek yüksek enerji maliyeti gereksede dezenfeksiyon kimyasal ihtiyaçları nedeniyle yeterince verimli olamamasından kaynaklandığı belirtilmiştir [25]. Dolayısıyla mevcut bu tesislerin ilave birkaç yöntemle yeniden kullanımının uygun hale getirilmesi mümkün olacaktır.

Atıksudaki çözünmüş tuzlar, bor, ağır metal ve benzeri toksik maddeler yörenin iklim şartlarına, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak ortamda birikebilmekte, bitkiler tarafından alınabilmekte veya suda kalabilmektedir. Bu nedenle, arıtılmış atıksuların arazide kullanılması ve bertarafı söz konusu ise suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler

açısından öngörülen sınır değerlere uygunluğunun yanı sıra, bölgenin toprak özellikleri iklim, bitki türü ve sulama metodu gibi etkenler de dikkate alınmalıdır [26]. Kalkınma Bakanlığı 2014 verilerine göre, Türkiye’de 2014 yılı itibari ile su kullanım oranları; %73 tarımsal, %13 evsel ve %11 endüstriyel amaçlıdır. Türkiye’de atıksuların arıtılmasında uygulanan mevzuat Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2:Türkiye’de Atıksular Mevzuatı İçin Oluşturulan Kanun, Yönetmelik ve Tebliğler Şeması

Şekil 2.2 incelendiğinde; Türkiye’de atıksu mevzuatının Çevre Kanunu altında bu kapsamda çıkarılan yönetmelik ve tebliğlerden oluştuğu görülmektedir. SKKY ve bu yönetmeliğe bağlı olarak çıkarılan Teknik Ve İdari Usuller Tebliğleri’nin yanında evsel ve endüstriyel atıksular için Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, Tehlikeli Maddelerin Su Ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği, İçme ve Kullanma Suyu Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik ve Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği de atıksu deşarj şartlarını kısıtlayıcı ve belirleyici olmaktadır.

2.2 Metal Kaplama

Bu bölümde metal kaplamanın amacı, metal kaplama işlemleri(yöntemleri) ve metal kaplama atıksularının özellikleri açıklanmıştır.

2.2.1 Metal Kaplamanın Amacı

Metal yüzeyinde küçük bir noktada başlayan korozyon zaman içinde metalin iç kısımlarına doğru ilerler, paslanma ve çürüme gerçekleşir. Bu da metalin kullanımındaki ekonomik ömrünü kısaltır.

Galvaniz olmuş metale kromat kaplanırsa ömrü artar. Metale, çinko kaplanarak aşınma direnci artırılır [6].

Alüminyum ve alaşımları kimyasal etkilere karşı, alkali ortamdan çabuk etkilenmekte ve asitli ortamda çabuk oksitlenir. Alüminyum profiller üzerine yapılan eloksal kaplama(anodik oksidasyon-alüminyum metalinin oksitlenmesi) ile profiller mekaniksel, fiziksel ve kimyasal özellikler kazanır. Eloksal tabakası çok sert olup aşınmaya karşı çok dayanıklı olduğundan, alüminyuma üstün özellikler kazandırır.

2.2.2 Metal Kaplama İşlemleri(Yöntemleri)

Metal yüzeyini işleyerek, kullanıma elverişli duruma getirmeyi amaçlayan metal işleme endüstrisinde; temizleme ve ara kaplama, boyama ve metal kaplama proseslerinin bir veya birkaçı kullanılarak çeşitli malzemeler elde edilir.

Metal kaplama işlemi genel olarak üç ana grupta toplanır [27]. Bunlar;

- a) Temizleme ve ara kaplama
- b) Boyama
- c) Metal kaplama

Bu yöntemlerin bir veya birkaçı kullanılarak elde edilen malzeme, çok çeşitli endüstrilerde işlenerek ürün haline dönüştürülür.

Aşağıda en çok yapılan bazı kaplama(kataforez, çinko, eloksal, bakır, nikel, kalay, gümüş ve altın)işlemlerinin açıklaması verilmiştir;

2.2.2.1 Kataforez Kaplama

Kataforez kaplama, metal yüzeyde eşdeğer film kaplamasıyla yüksek korozyon direnci sağlayan ileri teknoloji, düşük emisyonlu çevre dostu su bazlı kaplama sistemlerdir. Elektroliz, elektroforez, elektroçöktürme ve elektroendosmosis olmak üzere dört farklı elektrokimyasal reaksiyonla kaplama yapılmaktadır. Bunlar [28];

- a) Elektroliz: Voltaj uygulanmasıyla elektrotlarda suyun ayrışmasıdır.
- b) Elektroforez: Elektrik akımı altında polar ortamda, yüklenmiş parçacıkların hareketiyle negatif yüklenmiş parçacıklar anot yönüne doğru, pozitif yüklenmiş katyonlar katoda doğru göç etmesidir.
- c) Elektroçöktürme(Elektrodepozi): Metal yüzeyde kaplamanın yapışmasıyla boyanın çöktürülmesidir.
- d) Elektroendosmosis: Boya parçacıklarının sıklaştırılmasıdır.

2.2.2.2 Galvaniz(Çinko) Kaplama

Galvanizleme, demir ve çelik parçalar üstüne ince bir çinko tabakası kaplama işlemine verilen genel bir addır. Boya dışında, demirli metallere en çok uygulanan koruyucu kaplamadır. Uygulama alanları arasında yapılarda kullanılan çelik iskeletler, metal saç levhalar, cıvatalar, somunlar ve teller dir.

Galvaniz, yüzey kaplama yöntemleri arasında en uzun ömürlü olanıdır ve hiçbir bakım gerektirmez. Belli bir estetik cazibesi vardır. İlk zamanlar parlak bir görünüşe sahip olan kaplama yüzeyi, zamanla matlaşarak homojen mat gri renkte bir yüzeye dönüşür.

Galvaniz kaplama işlemini, sıcak daldırma ve daldırma(sıcak olmayan) yöntemi olmak üzere iki yöntemle yapabiliriz. Bunlar;

a) Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplama İşlemi

Sıcak daldırma ile yapılan galvanizleme işlemi Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Sıcak Daldırma İle Yapılan Galvanizleme İşlemi

Kaplama öncesi yağ alma banyosunda üretimi yapılan malzeme üzerinde üretim esnasında biriken yağ, partikül vb. temizlenir. Temizleme işleminin daha sağlıklı olması için parçalar üzerinde kısmen kalan yağ ve kaplanacak malzeme yüzeyindeki oksitlerin alınması için Asitle Yüzey Temizleme Banyosu(Havuzu-Tankı)'nda temizleme işlemine tabi tutulur. Devamında durulama işlemi yapılır.

Durulama, Asidik Yüzey Temizleme İşlemi'nde işlemde kullanılan kimyasal çözeltinin metal yüzeyinden arındırılması ve bu çözeltinin bir sonraki işlemde kullanılan çözeltinin karışmasının engellenmesi amacıyla yapılmaktadır.

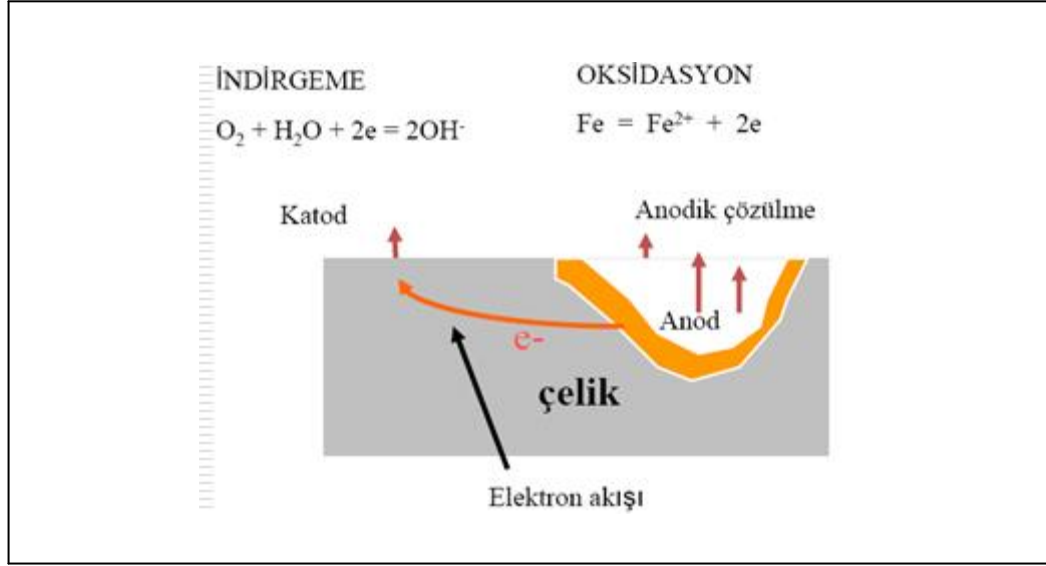
Asitle yüzey temizleme ile yüzeydeki oksitlerin alınmasından sonra, parçanın galvaniz banyosuna girene kadar korunmasının en etkili yolu flaks ile kaplanmasıdır. Bu işlemde flaks, atmosferdeki oksijenin parça yüzeyine geçişine yeterli bir süre mani olur. Asitleme ile temizlenen yüzey, hemen flaksa daldırıldığında oluşan önemli olayları aşağıda ki gibi listeleyebiliriz [29].

- a) Flaks ile kaplanmış yüzey uygun bir sıcaklıkta kurutulduğunda parça erimiş çinkoya dalınca, flaks içindeki suyun ani buharlaşmasından dolayı oluşan patlamaları engellenmiş ve çinko oksit oluşması azaltılmış olur.
- b) Aynı zamanda parça çinkoya dalarken yüzeydeki flaks hızla eriyip yüzeyden uzaklaşırken, etraftaki oksitleri içine alarak flaks içindeki nisadirin buharlaşması ile hızla çinko yüzeyinden uzaklaşarak kaplama işlemi hızlandırır ve yüzeye kul yapışmasını engeller.
- c) Kaplanan parça daha az sürede kaplanır.
- d) Netice olarak süreye bağlı dros ve kul oluşumu azalır.

Flaks kaplama işleminden sonra galvaniz kaplama işlemi 460 C°'de ergimiş halde bulunan çinko içerisine malzeme daldırılarak kaplama işlemi yapılır. Çinko Kaplama Banyosun'ndaki çözeltinin analiz edilip, analiz sonucuna göre bu banyoya gerekli kimyasal ilavesi yapılmaktadır. Kaplama işleminden sonra sıcak malzemenin soğuması ayrıca kaplanan malzeme yüzeyinde oluşan kirliliğin giderilmesi-temizlenmesi için su ile soğutma işlemi yapılır.

Sıcak galvanizleme işleminde kullanılan yağ alma, asitle yüzey temizleme, durulama ve soğutma banyolarının belirlenen sürelerde değişiminin yapılması ile kaplama işleminde proses kaynaklı atıksu oluşmaktadır.

Çelik üzerine çinko kaplama banyosu-havuzunda indirgenme ve yükseltgenme işlemi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

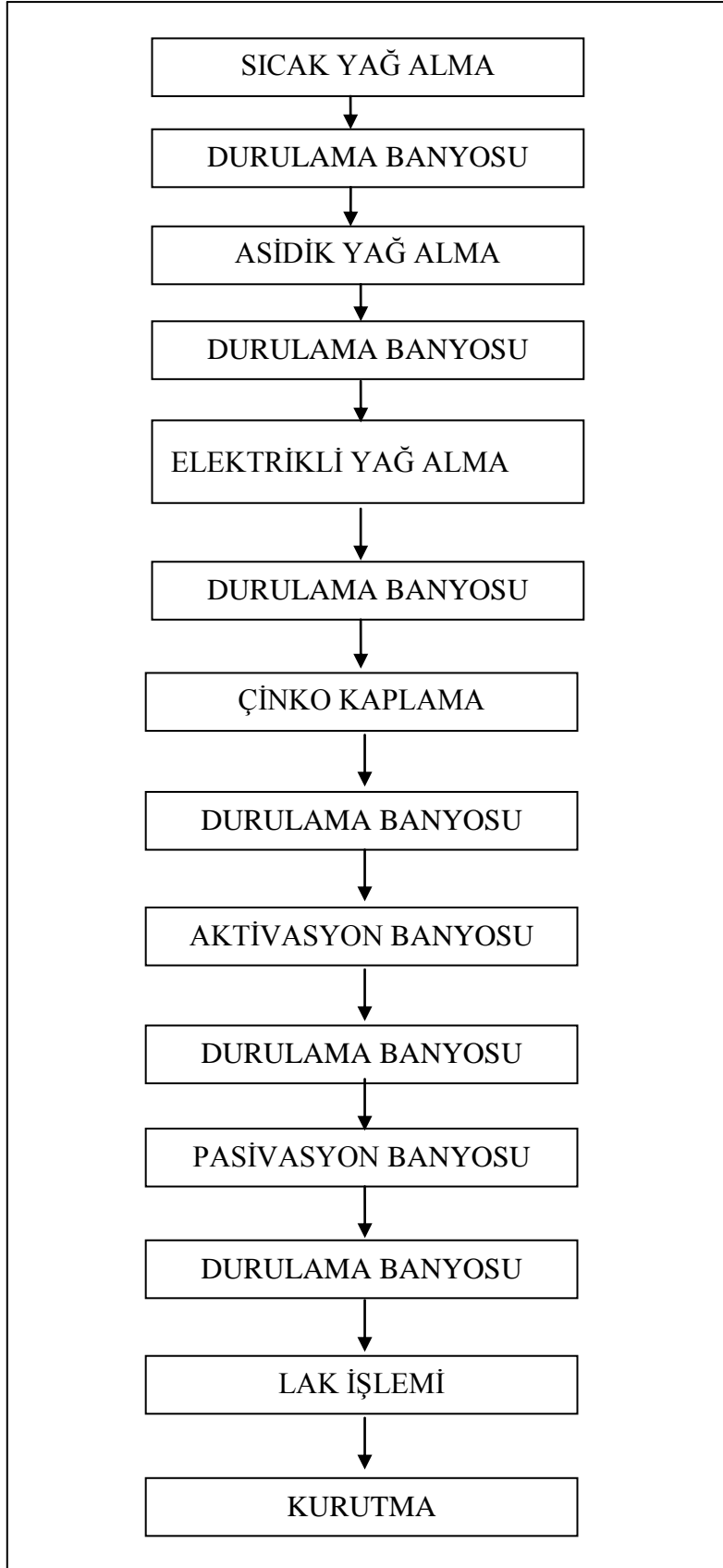


Şekil 2.4:Çinko(Galvaniz) Kaplama Banyosunda Yapılan İndirgenme-Yükseltgenme İşlemi

Şekil 2.4'e göre; Sulu ortamlarda elektron verme(oksidasyon) ve elektron alma(indirgenme) şeklinde meydana gelen reaksiyonlar oluşmaktadır. Anottan metal iyonları çözeltiliye geçerek katoda taşınırlar. Katot yüzeyinde harcanan elektronlar, oksijenin(O_2) hidroksil(OH) iyonu haline dönüşmesine neden olur.

b) Daldırma(Sıcak Olmayan) Galvaniz Kaplama İşlemi

Daldırma ile yapılan galvanizleme işlemi genel iş akışı Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5:Galvaniz Çinko Kaplama Prosesi İş Akış Şeması

Galvaniz(Çinko Kaplama) prosesinde daldırma yöntemiyle askı veya dolap içinde kaplanacak malzemeler aşağıda özellikleri verilen banyolara daldırılarak kaplama gerçekleştirilir;

1-Yağ Alma İşlemleri: sıcak yağ alma, asidik yağ alma ve elektrikli yağ alma işlemlerini kapsamaktadır.

- a) Sıcak Yağ Alma: alkali banyoda kullanılan çözelti ile yağ ve partiküllerden arındırılması sağlanır. Bu banyoda kostik ve deterjanlar mevcuttur. Bu işlem askı üzerine dizilen kaplama malzemelerine 10 dakika sürede ve 60-65 °C'de yapılmaktadır. Banyo üzerinde biriken yağlar tekrar malzemeye sürülmesin diye yağ ayırıcı ile banyodan alınır.
- b) Asidik Yağ Alma: asidik banyoda kullanılan çözelti ile önceki banyoda temizlenemeyen yağın ayrıca malzeme yüzeyindeki pas ve tufalın giderilmesi sağlanır. Bu banyoda asit ve inhibitör mevcuttur. Bu işlem sıcak yağ alma işleminden çıkan kaplanacak malzemeler ortalama 8-10 dakika sürede ve oda koşullarındaki sıcaklıkta yapılmaktadır.
- c) Elektrikli Yağ Alma: asidik yumuşamamış olan tufal ve kalan yağ tabakası elektrikli yağ almada sürtünme etkisi yaratılarak yok edilir. Bu banyo alkali özelliindedir(yüksek miktarda kostik ve az miktarda deterjanlar içermektedir) ve ters akım(malzeme anot yapılarak) verilerek uygulanır. Bu işlem asidik yağ alma işleminden çıkan kaplanacak malzemeler ortalama 1,5-2 dakika sürede ve oda koşullarındaki sıcaklıkta yapılmaktadır.

Malzeme yüzeyinden yağ, oksit ve tufal tabakası alınması nedeniyle kaplanacak malzemenin bu banyodan çıktıktan sonra hava teması oluşacak oksitlenmeyi azaltmak için hızlı bir şekilde kaplama banyosu içerisine götürülmesi gerekmektedir.

2-Çinko Kaplama İşlemi: Kaplama banyosunda kaplanacak malzeme üzerine önceden hesaplanmış belirli akım verilerek belirli bir mikron kalınlığında kaplama yapılır. Kaplamadaki amaç demir olan metal malzemeyi çinko kaplayarak kırmızı pasa karşı korumaktır. Çünkü demir olan metal yüzeyler hava ile temas ettiğinde kırmızı renkli pas oluşumu meydana gelmektedir.

Şebeke akımını(AC) doğru akıma(DC) çeviren redresörler vasıtasıyla malzemeye elektrik akımı verilir ve malzeme katot yapılır. Banyoların kenarlarındaki saclar ise anot olarak işlev yapmaktadır. Redresörlerde malzemeye giden akımı veren (-) kutup ayrıca anot saclarına giden akımı veren (+) kutup bulunmaktadır. Çinko kaplama banyosunda; Çinko kaplamanın temel malzemesi olan çinko 9-13 gr/l konsantrasyonunda, banyonun iletkenliğinin sağlanmasında 120-150 gr/l konsantrasyonunda kostik, kaplama kalınlığının uniform olması için kimyasal kullanılmaktadır. Bunların yanında banyoda kaplama tanelerinin yapısını düzenlemek ve parlaklık sağlamak ayrıca kaplama homojenliğini sağlayan kimyasala yardımcı olmak üzere parlaticı, banyoda kaplama işlemlerinden ve kullanılan sudan oluşan kirliliğin giderilmesi(minimize edilmesi) için kimyasal kullanılmaktadır.

Bu banyoda kaplamanın ve kaplama kalınlığının uygun ve uniform olması için ayrıca kullanılan kimyasalların etkin bir şekilde işlevlerini gerçekleştirilmeleri için banyo sıcaklığı 20-26 C° arasında olmalıdır. Banyo sıcaklığı 15 C°'nin altına düştüğünde kaplama verimliliği düşmekte 30 C°'nin üzerine çıktığında banyoda kullanılan bazı kimyasalların yapısı bozulmakta, kaplanan malzemede mat görünüşü ve düzensiz kaplama kalınlığı meydana gelmektedir.

3-Aktivasyon İşlemi: Çinko kaplama banyosunda kaplanan malzeme pasivasyon işlemine girmeden önce aktivasyon banyosunda yüzeyi temizlenir. Nitrik asit kullanılarak malzeme yüzeyindeki gözenekler açılır. Bu banyo, çözünen çinko ve bu banyo öncesi(kaplama banyosu sonrası) durulama banyosu suyunun kaplanan malzeme yüzeyi ile banyoya taşınması nedeni hızlı bir şekilde kirlenmektedir. Banyoda kompresörden basılan hava ile bir sirkülasyon vardır. Nitrik Asit kullanılması nedeni ile banyo asidiktir. Banyonun PH'ı 1,4-1,6 arasında tutulmalıdır. Malzemeler banyoda 10-20 saniye aralığında tutularak işlem gerçekleştirilir.

4-Pasivasyon İşlemi:Çinko kaplanan yüzeyler de beyaz pasa karşı korunaksızdırlar. Bu nedenle kaplanan çinko yüzeyi üzerine koruma amaçlı akım verilmeden daldırma yöntemi ile pasivasyon işlemi yapılmaktadır. +3 değerlikli Krom ile yapılan bu işlem ile kaplanan Çinko yüzeyinin korozyon dayanımı artırılmış olunur.

Banyoda kompresörden basılan hava ile bir sirkülasyon vardır. Banyoda Nitrik Asit kullanılması nedeni ile asidiktir. Banyonun pH'ı 1,8 değerinde tutulmalıdır.

Banyo sıcaklığı 40-50 °C arasında olmalıdır. Banyoda çinko ve demir kirliliği oluşmaktadır. Bu kirlilikler banyonun verimini düşürmesi nedeniyle miktatsızla banyodan alınmalıdır.

5-Laklama İşlemi: Kaplanmış metal malzeme yüzeyine uygulanan pasivasyondan sonra pasivasyonun darbelere karşı dayanımını artırmak için daldırma yöntemi ile yapılan bir işlemdir. 80 C° civarında bir sıcaklıkta yapılmaktadır. Banyoda 85 °C'nin üzerindeki sıcaklıkta pasivasyonun yapılması pasivasyonu bozacaktır. Banyoda zamanla Cr⁺³ kirliliği oluşacaktır.

6-Kurutma İşlemi: Elektrik veya doğalgaz kullanılarak bir kabin içinde oluşturulan sıcak hava ile kaplanan malzeme yüzeyindeki ıslaklığın kurutulmasıdır.

Banyoların ısıtılmasında elektrikli direnç teli, buhar kazanı, buhar jeneratörü veya kızgın yağ kazanından yapılan ısıtma ile sağlanır.

2.2.2.3 Anodik Oksidasyon(Ekoksal) Kaplama

Alüminyum malzeme üzerine yapılan anodik oksidasyon işlemidir. Eloksal tabakası oluşurken, elektrolite alüminyum geçer. Eloksal işleminde asit olarak genelde sülfürik asit(H₂SO₄) elektroliti kullanılır. Tipik bir eloksal banyosunda, 160/170 g/l H₂SO₄ bulunur. Ortalama 20 C°'de 1,5 A/dm² doğru akım uygulanır. Banyonun konsantrasyonuna, sıcaklığına ve alüminyum bileşimine bağlı olarak voltaj 17-19 V arasında değişir. Tabaka oluşma hızı, dakikada 0,5 mikrondur [30].

Eloksal kaplama işleminden önce alüminyum profil malzeme üzerindeki mekanik işlem(en) (extrüzyon üretim kalıntıları ve devamındaki polisaj, satinaj, fırçalama vb.) oluşan yağ ve partiküller yağ alma banyolarında temizlendikten sonra alüminyum yüzeyinin matlaştırılması için kostik kullanılarak matlaştırma işlemi yapılır. Devamında nötralizasyon işlemlerinden oluşan ön işlemlere tabi tutulur.

Kaplanacak olan alüminyum profilmalzeme, elektroliz işleminin anodu olarak işlem görmektedir. Belirli ve kontrol edilen bir akım(genellikle doğru akım DA) yoğunluğu, kaplanacak alüminyum malzeme ile uygun bir katot arasında belirli bir süre için geçirilir. Bu süre, oluşacak eloksal tabakasının özellik ve kalınlığına göre belirlenir. İşlem esnasında ısı ortaya çıkmakta olup banyodaki elektrolitin sıcaklığını sabit tutmak için elektrolitin soğutulması gerekir.

Eloksal kaplama işleminden sonra renklendirme yapılacak ise renklendirme banyolarında bu işlem alternatif akım yardımıyla nikelsülfat ve kalay sülfat kullanılarak yapılır. Kaplama işleminden sonra alüminyum profil-malzeme üzerinde oluşan oksit tabakası gözenekli bir yapıya sahip olmaktadır. Bu gözeneklerin iyi bir şekilde kapatılması ve kaplamanın dayanıklılığının artması için tespit işlemi uygulanır. Kaplama banyolarında işlem yapıldıktan sonra bu işlemde sonra banyonun proses verimliliğini olumsuz yönde etkilememesi için ve banyo kararlığı yerine getirilmesi için banyoların belirli bir kimyasal konsantrasyon, iletkenlik, pH, sıcaklık gibi değerlerde olması gerekir. Ayrıca bu gereklilik kaplama işleminin verimliliğinin korunması için bir önceki banyoda alüminyum profil malzeme yüzeyinde biriken kimyasalın temizlenmesinde kullanılan durulama banyoları için de geçerlidir. Durulama banyoları, yağ alma banyoları, eloksal banyolarının belirli sürelerde değiştirilmesi, değişimden sonra durulama haricindeki diğer banyoların tekrar hazırlanması esnasında banyonun belirli konsantrasyonda ve şartlarda çalıştırılmasının sağlanması gerekir. Banyo değiştirme süreleri banyoların kirlenme durumuna göre farklılık göstermektedir. Durulama banyoları ortalama haftada bir, yağ alma banyoları haftada, ayda (kullanılan yağ alma kimyasalının özelliğine göre daha uzun sürede de olabilir), eloksal banyoları 5-6 ayda değişebilmekte ve kaplama işleminde kullanılan diğer banyolar ise uzun süreler için banyoya kimyasal eklemek suretiyle değiştirilmeden kullanılabilir. Banyoların ısıtılması elektrik veya buhar kazanı-jeneratörü kullanılarak üretilen kızgın buhar ile veya şalomalı doğalgazlı ısıtma ile olmaktadır.

Eloksal kaplama işlemi için genel olarak uygulanan işlemler (kullanılan banyolar) aşağıdaki gibidir;

1-Yağ Alma Banyosu: Alüminyum profillerin yüzeyindeki yağ, toz ve pisliklerin temizlendiği banyodur. % 3-5 konsantrasyonda alkali temizleme kimyasalı kullanılır. İşlem süresi 5-15 dakika, banyo sıcaklığı ortalama 55 C° dir. Yağ alma banyosundan sonra profiller parlak yüzey isteniyorsa direkt nötralizasyon banyosuna, mat yüzey isteniyorsa matlaştırma banyolarına giderler.

2-Eloksal Sökme Banyosu: Profil yüzeyindeki ve askı ayaklarındaki oksit tabakasının söküldüğü banyolardır. %5 konsantrasyonda kostik içerir. Banyo sıcaklığı ortalama 50 C° dir. Banyo %6-12 NaOH içermelidir.

3-Matlaştırma Banyoları:Banyo çözeltili içeriğinde bulunan katkı malzemesi, kostik ve çözünmüş alüminyum sayesinde profillerin yüzeyinde matlaşmış bir görüntü sağlayan banyolardır. % 5-6 oranında kostik, % 10-20 çözünmüş alüminyum ve %3-5 oranında da katkı malzemesi kullanılmaktadır. Banyo sıcaklığı önemlidir ve 50-70 C° aralığında çalışılır. Bu banyonun alkanitesinin 50-60 g/L, alüminyum konsantrasyonunun 150-200 g/L olması istenir.

4-Nötralizasyon Banyosu:Yağ alma ve/veya matlaştırma banyolarından çıkan profillerin, durulama işlemleri yapıldıktan sonra eloksal banyolarına girmeden önce yüzeylerinin temizlendiği banyodur. % 15-20 oranında sülfürik asit, % 0,7-1 oranında alüminyum sülfat ve 1-2 g/L konsantrasyonda oksidasyon kimyasalı içerir. Profillerin bu banyoya daldırılması ile yüzeydeki safsızlıklar temizlenirken nötralizasyonda sağlanmış olur. Banyo ortam sıcaklığında oda koşullarında çalışır.

5-Elksal Banyosu:Bu banyodaki ana prensip elektroliz yöntemiyle alüminyum profil yüzeyine oksit kaplanmasıdır. Bunu sağlamak için redresörlerden elde edilen doğru akım anot ve katotlara dağıtılır. Katotlardan elektrolite verilen akım kullanılan asidi parçalar. Açığa çıkan eksi yüklü oksijen, anotta artı yüklenmiş alüminyum profillerin yüzeyine toplanır. Asit olarak banyoda sülfürik asit kullanılması durumunda banyoda %18-20 konsantrasyonda sülfürik asit bulunur. Banyo sıcaklığı 18-22 C° aralığında olmalıdır. Banyoya verilen akım nedeniyle banyo sıcaklığı arttığından banyo soğutulmalıdır. Bu sayede sıcaklık kontrol altında tutulur. Oksit kaplanmış profiller renklendirilmeyecekse eloksaldan sonra tespit banyosuna alınır. Bu banyoda kullanılan asit konsantrasyonunun 160-200 g/L, alüminyum konsantrasyonunun 8-12 g/L olması istenmektedir.

Elksal kaplama banyosunun kaplama kalınlığına, kullanılacak asit konsantrasyonuna göre banyo sıcaklığı ve birim yüzey alanına verilmesi gereken akım ve voltaj değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir [31];

Çizelge 2.1:Eloksal Kaplama Kalınlığı İçin Banyo zellikleri

Elektrolitik Asidi	Konsan. (g/l)	Sıcaklık (C°)	Akım(A/dm²)	Voltaj(V)	Tabaka Kalınlığı (Mikron)
Sülfürik	150/200	18/20	1,0/2,0	12/22	5/30
Sülfürik	180/400	-5/5	1,5/3,0	15/70	25/125
Sülfürik	160/180	10/20	1,2/2,0	12/25	5/35
Okzalik	5/10	10/20	1,2/2,0	12/25	5/35
Kromik	30/100	25/55	0,1/1,0	30/70	2/8
Sülfosali-Silik	60/70	18/25	2,0/3,0	35/75	15/35
Fosforik	120/250	20/30	1,0/2,0	30/120	1/30
Borik	40/50	70/100	1,0	50/5000	0,5
Sülfürik	20/40	70/80	2,0	120/150	0,16

6-Kalay İçerikli Elektrolitik Renklendirme Banyosu:Oksit kaplanmış(eloksal yapılmış) profillerde oksit gözeneklerine kalay iyonlarının dolmasıyla kahverengi ve tonlarında renk almak için kullanılan banyodur. Bu banyoda renklendirme alternatif akım yardımıyla olur. 6-8 g/lt Kalay sülfat 16-18 g/lt sülfürik asit ve 25-30 g/lt de stabilizatör içerir. Banyo sıcaklığı 18-24 C° aralığındadır.

7-Nikel İçerikli Elektrolitik Renklendirme Banyosu:Bu banyoda aynı kalay banyosu gibi çalışır. Renklendirme işlemleri bu banyoda yavaş olduğundan kahverenginin açık tonlarında nikel banyosu tercih edilir. 20-25 g/lt Nikel Sülfat ve 70-80 g/lt stabilizatör içerir.

8-Tespit Banyosu:Eloksal işleminde elde edilen oksit tabakası gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu gözeneklerin iyi bir şekilde kapatılması ve dolayısıyla oksit tabakasının dayanıklılığının artması için tespit işlemleri uygulanır. Tespit işlemleri sıcak tespit ve soğuk tespit işlemleri olarak ikiye ayrılır. Eğer soğuk tespit işlemleri uygulanırsa devamında yaşlandırma işlemleri yapılır.

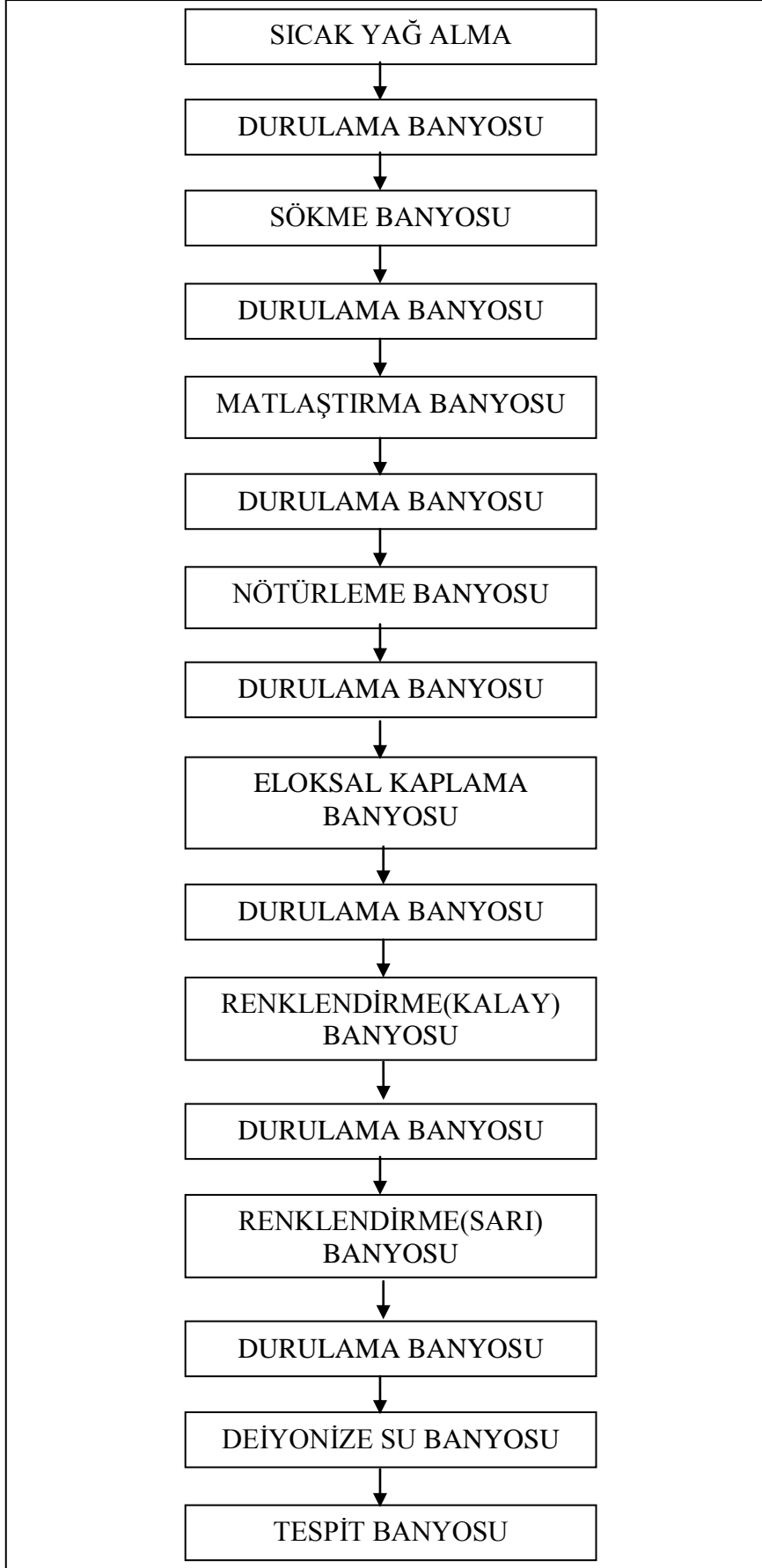
Tespit işleminde kullanılan banyolar ve özellikleri aşağıda açıklanmıştır;

a)Sıcak Tespit Banyosu:Bu işlem için deiyonize su kullanılır ve sıcaklığı 95C° nin üzerinde tutulmalıdır. 2-2,5 g/lt konsantrasyonda pH tamponlayıcı katılır. Banyonun pH'sı 5,8-6,2 aralığında dır. Bu pH tamponlayıcı aynı zamanda su içerisindeki safsızlıkların profil yüzeyine leke yapmasını da önler. Yüksek sıcaklık ve ideal pH ortamında profiller yeteri kadar bekletilirse oksit gözeneklerinin içerisi jelleşir. Bu jellerin şişmesiyle zaman geçtikçe oksit gözenekleri sıkılaşıarak sertleşir. Bu sayede eloksal(oksit tabakası) dış şartlara karşı korunaklı hale getirilmiş olur. Banyoda istenen şartlar(sıcaklık, pH ve zaman) tam sağlanırsa kaplamanın ömrü çok uzun olur.

b)Soğuk Tespit Banyosu:Eloksal işleminde elde edilen oksit tabakası gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu gözeneklerin iyi bir şekilde kapatılması ve dolayısıyla oksit tabakasının dayanıklılığının artması için tespit işlemi uygulanır. Bu işlem için deiyonize su kullanılır ve sıcaklığı 30C° civarında tutulmalıdır. 70 g/lt konsantrasyonda pH tamponlayıcı katılır. Banyonun pH'sı 5,5-5,8aralığındadır. Bu pH tamponlayıcı aynı zamanda su içerisindeki safsızlıkların profil yüzeyine leke yapmasını da önler..

c)Yaşlandırma Banyosu(Soğuk Tespit İşlemi Yapılması Durumunda):Tespit kimyasalı ile yapılan işlem sonrasında reaksiyonun tamamlanması için 24 saate ihtiyaç vardır. Bu sürenin üretim akışı açısından uzun olması ve bu zaman içinde profillerin korunması çok zor olduğundan reaksiyonu hızlandırmak için soğuk tespitten çıkan profiller yaşlandırma banyosu denilen 70 C° sıcaklığa sahip su banyosuna alınırlar. Burada profiller her 1 mikron kalınlık için 1 dakika bekletilirse tam tespit işlemi yapılmış olur.

Eloksal kaplama prosesine ait genel bir iş akım şeması Şekil 2.6'da verilmiştir;



Şekil 2.6: Eloksal(Anodik Oksidasyon) Kaplama Genel İş Akım Şeması

Eloksal kaplama işlemine tesir eden faktörler aşağıda açıklanmıştır [31];

- a) **Banyonun asit konsantrasyonu:** Banyonun iletkenlik değeri asit konsantrasyonu iledeğişmektedir. Elektrolit konsantrasyonundaki farklılıklar akım yoğunluğunda, voltajda ve banyo sıcaklığında değişikliğe neden olmaktadır.
- b) **Anodize banyosu voltajı ve akım yoğunluğu:** Uygulamadaki voltaj artışı oksit gözenek sayısını azaltarak kaplamanın sertliğini düşür. Ayrıca banyo ısı enerjisi artarak banyonun soğutulmasını gerektirir. Alüminyum yüzeyinde parlak bir görünüş elde etmek için düşük voltajda çalışılması gerekmektedir. Bu durumda oksit filmi emme kapasitesi % 12-20 oranında azalmaktadır.
- c) **Banyodaki elektrolitin sıcaklığı:** Sıcak artışı önlemek için voltajın düşük tutulması, sıcaklığın sabit tutulması için elektrolitin ve akım yoğunluğunun sabit tutulması gerekir.
- d) **Anodize banyosunun karıştırılması:** Oksit filmi-tabakasının kalınlığını kontrol etmek için hava ile karıştırma işlemi önem kazanmaktadır. Ayrıca banyo elektrolit yoğunluğunun ve sıcaklığının her tarafta aynı olması düzgün bir oksit tabakasının oluşmasını sağlayacaktır. Basınçlı hava kullanmak hem pahalı hem de banyoda bazı uygunsuzluklara neden olmaktadır. Bunun için düşük basınçlı yüksek debili blover kullanılabilir. Metrekareye saatte 12 m³ hava vermek uygun olacaktır.
- e) **Anodize olacak alüminyum malzemesinin alaşım kompozisyonu:** İyi bir parlaklık elde etmek için üretimde saf(safa yakın) alüminyum kullanılmalıdır. Çeşitli alaşımlara göre koruyucu, parlak ve ser eloksal için değişik kalitede işlem yapılabilmektedir.
- f) **Çözeltideki alüminyum miktarı:** Eloksal banyosu çözünmüş alüminyum konsantrasyonunun 12 g/L konsantrasyonunun üzerine çıkılması durumunda malzeme yüzeyinde parlak olmayan donuk bir oksit tabakası elde edilmektedir. Bunun yanında oksit film tabakasının ağırlığı artarak tabakanın adsorbsiyon kapasitesi azalmakta ve kaplama işleminin verimi düşmektedir.

- g) **Banyoda bulunabilecek artık maddeler:** Kullanılan sülfürik asit içerisindeki safsızlıklar banyonun ömrüne ve kaplama kalitesine önemli etkileri vardır. Banyodaki 200 ppm miktarındaki demir, kaplama sonrası profil parlaklığının azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle demir miktarı 25 ppm'den fazla olması istenmez. Pb, As, Cu vb. ağır metal miktarının 10 ppm'den az olması istenir. Eloksal banyosunda uygulama esnasında çözülmüş halde oluşan alüminyum konsantrasyonunun 12 g/L'nin üzerindeki değerlerde elektrolitin iletkenliğini azaltır ve doğru akım yoğunluğunu temin etmek için daha yüksek voltaja ihtiyaç gerektirir. Elektrolit içerisinde yabancı anyonlar da bulunabilir. Ancak banyoda kullanılan suyun mutlaka klordan arındırılmış olması gerekir. Durulama banyolarında müsaade edilen kirlilik miktarları; Bikarbonat 75 ppm, Klorür 40 ppm, Florür 3 ppm, Fosfat 10 ppm, Sülfat 75 ppm, Sülfid 10 ppm, Silisyum 3 ppm dir.
- h) **Elektrik ileten baralar, katot sistemi ve ölçüsü, anot bağlantıları, gerekli elektriksel güç(katot/anot oranı), uygun askılama sistemi:** Redresörler ile eloksal banyosu arasında elektrik iletkeni olarak kullanılan alüminyum baralar arasında mesafe arttığında voltaj kayıpları olmaktadır. Anot olarak bağlanan malzemeler üzerinde kullanılan askıların kesiti en az 0,2 mm²/amper olarak hesaplanmalı ve temas çok iyi sağlanmalıdır. Katot-Anot oranı 0.5-1 aralığında olmalıdır. Askı baralarının ve katot sisteminin bakımı en fazla 2 ayda bir yapılırsa elektrik kaybı azaltılır.

Yüzey işlem banyolarında kullanılan suyun kalitesizliği kaplama üzerinde; yapışma, parlaklık, çukurlanma, beneklenme, örtücülük azlığı, lekelenme yüzey pürüzlüğü gibi uygunsuzluklar meydana getirmektedir.

2.2.2.4 Diğer Kaplamalar(Bakır, Nikel, Kalay, Gümüş ve Altın) İçin Genel Uygulama

Piyasa uygulamalarında Bakır, Nikel, Kalay, Gümüş ve Altın Kaplama işlemi için dolap(tamburlu) ve şerit kaplama işlemi için uygulan genel kaplama işlemi aşağıda verilmektedir;

Sıcak Yağ Alma İşlemi: Alkali esaslı kimyasal ile 60-70 C°'de ortalama 10 dakika süre ile (bu süre malzemenin kirliliğine göre değişir) banyo içinde metal yüzeyindeki yağlar temizlenmektedir.

Durulama İşlemi: Yağ alma işleminde kullanılan kimyasal çözeltinin metal yüzeyinden arındırılması ve bu çözeltinin bir sonraki işlemde kullanılan çözeltiliye karışmasının engellenmesi amacıyla yapılmaktadır.

Asit-Dekopaj İşlemi: Metal yüzeyine tutunan hidrojenin yüzeyden arındırılması için uygulanır.

Durulama İşlemi: Bir önceki dekopaj işleminde kullanılan kimyasal çözeltinin metal yüzeyinden arındırılması ve bu çözeltinin bir sonraki işlemde kullanılan çözeltiliye karışmasının engellenmesi amacıyla yapılmaktadır.

Elektrikli Yağ Alma İşlemi: Temizlenecek parçalar anot veya katot olarak kullanarak alkali çözeltiliden elektrik akımı geçirilerek metallerin üzerindeki yağdan arındırılır.

Durulama İşlemi: Bir önceki yağ alma işleminde kullanılan kimyasal çözeltinin metal yüzeyinden arındırılması ve bu çözeltinin bir sonraki işlemde kullanılan çözeltiliye karışmasının engellenmesi amacıyla yapılmaktadır.

Nötralizasyon İşlemi: Alkali özellikte olan elektrikli yağ alma işleminden sonra metal yüzeyinin nötrale edilmesi için kullanılır.

Durulama İşlemi: Bir önceki Nötralizasyon işleminde kullanılan kimyasal çözeltinin metal yüzeyinden arındırılması ve bu çözeltinin bir sonraki işlemde kullanılan çözeltiliye karışmasının engellenmesi amacıyla yapılmaktadır.

Kaplama Banyoları: Gerekli prosese göre tambur Bakır, Nikel, Kalay, Gümüş ve Altın Kaplama banyolarından birine veya birkaçına girer. İstenilen kaplama kalınlığına göre tamburun banyo içerisinde kalma süresi değişmektedir.

Durulama İşlemi: Kaplama sonrasında malzeme yüzeyinde biriken kaplama kimyasalının temizlenmesi için kullanılır. Eğer malzeme yüzeyine birden fazla kaplama işlemi uygulanıyorsa her kaplama işleminden sonra malzeme durulanıp tekrar kaplama banyosuna girecektir.

Alkali Su Banyosu: Asitli özellikte olan kaplama banyoları sonrası metal yüzeyini nötrleştirmek için kullanılır.

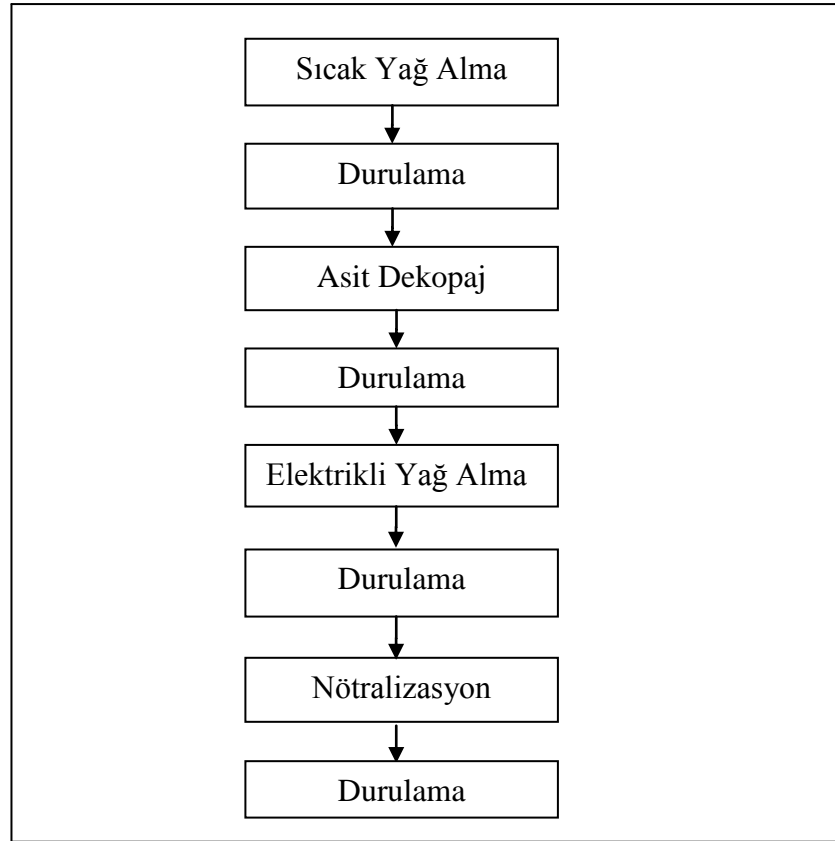
Durulama İşlemi: Alkali su sonrası malzeme yüzeyinin temizlenmesi için kullanılır.

Sıcak Su ile Durulama İşlemi: Kaplama sonrasında malzeme yüzeyinde biriken kaplama kimyasalının temizlenmesi için 40-50 C°'de kullanılmaktadır.

Pasivasyon İşlemi: Malzeme yüzeyinin pasivize edilmesi için kullanılmaktadır.

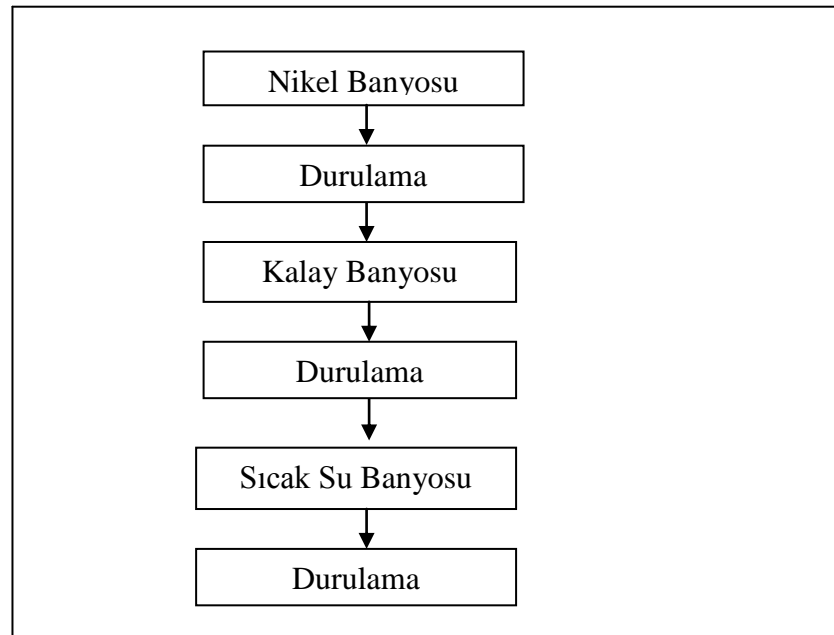
Durulama İşlemi: Pasivasyon sonrası malzeme yüzeyinin tamamen temizlenmesi, yüzeyde kalan pasivasyon kimyasalından arındırmak için kullanılır.

Kaplama ve yağ alma banyolarının kimyasal bileşiminin sürekli kontrol altında tutulması ve eksilen kimyasalların eklenebilmesi için ortalama 3-5 günde bir bu banyolardan numune alınıp analizleri yapılacaktır. Bu analiz sonucuna göre gerekli banyolara kimyasal ilavesi yapılır. Kaplama işlemleri elektroliz yolu ile yapılır. Kaplanacak metal veya yüzeyi iletken hale getirilmiş plastik parça, kaplama için kullanılacak metalin tuzunun çözeltisi içerisinde katoda bağlanarak, metal katyonlarının, elektrik akımı geçirilerek kaplanacak yüzey üzerinde birikmesi ile gerçekleştirilir. Bakır, Nikel, Kalay, Gümüş ve Altın Kaplama'nın(Dolaplı Sistemle) yapılması durumunda, Kaplama Öncesi Hazırlık Akış Şeması Şekil 2.7'de verilmiştir.



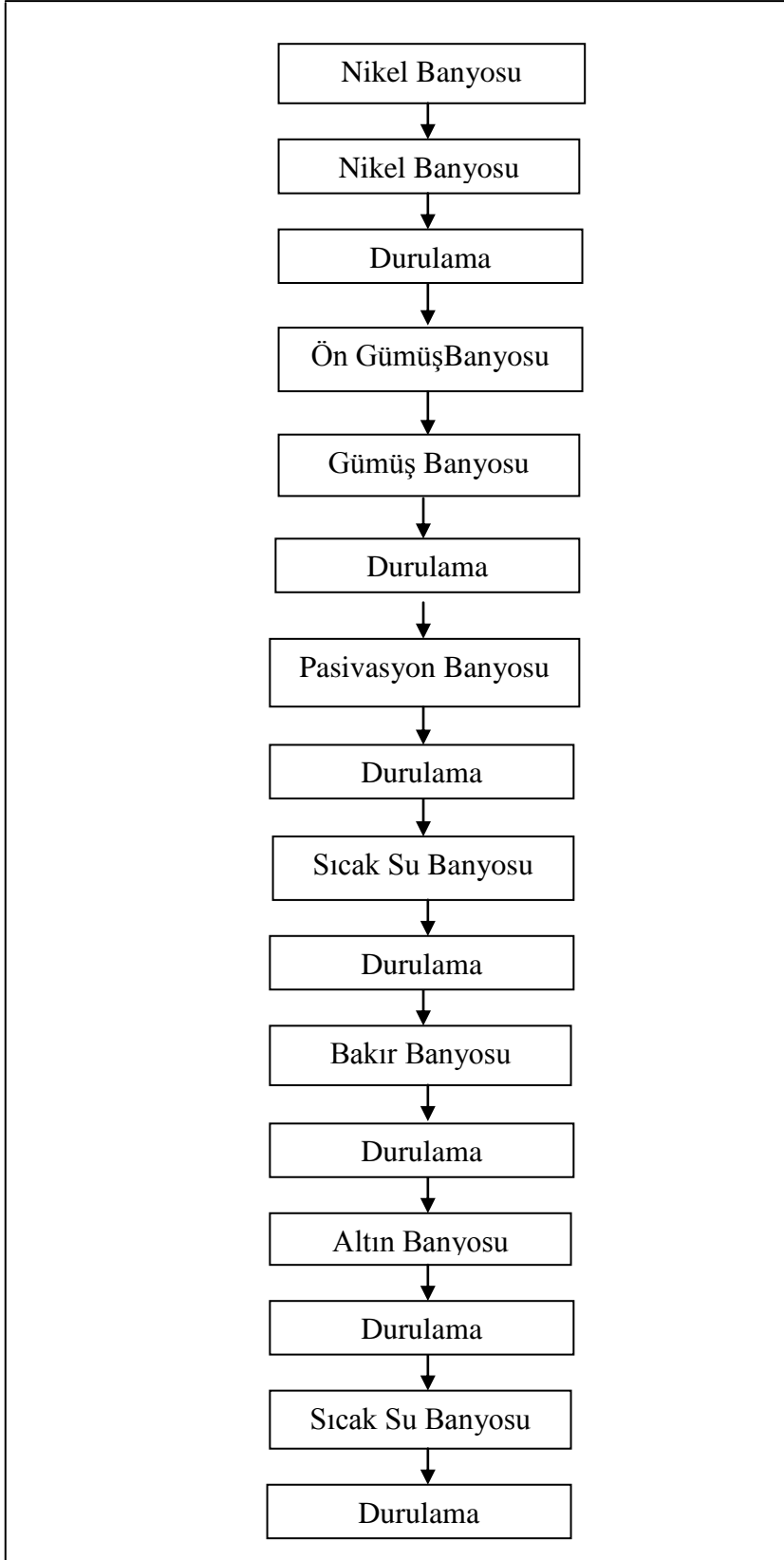
Şekil 2.7:Dolaplı Bakır, Nikel, Kalay, Gümüş, Altın Kaplama Öncesi Hazırlık İş Akış Şeması

Kaplama öncesi hazırlık aşamasından sonra nikel ve üzerine kalay kaplama Şekil 2.8’de verilmiştir.



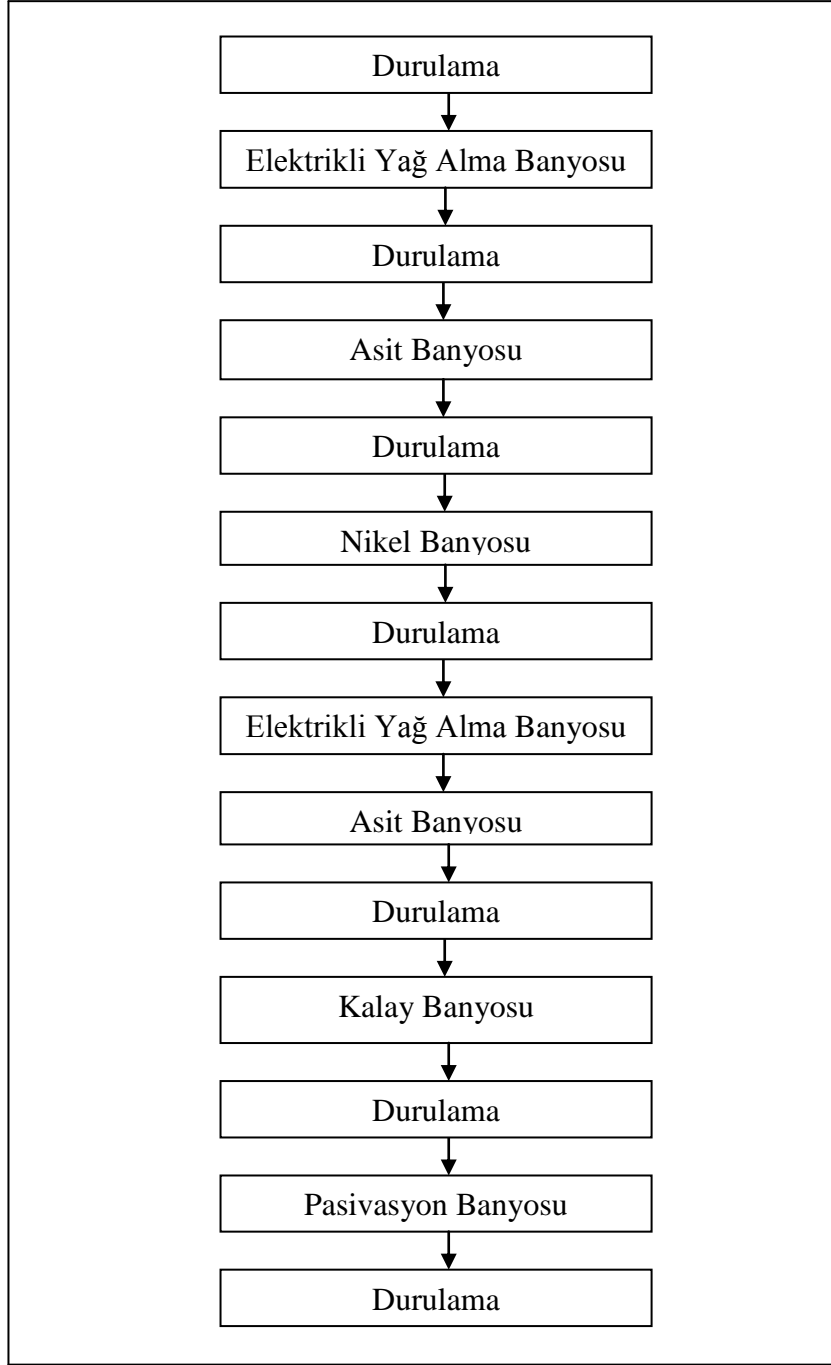
Şekil 2.8:Dolaplı Nikel ve Kalay Kaplama İş Akış Şeması

Kaplama öncesi hazırlıktan sonra dolaplı gümüş kaplama Şekil 2.9'da verilmiştir.



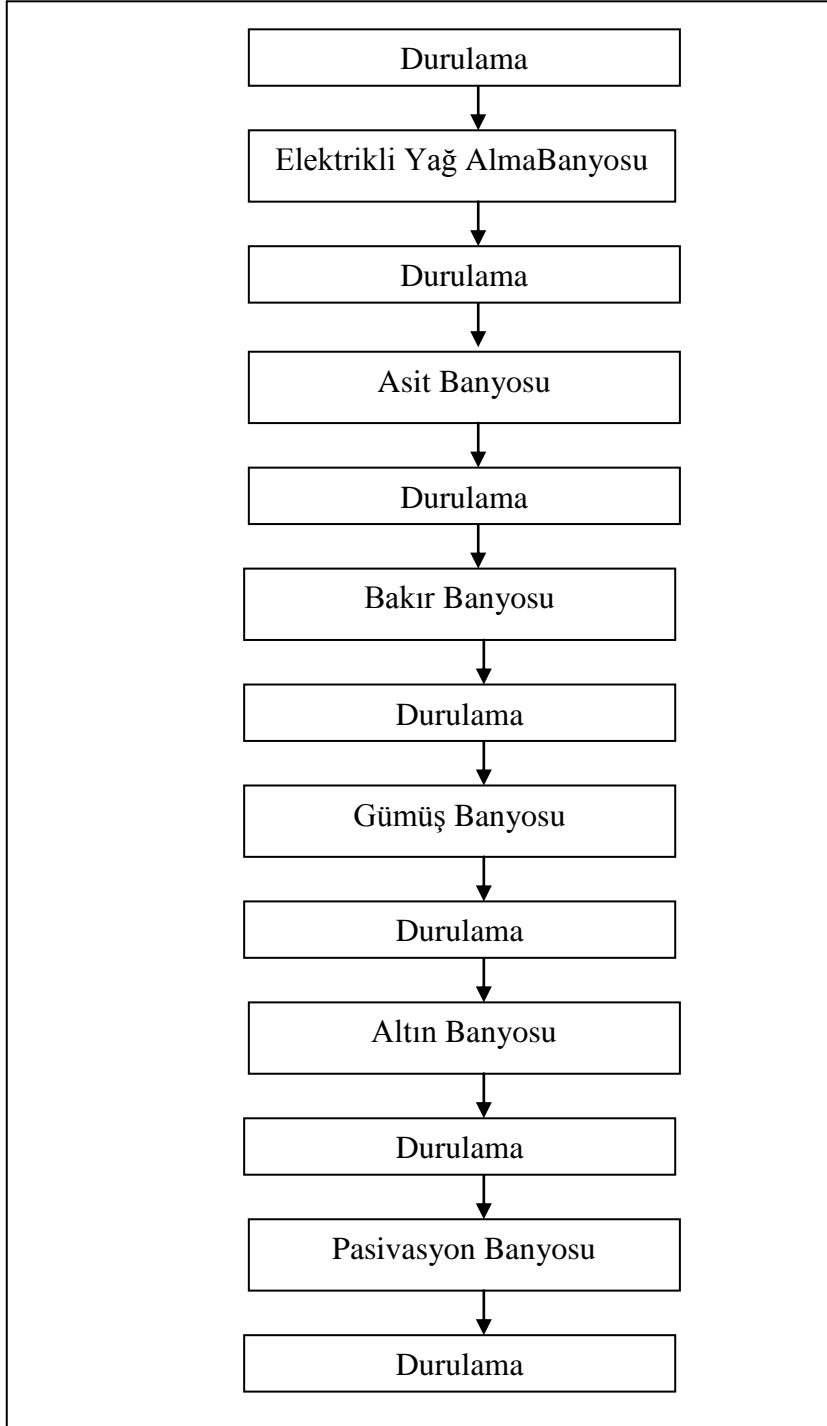
Şekil 2.9: Dolaplı Gümüş Kaplama İş Akış Şeması

Şerit İle Kaplama(Nikel, Kalay) İş Akış Şeması Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10:Şerit İle Kaplama(Nikel, Kalay) İş Akış Şeması

Şerit İle Kaplama(Bakır, Gümüş, Altın) İş Akış Şeması Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11:Şerit İle Kaplama(Bakır, Gümüş, Altın) İş Akış Şeması

2.2.2.5 Metal Kaplama Atıksularının Özellikleri

Kaplama işlemleri sırasında çeşitli asit ve bazlar, kompleks yapıcılar, siyanür bileşikler, organik katkı maddeleri, yağlar, yüzey aktif maddeler ve çözücüler gibi çok sayıda kimyasal madde ile yapıştırıcılar kullanılmaktadır [32].

Metal son işlemleri endüstrisinde su kullanımı başlıca durulama, soğutma, söndürme, temizleme, boyama, gaz yıkama, hava kirlenmesi kontrol düzenekleri, montaj ve test işlemlerinde gerçekleşir. Su kullanım miktarları üretim işlemlerine bağlı olarak değişkenlik gösterir [33].

Metal sanayinde elektro kaplama, elektriksiz kaplama, eloksalleme, kimyasal dönüştürme kaplaması, aşındırma, temizleme ve boyama işlemleri en fazla su kullanılan ve atıksu oluşturan işlemlerdir [34].

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği metal son işlemleri endüstrisi deşarj standartlarını genellikle sağlar. Standartların sağlanamadığı durumlarda tesis içi önlemler alınır. Zorunlu durumlarda yada geri kazanma istenildiğinde ileri arıtma yöntemleri uygulanır. İleri arıtma yöntemleri olarak ultra filtrasyon, iyon değişimi ve ters ozmoz kullanılabilir [35].

Metal kaplama işleminde kullanılan bazı banyoların kirleticisi içerikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir [36].

Çizelge 2.2: Metal Kaplama Endüstrisi Üretim Proseslerinde Kirleticisi Kaynakları

Metal Kaplama Banyoları	Kirleticiler
Asit Banyoları	Sodyum hidroksit, sodyum karbonat, sodyum silikat, siyanidler, organik çözücüler
Yağlama Banyoları	Sodyum hidroksit, sodyum karbonat, sodyum silikat, siyanidler, organik çözücüler
Galvanik Banyolar	Bakır, nikel, çinko, kadmiyum, mangan, alüminyum, demir, kobalt, dikromat
Siyanür Banyoları	Bakır, çinko, kadmiyum, siyanid
Cilalama Banyoları	Asit, kromat
Sertleştirme İşlemleri	Siyanür, nitrat
Fosfat Banyoları	Fosforik asit, metal iyonları
Eloksal Banyoları	Metal iyonları, asit
Diğer Banyo İşlemleri	Nitrit ve metal iyonları

Metal kaplama proseslerindeki kirlilik yükleri Çizelge 2.3’te verilmiştir;

Çizelge 2.3: Metal Kaplama Endüstrisi Atıksularının Özellikleri

Metal Kaplama Endüstrisi Atıksularının Özellikleri		Değişim aralığı
Kıstaslar		
AKM	(mg/L)	150-380
UAKM	(%)	20-60
TKM	(mg/L)	1000-6000
UTKM	(%)	6-12
KMnO ₄	(mg/L)	8-100
Fe	(mg/L)	2-20
SO ₄ ⁻²	(mg/L)	30-120
NO ₃ ^{-N}	(mg/L)	10-120
CN ⁻	(mg/L)	1-6
Cu	(mg/L)	0-20
Cr	(mg/L)	5-25
Ni	(mg/L)	5-40
Çamur	(ml/L)	1-15

Metal işleme endüstrisinin atıkları, içinde biyolojik olarak oksitlenebilen madde miktarı az olduğundan çoğunlukla BOİ değerlerini değiştirmezhemen hepsi canlılar üzerinde (evsel atık arıtma sistemlerindeki mikroorganizmalar üzerinde) zehirli etki gösterir. Çizelge 2.3'e göre bu atıksular 150-380 mg/L Askıdaki Katı Madde (AKM), 1.000-6.000 mg/L Toplam Katı Madde (TKM) içerebilmektedir.

Metal kaplama, boyama işlemine oranla daha komplekstir. Burada metalin kaplanacak yüzünün gerektiği şekilde temizlenmesi ve hazırlanması şarttır.

Metal son işlemleri ile birlikte bulunabilen endüstri kategorileri;

- Demir çelik endüstrisi,
- Dökümhaneler
- Emayeleme endüstrisi,
- Bakır şekillendirme endüstrisi,
- Alüminyum şekillendirme endüstrisi,
- Tel(kablo) kaplama endüstrisi,

- g) Elektronik ve elektrikli araçlar endüstrisi
- h) Pil ve akü endüstrisi
- i) Tersaneler ve gemi döküm yerleri
- j) Fotoğrafçılık araç ve malzemesi üretimi ve fotoğraf stüdyoları.
- k) Metal son işlemleri endüstrisinde çok değişik ve çok sayıda hammadde

kullanılmakta olup; metal olarak bakır, demir, nikel gibi yaygın metaller yanında özel alaşımlar ve altın, platin gibi değerli metaller de kullanılmaktadır.

İşlemlerde kullanılan banyolar çeşitli asitler, bazlar, kompleks yapıcılar, siyanür bileşikleri, organik katkı maddeleri, yağlar ve yüzey aktif maddeleri içerebilir. Metal son işlemleri endüstrisinde uygulanan temel işlemlerden kaynaklanan atıksular, karakteri bakımından yedi grupta toplanabilir. Bu yedi grup metal son işlemleri kategorisinin alt kategorilerini oluşturmaktadır. Bu alt kategoriler; siyanür içeren atıksular, (+6) değerlikli krom içeren atıksular, yağlı atıksular, çözücüler, kompleksmetal içeren atıksular, değerli metaller içeren atıksular ve adi metaller içeren atıksular dır [27].

2.3 Atıksu Arıtımı

Atıksu arıtımı; atıksu arıtma-geri kazanım işleminde kullanılan fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri atıksu arıtma yöntemlerini kapsamaktadır.

Endüstriyel atıksuların alıcı ortama(dere, deniz, göl, kanalizasyon-altyapı sistemi vb.) deşarjı için faaliyetin kapsamına göre SKKY ayrıca Tehlikeli Maddelerin Su Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği'ndeki belirlenen deşarj limitlerinin altındaki değerlerde atıksuların verilmesi için arıtma işlemi yapılmaktadır. Arıtma işlemleri aynı zamanda geri kazanım işlemleri ile endüstriyel atıksuların tekrar kullanımını kapsamaktadır. Altyapı tesisine sahip Sanayi Alanı, Mücavir Alan, Belediye ve Organize Sanayi Bölgesisınırları içerisinde faaliyet gösteren endüstriyel işletmelerin atıksuları için deşarj limitleriniyasal mevzuata görebelirleyip gerekli kontrol ve atıksu analizlerini yapmaktadırlar. Atıksu analizleri sektöre ve atıksu debisine göre yapılması zorunluluk olmaktadır.

Atıksuların özellikleri, kaynaklarına bağlı olarak önemli farklılıklar gösterir ve bu farklılıklara göre arıtma yöntemleri de değişir. Atıksular genellikle %99,9 su ve yalnız %0,1 oranında kirletici maddelerden oluşmaktadır. Kirleticiler atıksuyun içindeki çözülmüş halde olabilecekleri gibi, katı madde olarak askıda da(su içinde asılı olarak) kollaidel olarak bulunabilirler. Bu kirleticilerin uzaklaştırılması için kirleticilerin şekline göre fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılabilir [37]. Fiziksel arıtma sistemleri atık sudaki yüzen ve çökebilen katı maddelerin uzaklaştırılması amacıyla uygulanır. Fiziksel yöntemler; ızgaralama, dengeleme, yüzdürme, kum tutma, elekten geçirme, flotasyon, çöktürme, adsorbsiyon, süzme(filtrasyon) vb. işlemleri kapsamaktadır. Kimyasal yöntemler olarak; nötralizasyon, koagülasyon-flokülasyon, kimyasal oksidasyon, iyon değiştirme, kimyasal oksidasyon, dezenfeksiyon vb. yöntemler kullanılır. Biyolojik arıtma işlemleri suda çözülmüş olan organik maddeleri bakteri etkisiyle karbondioksit haline getirerek sudan uzaklaştırmaktır. Bu işlemlerden sonra atık su, kirleticilerin büyük bir kısmından arındırılmış olur.

Atıksu içindeki kirleticilerin uzaklaştırılması amacı ile atıksu karakterine göre birincil, ikincil ve ileri(üçüncül) arıtma yöntemleri kullanılır. Birincil arıtma, atıksudaki yüzen ve çökebilen katı maddelerin uzaklaştırılması işlemlerini kapsayan fiziksel(mekanik) arıtma ünitelerini(yöntemlerini) içerir. İkincil arıtma, organik maddelerin gideriminde kullanılan biyolojik ve/veya kimyasal arıtma ünitelerini içerir. İleri arıtma bu işlemlere ilaveten Membran Biyoreaktörler, Membran Prosesler(MF, NF, UF, Ters Osmoz), Elektrodializ, İyon Değiştirme, İleri Oksidasyon, Elektrokimyasal Yöntemler, İleri Adsorpsiyon yöntemler kullanılarak ikincil arıtmada giderilmeyen kirleticilerin uzaklaştırılmasında kullanılan prosesleri kapsar. İleri arıtma fiziksel, kimyasal, biyolojik yöntemlerinden birinin veya birkaçının(tamamı dahil) uygulamasını kapsar.

Birinci dereceli tasfiye atıksuyun içinde bulunan askıdaki çökelebilen veya yüzebilen maddelerin uzaklaştırılmasını sağlar. İkinci, dereceli tasfiye, atıksuların biyolojik Oksijen İhtiyacı(BOİ)'sini, askıdaki katı madde ve patojenik mikroorganizmaları önemli miktarda atıksu azaltması(atıksudan gidermesine) rağmen ağır metal, azot, fosfor konsantrasyonlarına az etki

yapmaktadır. Üçüncü derece tasfiye atıksuyun içinde bulunan bu tür kirleticileri uzaklaştırmayı amaçlamaktadır [27].

Atıksulardaki kirleticileri gidermek(kirlilik yükünü azaltmak) için arıtma işlemleri Çizelge 2.4’te verilmiştir [38].

Çizelge 2.4: Atıksulardaki Kirleticileri Gidermek İçin Arıtma Yöntemleri

KİRLETİCİ	ARITMA PROSESİ
Askıdaki Katı Madde	Çöktürme, Yüzdürme, Filtrasyon, Koagülasyon-Çöktürme, Fiziko Kimyasal İşlemler, Arazide Arıtma
Biyolojik Olarak Parçalanabilir(Ayrışabilir) Organik Maddeler	Aktif Çamur Sistemleri, Biyofilm Prosesleri, Stabilizasyon Havuzları, Lagünler, Anerobik Arıtma, Arazide Arıtma
Patojenler(Zararlı Mikroorganizmalar)	Klorlama, Ozonlama, Ultraviyole
Azot Giderimi	Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon, İyon Değişirme, Kırılma Noktası Klorlaması, Olgunlaştırma Havuzları, Arazide Arıtma
Fosfor Giderimi	Metal Tuzları İlavesi İle Çöktürme, Kireç Koagülasyonu-Çöktürme, Biyokimyasal Olarak Fosfor Giderimi, Arazide Arıtma
Ağır Metal Giderimi	Kimyasal Çöktürme, İyon Değişirme, Arazide Arıtma
Çözünmüş İnorganik Katı Giderimi	İyon Değişirme, Ters Osmoz
Yağ ve Gres Katı Giderimi	Yüzdürme
Çökelebilen Katı Maddelerin Giderimi	Izgara, Kumtutucu

Yukarıdaki Çizelge 2.4’te, ters osmoz dışında açıklanan arıtma yöntemlerine klasik arıtma yöntemleri olarak tanımlayabiliriz. Ters Osmoz ayrıca çizelgede olmayan membran proseslerini kapsayan ileri arıtma yöntemleri ise son yıllarda bu klasik yöntemlerin temeline dayanılarak geliştirilen ve klasik arıtma yöntemleri ile atıksularda arıtılmayan kirliliklerin gideriminde kullanılmaktadır. Ayrıca ileri arıtma yöntemleri atıksudan geri kazanılan kimyasalların ve atıksuyun tekrar proseste kullanımına imkan verebilmektedir.

Endüstriyel atıksuyun arıtımında uygulanan fiziksel yöntemler, kimyasal yöntemler, biyolojik yöntemler ve ileri arıtma yöntemleri aşağıda açıklanmıştır;

2.3.1 Fiziksel(Mekanik) Yöntemler

Mekanik temizlemede, büyük depolama tanklarında birikmiş olan atık sulardaki iri kirler önce tarak ve süzgeçlerle alıkonur, ince kirler ise çökme havuzlarında ayrılır [39].

Fiziksel arıtma sistemleri atık sudaki yüzen ve çökebilen katı maddelerin uzaklaştırılması amacıyla uygulanır [40]. Izgaralama, dengeleme, yüzdürme, kum tutma, elekten geçirme, flotasyon, çöktürme, adsorbsiyon, süzme(filtrasyon), vb. işlemlerini kapsayan fiziksel arıtma yöntemleri aşağıda açıklanmıştır;

2.3.1.1 Izgaralama(Izgaradan Geçirme)

Atıksu tasfiye tesislerinde genellikle ilk birimini oluşturan ızgaraların gayesi, suyun içinde bulunan büyük ebattaki maddeleri uzaklaştırmaktır. Böylece, ızgaraları takip eden birimlerde atıksuyun tasfiye işlemi kolaylaşmış olduğu gibi pompa ve küçük boruların tıkanması engellenir [37]. Dolayısı ile atık su içindeki katı maddelerin pompa, boru, ekipman vb. tesisata zarar vermesinin önüne geçilmesi, diğer arıtma ünitelerine gelecek yükü hafifletmek ve dezenfeksiyon işlemlerinde kullanılan dezanfaktanların atıksudaki katı maddelerce adsorblanarak etkisinin azaltılmasının önüne geçilmesi amacı ile ızgaralar kullanılır.

Izgara çubukları arasındaki mesafe tutulması istenen katılan büyüklüğüne göre değişir ve çubuklar arası 15-30 mm olarak yapıldığında ince ızgara, çubuk aralığı 40-100 mm ise kaba ızgara olarak adlandırılır.

Izgaraya yaklaşan kanaldaki suyun hızı 0.5 m/s düşük olmamalı, ızgara çubukları arasındaki hızı ise 1.0 m/sn yi aşmamalıdır. Izgara çubukları arasından geçen sıvının maruz kaldığı direnç ve sürtünme etkileri, belirli bir yük kaybına yol açar. Bu nedenle ızgaralar belirli değerden daha fazla yük kaybına sebep olmamalıdır. Aksi halde giriş tarafındaki sular kabarır ve atıksu içindeki maddeler çökerek kanalı tıkarlar [41]. Bu durumu engellemek için temizleme işlemi otomatik yapılan ızgaralarda ortalama 10 cm'lik seviye farkı meydana

geldiğinde temizleme işlemi başlatılır. Elle temizlenen ızgaralarda ise serbest açıklığın yarısı dolduğu zaman ızgara temizlenir. 20 mm daha küçük aralıkta ızgaraların inşası durumunda temizleme işlemi zorlaşır.

2.3.1.2 Elekten Geçirme(Öğütücü)

Tasfiye tesislerinde genellikle ızgarayı takip eden birim, bir elek(öğütücü) dir. Bunun gayesi ızgaralardan geçen katı parçaları ufalamak(öğütmek) ve böylece uzaklaştırılmalarını kolaylaştırmaktır [37]. Ancak öğütücüler bazı uygulamalarda atıksudaki iri maddelerin ızgara delikleri arasından geçecek şekilde öğütölmelerini sağlamaktadır.

Elekler, biyolojik tasfiyeden çıkmış suların asılı(süspansiyon) katı maddelerini ve bir kısım organik bileşiklerini tutmak maksadıyla kullanılırlar [41].

2.3.1.3 Kum Tutma(Kum Tutucu)

Kum tutucuların amacı, atıksuyun içinde bulunan kum, çakıl vb. inorganik maddeleri çöktürmektir.

Kirli suya yağmurlarla karışan yoğunluğu yüksek, anorganik maddeler kum, toprak vb. çöktürülür. Bunun için su akış alanı genişletilir, hızı 30-35 cm/s' ye düşürülür. Böylece bu maddelerin çökmesi sağlanır [39]. Bu işlem sırasında atıksuyun akış hızı kontrol edilerek atıksudan organik maddelerin çökmemesine dikkat edilmelidir.

Kum tutucunun yüzey alanı, maksimum debide istenen maddelerin çökmesine yetecek büyüklükte olmalıdır. Debi azalınca, daha küçük çaplı ve çökmesi arzu edilmeyen taneler de tabana çöker ise de, bunlar yatay hızı sabit tutmak koşuluyla tekrar tabandan kaldırılabilirler. Bunun için yatay hızı, tabana çökmesi arzu edilmeyen taneleri sürükleyerek, onları süspansiyona karıştırarak bir değerde tutmak icap eder. Bunun için akım(akış) kontrol tertibatları yapılır [41].

Dikdörtgen planlı uzun, dairesel, düşey akımlı, havalandırılmalı gibi çeşitleri vardır. Kum tutucuların projelendirmesi genellikle kum tutucudan geçen atıksu debisinin kum tutucunun yüzey alanına bölerek hesaplanan yüzeysel hidrolik yüke göre yapılır. Projelendirmede en önemli sorun, kum tutucudaki akış hızını nispeten sabit tutabilmektir. Bunun nedeni, herhangi bir koku ile karşılaşmamak

için tutulan kumun mümkün olduğunca organik madde ihtiva etmemesidir. Kum tutucularda akış hızının genellikle 0,3 m/s civarında olması istenir [42]. Bu hızın altındaki değerlerde daha küçük çaplı tanelerin suyun yatay sürüklenme kuvveti sayesinde tabana çökmesine engel olmak için, kum tutucularda yatay hızın mümkün olduğunca sabit kalması istenir [41].

Kum tutucunun bakım ve temizleme işlemlerinin özellikle atıksu debisi yüksek olan tesislerde iki adet bulunması uygun olacaktır.

2.3.1.4 Dengeleme

Dengeleme havuzları ile atık suların debi ve kalite yönünden dengelenmesini ve kontrol edilmesini homojen olarak devamındaki arıtma sistemlerine iletilmesini sağlar.

Uygulamada dengeleme tankı hacmi teorik olarak hesaplanan değerden daha büyük tutulur. Genellikle, bekletme süresi 4 ile 8 saat arasında olacak şekilde bir bekletme süresi seçilir [43].

2.3.1.5 Yüzdürme(Flotasyon)

Flotasyon işleminin başlangıcında atık su, karıştırıcıya alınır. Burada dolanım suyu koagülanla(alüminyum oksitçözültisi) karıştırılır. Karışımın pH değerine bakılır. Endüstriyel atık sular, karıştırıcıdan sonra basınç düşürücülerden geçirilir ve flotasyon tanklarına gönderilir. Burada atık su içinde hava kabarcıklarıve köpük oluşur. Yağzerrecikleri köpük içinde tutulur ve hava kabarcıklarıyla birlikte su yüzüne yükselerek yüzeyde birikir. Bu birikinti, köpük sıyrıcılarıyla sıyrılarak ortamdan uzaklaştırılır. Tank tabanında biriken yağlıçökelti ise, pompa istasyonuna gider. Doyurulan çamur, pompalarla kurutma yataklarına gönderilir [39].

Flotasyon işlemi atık sudaki asılı katıların uzaklaştırılması ve çamurun ayrılması amacıyla kullanılan bir fiziksel yöntemdir. Yeterli hava ile doyunlaştırılmış 2-3 atmosfer basıncındaki bir sıvı, atmosfer basıncı düzeyine indirildiğinde çapları 20-100 mikron arasında milyonlarca mikro ölçekte kabarcık oluşturur.

Flotasyonda dispersiyona uğramış sıvı parçacıklar, katı parçacıklar veya büyükçe parçalar(floküent) hava veya gaz kabarcıklarına yapışmış olarak su

yüzeyine taşınır ve uzaklaştırılırlar. Flotasyon süresi normal olarak 5-30 dakikadır.

Emülsiyeye yağ içeren atıklar da koagülasyonla çöktürülebilirler. Emülsiyedeki yağ parçacıkları yaklaşık 0,00001 cm dir ve adsorblanan iyonlarla stabilize olurlar. Sabunlar da emülsiyon oluştururlar. Emülsiyon CaCl_2 gibi bir tuz ilavesi ile veya pH'ı düşürmeyle de kırılabilir [44]. Endüstriyel atıksularda kolloidal parçalar genellikle negatif yüklüdür. Flokulan maddeler(+3 demir ve alüminyum gibi) uygun pH ortamında bu nötralizasyonu oluştururlar. Floklar çöktürme veya çözülmüş hava flotasyonu ile uzaklaştırılabilirler. Yeni geliştirilmiş bir yöntem olan eloktroflotasyonda negatif yük elektriksel olarak nötrleştirilmekte ve elektroliz sonucu oluşan oksijen ve hidrojen kabarcıklarıyla flotasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Elektroliz sonucu açığa çıkan oksijen ve hidrojen habbecikleri yumakların yüzeye taşınmasını sağlar. Bu sistemlerde yüzeydeki flok kendi ağırlığı ile dibe çekilirken gaz kabarcıkları tarafından yüzeye doğru itilir. Eloktroflotasyonda yağ ve gres ayrımında yüzeye taşınan floattaki yağ konsantrasyonu yağların hidrofobik özelliğinden ötürü %50'ye kadar çıkabilir [45].

2.3.1.6 Çöktürme

Atıksuda bulunan çökebilir maddelerin yerçekimi etkisi ile çökeltilerek, atıksu akımından ayrıldığı işlemdir. Bir danenin çökme hızı; danenin yoğunluğu, dane çapı ve sıvının vizkozitesine bağlıdır. Dane çapı küçüldükçe çökme hızı azalmaktadır.

Münferid danelerin çökmesinde, çökme sırasında danecilerin çap, ağırlık ve şekilleri değişmez. Eğer bir danecik durgun bir sıvı ortamına bırakılırsa, yoğunluğu sıvının yoğunluğundan fazla ise aşağı doğru çöker. Bu durumda daneye iki kuvvet tesir etmektedir. Bunlar danenin ağırlığından ileri gelen ağırlık kuvveti ve danenin çökmesine karşı sıvının gösterdiği sürtünme kuvvetidir [40].

Çökeltme havuzlarına atıksu mümkün olduğunca türbülanssız olarak girmelidir. Bu amaçla özel giriş tertibatları yapılır. Dairesel havuzlarda akım radyal olup hız merkezde fazla, çevrede çok küçüktür, akımın stabilitesi her yerde sağlanamaz. Bu nedenle dikdörtgen havuzlar çökeltme verimi bakımından daha

elverişlidir. Ayrıca daha az yer kaplar fakat çamur tahliyesi dairesel havuzlar kadar kolay ve verimli olmaz. Mekanik vasıtalar(çamur sıyrıcılara) ihtiyaç kalmadan çamurların uzaklaştırılması istenirse, taban eğimi fazla olan konik havuzlar yapmak gerekir. Dikdörtgen havuzlarda uzunluk/genişlik oranı 3:1 ile 5:1 arasında değişir. Derinlik 2-2,5 m dir. Dairesel havuzların çapları 10-40 m arasındadır. Havuz kenarında su derinliği 2-3 m arasındadır. Taban eğimi%8 civarındadır [41].

Çöktürme-çökeltme tanklarının projelendirme esasları pek değişmemekle beraber ilk ve ikinci çöktürme tanklarının boyutlandırılmasında bazı farklar mevcuttur. İlk çöktürme tankları genellikle ortalama debide $24-48 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{gün}$ 'e tekabül eden taşma yüküne ve 90-150 dakika arasında bekletme sürelerine göre projelendirilir. Ancak biyolojik tasfiyeden önce gelen çöktürme tanklarında bekletme süresi 30-60 dakika arasında olabilir [42]. Çökeltme havuzlarında proje kıstasları; debi/savak boyu ile hesaplanan savak yükü($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{gün}$), debi/havuz kesit alanı ile hesaplanan yüzey yükü($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{gün}$), havuz derinliği/hidrolik bekletme süresi(m/saat) ve havuz hacmi/debi ile hesaplanan bekletme süresi(saat) dir.

Çöktürme havuzlarının verimliliği, giderilecek olan asılı(askıdaki katı) maddelerin özelliklerine ve çöktürme havuzunun hidrolik karakteristiklerine bağlıdır. Çöktürme Havuzları gördükleri işleve göre; giriş bölgesi, çökeltme bölgesi, çıkış bölgesi ve çamur bölgesi olmak üzere dört bölgeye ayrılırlar. Çöktürme havuzlarının hidrolik karakteristiklerini havuzun geometrisi ve suyun havuzdaki akış şekli belirler. Yatay akışlı çöktürme havuzları dikdörtgen veya daire şeklinde olmaktadır. Daire kesitli çöktürme havuzları çoğunlukla merkezden ve çevreden beslenirler. Bu havuzlar; paralel akışlı dikdörtgen havuz, merkezden çevreye akışlı dairesel havuz, çevreden beslenen spiral akışlı dairesel havuz, çevreden beslenen radyal akışlı dairesel havuz ve radyal akışlı kare planlı havuz olmaktadır.

Yatay akışlı havuzların projelendirilmesinde amaç çöktürme bölgesindeki her bir düşey üzerinde bütün noktaların hızının eşit olmasını sağlamaktır. Bu durum uygulamalarda havuzdaki su akıntısının düzensiz olması ve sürtünme kuvvetlerinin farklı olması nedeniyle tam olarak gerçekleştirilemez.

Tabana çöken katı maddelerin tekrar suya karışmaması için yatay su hızının belirli bir değerde tutulması gereklidir. Çökeltme havuzlarındaki yatay hız 2,5-15 mm/s arasında olmalıdır.

Çökeltme-çöktürme havuzu boyutlandırılırken tasfiye edilecek su miktarı azaldıkça çökeltme hızı, dolayısı ile yüzey yükü azalmaktadır. Yüzey yükünün azalması, havuz yüzey alanının artması anlamına geleceğinden su sıcaklığı çöktürme havuzlarının boyutlandırılmasında çok önemli bir kıstas olmaktadır. Ayrıca danenin özgül ağırlığı arttıkça çökeltme hızı da artmaktadır. Esas boyutlandırma değeri yüzey yükü olduğu için bu değerin uygun seçilmesi gerekmektedir.

Çöktürme işlemi, fiziksel yöntemler grubunda olmasına rağmen kimyasal ve biyolojik yöntemlerdeki atıksu arıtımının bir parçası(ön çökeltme havuzu-tankı ve son çökeltme havuzu-tankı) olarak kullanılmaktadır.

2.3.1.7 Aktif Karbonlama(Adsorbsiyon)

Aktif karbon ister daneli, ister toz halinde kullanılsın fiziki bir tutma(adsorblama) şeklinde etki eder, kimyasal bir reaksiyon yapmaz. Gazları ve inorganik maddeleri adsorbe eden karbon, koku ve tad kontrolünde kullanılması esnasında organik maddeleri de tutar. Su tasfiyesinde kullanılan karbonun yüzey alanı 500 ile 1.000 m²/gr arasında değişir. Suyu kirleten maddeler yüzey alanında tutulacağından, yüzey alanı giderme verimine tesir etmektedir. Yüzey alanı yanında verime tesir eden bir diğer kıstas gözenek büyüklüğüdür. Gözenekler silindirik veya konik şeklinde olabilmektedir. Gözeneklerin çap veya büyüklükleri, giderilecek kirleticilerin danecik çaplarına uygun olmalıdır. Yüzey alanı ve gözenek büyüklüğünden başka tutulacak maddelerin cinsi, su sıcaklığı, pH, gibi birçok kıstas giderme verimine etki etmektedir. Suyun sıcaklığı ne kadar düşük ise o kadar iyi netice elde etmek mümkün olmaktadır [40].

Aktif karbonun temas süresi 15 dakika ile 1 saat arasında olmalıdır. Düşük pH değerleri aktif karbon için daha uygundur. Eğer ön klorlama yada kırılma noktası klorlaması yapılıyor ise aktif karbon kloru etkisiz hale getirmesi nedeni ile klor ilavesi ile aktif karbon ilavesi arasında en az 30 dakika süre olmalıdır. Aktif karbon esas itibari koku ve tad kontrolünde kullanılmasına rağmen,

yumaklaştırma işleminde yumaklar için çekirdek vazifesi görmesi bakımından yumaklaştırmaya yardımcı madde olarak da kullanılmaktadır.

Aktif karbonun toz halinde kullanılmasının gerekli dozajın periyodik olarak tayin edilip tatbik edilmesi gibi mahzurları karbon filtrelerde yoktur.

Karbon filtreler aşağı akışlı veya yukarı akışlı olarak işletilebilirler. Filtre hızları hızlı kum filtrelerine yakın veya biraz daha büyük olabilmektedir. 1 m³ karbon filtre ile 100.000 m³ su tasfiye edilebilmektedir. Aktif karbon belirli bir süre kullanıldıktan sonra yenilenmelidir. Aktif karbon filtreler normal olarak su tasfiye tesisinin(işlemlerinin) sonunda kullanılırlar [40]. Aktif karbon filtreler ileri arıtma yöntemlerinde kullanılan membran proseslerin önünde bu proseslerin yükünü azaltma amacı ile kullanılmaktadırlar.

Karbon filtreleri kullanılmasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir;

- a) Aktif karbon filtrelerinden geçirilecek olan su, temiz bir görünüme(bu amaçlaöncesinde bir arıtma işlemi uygundur) sahip olmalı, bulanıklılığı giderilmiş olmalıdır. Aksi halde karbon yatağı kirlenecektir.
- b) Sudaki demir ve mangan konsantrasyonları çok düşük(0,1 mg/l'nin altında) olmalıdır. Aksi halde filtre yatağında çökecek olan demir ve mangan yumakları filtre yatağının kirlenmesine sebep olacaktır. Bu çeşit kirlenme geri yıkama ile giderilememektedir. Sudan demir ve manganın giderilmesi için havalandırma, kimyasal oksidasyon, yumaklaştırma, bekletme, iyon değiştirme ve filtrasyon işlemlerinden biri veya bir kaç uygulanmalıdır.
- c) Su, kalsiyum karbonat bakımından dengede olmalı veya bir miktar agresif karbondioksit ihtiva etmelidir. Aksi halde kalsiyum karbonat çökelerek aktif karbonun yüzeyini kaplar ve bu durum karbon taneciklerinin aktivitesini azaltır.
- d) Daneli aktif karbondan teşkil eden filtre yatağında, bakteri ve diğer mikroorganizmaların çoğalması mümkündür. Çünkü suda çok az miktarda olan besi maddeleri aktif karbon yüzeyinde tutularak mikroorganizmaların çoğalmasına uygun şartlar oluşturur. Bu nedenle aktif karbondan geçen su dezenfekte edilmelidir [40].

Aktif karbondan sonra sudaki kimyasal oksijen ihtiyacı ve demir konsantrasyonu 0 mg/l'te yaklaşmakta, toplam organik karbon 1 mg/l'nin altına düşebilmektedir. Fenol muhtevası çok düşük olabilmekte ayrıca deterjanların %80'i tutulabilmektedir.

2.3.1.8 Süzme(Filtrasyon)

Su tasfiyesinde süzme işlemi sudaki askıdaki katı maddeleri sudan uzaklaştırmak, bulanıklılığı gidermek, organik maddelerin okside olmasını sağlamak, mikroorganizmaları nispeten sudan uzaklaştırmak, demir ve manganyum okside etmek, amonyumu okside etmek için kullanılmaktadır. Filtreler hızlarına göre yavaş filtreler ve hızlı filtreler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Filtrelerin saat ve hidrolik şartlara göre yerçekimi ile çalışan filtreler(bu filtrelerin üstleri açık olup, su yerçekimi ile akmakta ve filtreden çıkan su atmosfer basıncında olmaktadır), yukarı akışlı filtreler(bu filtrelerde su girişi alttan olmaktadır) ve basınçlı filtreler(bu filtreler basınca dayanıklı kaplar içerisinde suyun basınçlı filtreye pompa-tulumba ile basılması sonucunda filtreye basınçlı olarak girip basınçlı olarak çıkmaktadır) olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Filtreler; kum filtresi, antrasit kömürü ile teşkil eden filtreler, kum ve kömür gibi birden fazla filtrenin kullanıldığı filtreler ve diaotmit filtreler olmak üzere filtre malzemesine göre de ayrıca gruplandırılmaktadır.

Filtrasyon işlemi su tasfiyesinde yalnız başına veya bir başka tasfiye işlemi ile birlikte kullanılabilir. Örnek olarak yumaklaştırma işleminden sonra hızlı kum filtresi yada basınçlı kum filtresi kullanılabilir.

Süzme(filtrasyon) işlemi esnasında kirliliklerin giderilmesi için birbirinden farklı aşağıdaki işlemlerle gerçekleştirilmektedir [40];

a) Mekanik Süzme: Kullanılmış suların filtre yatağından geçerken bazı kirlenmelerin filtre malzemesi tarafından tutulması işlemidir. Süspansiyon haldeki katıların boyutları, yatak malzemesi gözeneklerinden büyük olduğu için burada tutulurlar. Küre şeklindeki 0,4 mm çaplı kumların kullanıldığı filtrede kumların yan yana dizilmesi halinde arada kalan boşluk ortalama 60 mikron olduğu düşünüldüğünde normalde 0,001-0,1 mikron çapındaki kolloidlerin, 1-10 mikron çapındaki bakterilerin hatta 20-50 mikron çapındaki(büyükliğindeki) küçük alüminyum ve demir yumaklarının tutulması mümkün görünmemesine

rağmen süzülme esnasında bazı daneciklerin birbiriyle temas etmesi neticesinde büyük yumaklar teşekkül etmekte ve böylece kirletici maddelerin filtre yatağından süzülüp çıkış suyuna karışması engellenmektedir. Hızlı kum filtrelerinde mekanik süzme işlemi diğer giderme mekanizmaları yanında ihmal edilebilecek mertebededir. Bu yüzden çabuk tıkanmalara karşı bu filtrede kum yatağının dane çapı daha büyük seçilir.

b) Çökelme: Filtrede yatağının üzerinde bir durgun su sütunu bulunmaktadır. Burada normal çökelme işleminde olduğu gibi bazı danecikler filtre yatağının üzerine çöker. Çökelme havuzlarında çökelen maddeler tabanda birikirler. Halbuki filtrelerde, filtre yüzeyine ilave olarak daneciklerin toplam yüzey alanı da söz konusudur. Yatağın porozitesi $p=0,4$, dane çapı $d=0,8$ mm alındığında 1 m^3 filtre malzemesinin toplam yüzey alanı $6/d(1-p)$ formülü ile 4.500 m^2 olarak hesaplanır. Süzülme esnasında kesit daraldığından su hızı artar, filtre yatağındaki malzeme artan su hızı ile aşağıya taşınır. Filtre yatağı kalınlığı sınırlı olduğundan çıkış suyu kalitesi zamanla bozulur. Böyle durumlarda hızlı kum filtresi geri yıkama işlemine tabi tutulur.

c) Adsorpsiyon(Tutulma): Kolloidlerin küçük çaplı askıdaki katı maddelerin sudan uzaklaştırılmasında en mühim işlemlerden birisidir. Adsorpsiyon kuvvetleri en fazla $0,01-0,1$ mikron gibi çok kısa mesafeler için etkili olmaktadır. Halbuki kum danecikleri saran film tabakasının kalınlığı bu mesafeden çok daha büyüktür. Bu durum dikkate alınırsa adsorpsiyon, daneciklerin tutulmasında bir rolünün olmayacağı anlaşılır. Ancak burada durum farklı olmaktadır. Adsorpsiyon işlemine yardım eden, taşınma mekanizmaları ile suda bulunan partiküller filtre malzemesini teşkil eden kum danesine doğru yaklaştırılır. Böylece mesafe azaldığından partiküller tutulur. Taşınma mekanizmaları; keşişme, atalet, yerçekimi, difüzyon ve hidrodinamik tesirler olarak sınıflandırılabilir.

d) Kimyasal Reaksiyon: Filtrasyon işlemi esnasında bazı reaksiyonlar meydana gelmektedir. Böylece çözülmüş haldeki kirletici maddeler ayrışır, daha az zararlı maddeler haline dönüşerek çökelme ve adsorpsiyon ile sudan uzaklaşır. Suda oksijen mevcut ise organik maddeler aerobik olarak ayrışır. 1 gr organik madde ayrışırken $1,4 \text{ gr}$ oksijen sarf edilmekte ve $0,16 \text{ gr}$ amonyum oluşmaktadır. Oluşan amonyum bakteriler tarafından okside olmaktadır.

e) Biyolojik Faaliyet: Filtre yatağında ve yatak üzerinde yaşayan mikroorganizmalar biyolojik faaliyet gösterirler. Mikrobiyal faaliyetler hızlı ve yavaş kum filtrelerinde gerçekleşir.

Hızlı ve yavaş kum filtrelerini karşılaştırdığımızda; hızlı kum filtresinde filtre hızı 5-15 m/saat iken yavaş kum filtrelerinde 0,1-0,5 m/saat, kumun dane çapı hızlı kum filtrelerinde 0,4-2 mm, yavaş kum filtrelerinde 0,15-0,35 mm, yatak kalınlığı hızlı kum filtrelerinde 0,5-2 m, yavaş kum filtrelerinde 0,6-1,2 m, su yüksekliği hızlı kum filtrelerinde 0,25-2 m, yavaş kum filtrelerinde 1-1,5 m, temizleme aralığı ve şekli hızlı kum filtrelerinde 1-3 gün ve geri yıkama ile, yavaş kum filtrelerinde 90-120 gün ve sıyırma ile, tesirli hacim hızlı kum filtrelerinde bütün hacim, yavaş kum filtrelerinde üst yüzey, filtrenin en büyük yüzey alanı hızlı kum filtrelerinde 100-200 m², yavaş kum filtrelerinde 2.000-5.000 m² dir.

Hızlı kum filtrelerinde geri yıkama, filtre yatağında malzeme üzerinde biriken kirleticilerin filtreyi yukarı doğru yıkamak suretiyle sökülüp atılmasıdır. Geri yıkama esnasında malzeme kaybının olmaması gerekir. Geri yıkama esnasında filtre yatağı akışkan yatak haline getirilir. Yatak akışkan halde iken yukarı doğru olan kuvvet basınç düşmesi ile aşağı doğru olan kuvvet, yatağın su altındaki ağırlığına dengededir. Geri yıkama suyu toplam yıkama suyunun %1-2'si oranında olmalıdır. Geri yıkama işlemi ortalama 5 dakika sürmektedir.

Hızlı kum filtrelerin teşkilinde lüzumlu yüzey alanı $A=Q/V$ formülü ile hesaplanır. Burada $Q=Debi(m^3/saat)$, $V=Hacim$ dir. Filtre sayısı ise debinin karekökünün alınıp 12 ile çarpılması ile bulunur.

Hızlı kum filtrelerinde başlangıçtaki yük kaybı zamanla filtrasyon işlemi ile artarak belirli bir değere ulaşır. Filtrede su kalitesinin bozulmaması için filtre yatağında negatif basınçlara müsaade edilmez ve yük kayıpları belirli bir değer ile sınırlandırılır.

Basınçlı filtrelerin çalışma esası hızlı kum filtrelerinin aynısıdır. Aralarındaki tek fark basınçlı filtrelerin istenilen basınca dayanıklı olmasıdır. Basınçlı filtrelerde basınç atmosfer basıncından büyük olduğu için negatif basınç tehlikesi yoktur. Bu filtrelerde filtre hızları 7-18 m/saat tır. Bazı durumlarda 54 m/saat hızına da çıkabilmektedir. Yumaklaştırma ve çökeltme işleminden sonra

bu filtrelerin kullanılması uygun değildir. Çünkü arada terfi merkezi olacağından çökeltme havuzunda tutulamayıp filtrede tutulması istenen yumaklar terfi aşamasında parçalanacağından filtrasyonun verimi düşecektir.

2.3.2 Kimyasal Yöntemler

Kimyasal arıtmanın amacı, suda çözülmüş halde bulunan kirleticilerin kimyasal reaksiyonlarla çözünürlüğü düşük bileşiklere dönüştürülmesi ya da kolloidal ve askıdaki maddelerin yumaklar oluşturarak çökeltilmesi suretiyle giderilmesidir.

Kimyasal yöntemler olarak; nötralizasyon, koagülasyon-flokülasyon, kimyasal oksidasyon, iyon değiştirme, kimyasal oksidasyon, dezenfeksiyon vb. yöntemler kullanılır. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

2.3.2.1 Nötralizasyon

Asidik ve bazik karakterdeki endüstriyel atık suların. pH değerinin ayarlanması işlemidir. Atık suyun pH değerinin ayarlanması; atık suyun alıcı ortama deşarj standartlarının sağlanması, biyolojik arıtma öncesinde(bakteriyel faaliyetler belirli pH değerlerinde gerçekleştiğinden) uygun pH değerinin sağlanması, kimyasal çöktürme işleminde reaksiyonların gerçekleşeceği uygun pH değerinin sağlanması bakımından gereklidir.

2.3.2.2 Koagülasyon-Flokülasyon(HızlıKarıştırma-Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma)

Hızlı karıştırma ve yumaklaştırma işlemi olarak da tanımlanan koagülasyon ve flokülasyon prosesleri atık su arıtımında kullanılır.

Koagülasyon prosesi koagulantların atık suya ilave edilmesini takiben hızlı bir şekilde atık suya karıştırılmaları ve atık suyun bünyesindeki kolloidal ve askıda katı maddelerle birleşerek flok oluşturmaya hazır hâle getirilmesi için yapılan işlemlerdir. Flokülasyon prosesi(yumaklaştırma) ise atık suyun yavaş ve uygun şekilde bir süre karıştırılarak küçük tane ve pıhtıların büyümesi, birbirleriyle birleşmesi, yumaklaşması ve böylece kolayca çökebilecek flokların(yumakların) meydana gelmesi işlemidir [39]. Dolayısı ile ilk önce atıksudan giderilecek olan kirleticilerin yapısına uygun olarak kullanılan pıhtılaştırıcı ile hızlı karıştırma yapılarak atıksuda floklar oluşturulmakta(burada hız flokları parçalamayacak değerde olmasına dikkat edilerek) ve devamında yavaş karıştırma ile flokların

yumaklar halinde büyümesi sağlanmaktadır. İşlemin devamında karıştırma durdurularak içinde kirletici ve kullanılan kimyasalın bulunduğu yumakların çökmesi için bekletme yapılmaktadır.

Atıksudaki çözülmüş maddelerin çapları 0,001 mikrondan küçük, kolloidlerin çapları 0,001-1 mikron arasındadır. Askıdaki aktı maddelerin(süspansiyon) çapları 1 mikrondan büyüktür.

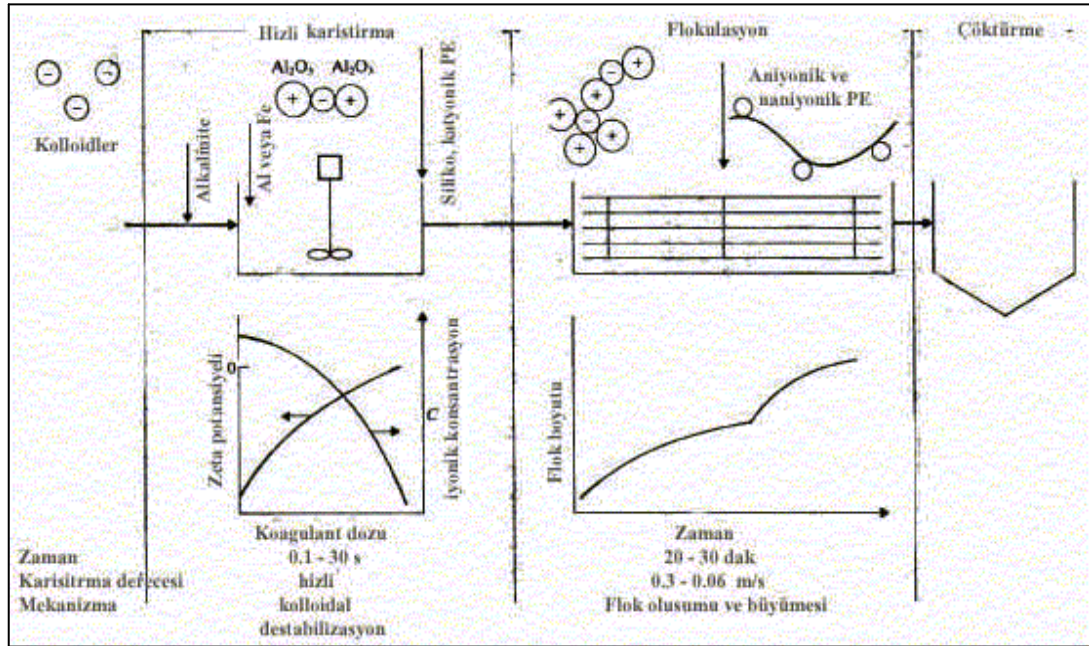
Kolloidler kendiliklerinden çökmezler ve klasik fiziksel arıtma yöntemleriyle giderilemezler. Kolloidleri çöktürmek için yumaklaştırma işlemi yapılır. Kolloidlerin çökeltim havuzlarında çökeltmeleri mümkün değildir. Bu tür danecikleri sudan ayırmak bunları birbirleri ile birleştirilerek çökeltme hızlarını artırmak suretiyle olur. Bu nedenle yumaklaştırmadan maksat askıdaki daneciklerin yumak haline getirilmesidir. Bu yumaklar, yumaklaştırmadan sonraki çökeltim, filtrasyon veya hem çökeltme hem de filtrasyon işlemleriyle sudan ayrılabilirler. Yumaklaştırma ile atıksulardan; Klorür, Sülfat, Manganez ve Baryum(%20'ye kadar), Çinko, Sülfat, Civa ve Florür(%60'a kadar), Bakır, Demir, Alüminyum, Vanadyum, Arsenik, Krom, Kurşun ve Selenyum(%60'ın üzerinde) giderimi gerçekleştirilebilir. Nitrat, Amonyum, Nikel, Kobalt, Siyanür gibi organiklerin giderilmesinde yumaklaştırmannın bir rolü olmamaktadır. Fenoller de suda çok iyi çözündüklerinden bunları da yumaklaştırma ile gidermek mümkün olmamaktadır.

Kolloid danecikler, buldukları sıvı içinde daima bir elektrik yüküne sahip olduklarından, daneciğin taşıdığı elektrik yüküne zıt iyonlar danecik çevresinde birikerek sabit bir tabaka, bunun çevresinde zıt yüklü iyonlar ikinci bir tabaka meydana getirirler. İkinci bir tabaka danecik kenarından su içine doğru yayıldığından bu tabakaya diffuz tabakası denilmektedir. Daneciğin yükü fazla ise danecik, etrafına çok miktarda danecik yüküne zıt işaretli iyonları çeker. Böylece danecik zıt yüklü iyonlarla kaplanmış olur. Bu yoğun tabakaya sabit tabaka veya stern tabakası denilmektedir. Stern tabakanın dışında yine aynı işaretli iyonların teşkil ettiği bir tabaka daha bulunur. Bu tabakaya dağınık tabaka denilir. Stern ve dağınık tabakaya çift tabaka denilmektedir. Çift tabakada esas itibariyle kolloid yüküne zıt iyonlar bulunmakla birlikte aynı işaretli iyonlar da bulunur. Ancak iyonların sayıları danecik yüzeyinden uzaklaştıkça azalır. Belirli bir mesafede (+) ve (-) yüklü iyonların uzaklıkları

eşit olup, bu noktaya izo elektrik nokta denilmektedir ve bu noktada potansiyel sıfırdır. Buradan danecik yüzeyine gidildikçe anyon ve kationlar arasındaki konsantrasyon farkı arttığından elektrostatik potansiyel artar. Tabakalar arasında ayrılma yüzeyini karakterize eden değme yüzeyindeki potansiyele zeta potansiyeli denilmektedir.

Kolloidlerin zeta potansiyeli oldukça mühim bir kıstas olmakla birlikte kolloidlerin bir diğer özelliği de su içinde tesadüfi bir şekilde hareket etmeleridir. Bu hareket Brownian Hareket olarak adlandırılmaktadır. İki kolloid bir arada düşünüldüğünde, her iki kolloid aynı elektrik yük ile yüklü olduğundan birbirlerini itmekteler. Çekme kuvvetleri ise Wan Der Waal kuvvetleri ile Brownian hareketlerden doğan kinetik enerjiden dolayı ortaya çıkmaktadır.

Koagülasyon prosesi mekanizması Şekil 2.12’de verilmiştir;



Şekil 2.12: Koagülasyon Mekanizması

Kolloidlerin stabilizasyonu aşağıda belirtilen şekillerde duruma ve şartlara göre bunlardan biri veya birkaçı kullanılarak daha etkili bir şekilde aşağıdaki gibi olmaktadır;

- Çözeltiye (atıksuya) ilave edilen zıt yüklü iyonlar, danecik tarafındaki çifttabakanın sıkışmasına sebep olurlar. Böylece danecikler arasındaki itme etkisi azalır.

- b) Çözeltiye ilave edilen metal iyonları veya organik polimerlerin danecik yüzeyinde adsorbe edilmesiyle danecik yüzeyindeki potansiyel azalmaktadır.
- c) Yumaklaştırıcı maddelerin çözeltiye ilave edilmesiyle teşekkül eden metal hidroksitler çökerlerken kolloidleri bir ağ şeklinde sararak onlarında çökmesini sağlarlar.
- d) Organik polimerlerin kullanılması halinde uzun zincirli bu polimerler, kolloidlerin etrafını sararak bir köprü meydana getirirler. Böylece kolloidlerin destabilizasyonu sağlanır.

Destabilize bir çözeltiye kolloidlerin Brownian Hareketleri sebebiyle yumaklaşma meydana gelmektedir. Bu tip yumaklaşma Perikinetik Yumaklaşma olarak isimlendirilmektedir. Bu hareket yavaş olduğundan yumaklaştırma işlemini hızlandırmak için çözeltiye ilave edilen kimyasal maddeler karıştırılır. Bu tip yumaklaştırmaya Ortokinetik Yumaklaştırma denilmektedir.

Brownian hareketten doğan bir yumaklaşmada zamanla danecik sayısındaki azalmanın, danecik sayısının karesi ile orantılı olduğu ifade edilen Perikinetik Yumaklaşma işlemi ile, danecik sayısının azalma hızı, hız gradyanı, danecik çapı ve danecik sayısına bağlı olarak ifade edilen Ortokinetik Yumaklaşma işlemine göre projelendirilmektedir. Projelendirmede de hamsuyun kalitesi, sudaki kolloidlerin ve asılı maddelerin miktar ve özellikleri, suyun pH değeri, yumaklaştırma prosesinin çeşidi, hızlı karıştırma ve yumaklaştırmada bekletme süreleri, suyun sıcaklığı, suyun alkanitesi, sudaki iyonların miktar ve özellikleri, yumaklaştırıcıların cins ve dozları dikkate alınmaktadır.

Yumaklaştırmadan maksat, çok küçük daneciklerin yumaklar haline getirilip çöktürülmesi olduğu için birtakım kimyasal maddelerin ilave edilmesi suretiyle danecik etrafında çift tabakanın sıkıştırılması, danecik yüzeyindeki potansiyelin azaltılması ve kolloidlerin metal hidroksitlerle çökerken onlarla birlikte sürüklenmesinin sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla çeşitli yumaklaştırıcılar(alüminyum sülfat, sodyum alüminat, demir sülfat, alüminyum sülfat, sönmüş veya sönmemiş kireç vb.) ve yumaklaştırıcı yardımcıları(kil, kalsit, polieloktrolitler, aktif silika vb.) kullanılmaktadır.

Yumaklaştırmanın sonunda yumakların çöktürülmesi için çökeltme havuzları yapılmaktadır. Yumaklaştırma havuzu çöktürme havuzu olarak da bazen kullanılabilir. Yumaklaştırmanın bütün kısımlarını; hızlı karıştırma, yumaklaştırma ve çökeltme havuzlarının bir araya toplanması bileşik sistem olarak adlandırılır.

Atıksuların kimyasal koagülasyonu çeşitli amaçlar için yapılır. Bunlar [39];

- a) Organik ve inorganik bulanıklığın giderilmesi
- b) Renk giderimi
- c) Bakteri ve patojen giderimi
- d) Alg ve organizmaların giderimi
- e) Koku ve tad yapıcı maddelerin giderilmesi
- f) Fosfat giderimi
- g) BOİ ve KOİ giderilmesi
- h) AKM giderimi
- i) Metal giderimi dir.

Koagülasyon, Flokülasyon ve Çöktürme Ünitelerinin Tasarımı

Koagülasyon işleminde atık suyun içine kimyasal madde ilave edilir ve mekanik bir hızlı karıştırıcı vasıtasıyla karıştırılır. Hızlı karıştırmanın amacı kimyasal maddelerin, flok miktarını arttırmak için atık suyun içinde homojen olarak yayılmasını sağlamaktır. Bekletme süresi ve hız gradyanı hızlı karıştırma ünitesinin dizaynı için önemli parametrelerdir. Hızlı karıştırmada karıştırıcının devri 100 devir/dakika civarında olmalıdır. Bekletme süresi 30 saniye ile 5 dakika arasında seçilebilir.

Yumaklaştırma havuzlarının projelendirilmesinde dikkate alınacak en önemli kıstas hız gradyanı ve bekletme süresidir. Bekletme süresi genellikle 15-45 dakika arasında seçilir. Hız gradyanı ise (10-100) 1/s dir. Hız gradyanı ile bekletme süresinin çarpımı 20.000-200.000 arasında olması gereklidir. Hız gradyanının 100 1/s değerinin üzerinde tutmak teşekkül eden yumakların tekrar parçalanmasına neden olacaktır. Hız gradyanının havuz içinde bölümlendirme yapılarak kademeli olarak azaltılması ayrıca seri bağlı reaktörlerin bekletme süresinin artırılması yumaklaştırma verimini artırmaktadır.

Oluşan flokların boyutu çökme işlemi için belirleyici faktördür. Bu yüzden oluşan flokların kırılmasının önlenmesi önemlidir. Flokülasyon bölümünde karıştırıcı hızı 20-40 devir/dakika arasında seçilebilir. Atık suyun akış hızı 0,9-1,5m/dakika olmalıdır. Floklar oluştuktan sonra, yavaş karıştırma tankından çöktürme tankına geçerler. Yavaş karıştırma bölümünden çöktürme bölümüne boru veya kanal vasıtasıyla geçen atıksuyun içindeki floklar çökerek atık sudan ayrılırlar. İki bölüm arası geçiş uygun bir şekilde dizaynedilmeli ve flokların kırılması, boruda çökmesi önlenmelidir. Geçiş hızı 0,15-0,3 m/s arasında olmalıdır.

Çöktürme havuzlarında 2-4 saat arası bekletme süreleri uygundur. Bu süre çöktürme havuzu hacminin atıksu debisine bölünmesi ile hesaplanır. Çöktürme havuzunda çöken floklar çamur oluştururlar. Çamurun kolay çökmesini sağlamak ve biriktirmek için çöktürme tanklarının alt kısmı konik olarak dizaynedilir. Biriken çamur, çamur pompası vasıtasıyla alınırken arıtılmış su savaklanarak çökeltme havuzundan ayrılarak deşarj gider.

Koagülasyon, Flokülasyon İle Çöktürme İşlemi(Yöntemi)'nde Kullanılan Kimyasallar

Kimyasal arıtma işlemini gerçekleştirmek amacıyla değişik kimyasal maddeler kullanılabilir. Kimyasal çöktürme işlemiyle arıtılmış su elde ederken toplam askıda katı maddede % 80-90, BOİ parametresinde % 40-70, KOİ parametresinde % 30-60 giderim sağlanabilir. Demir tuzları atık su arıtımında sıklıkla kullanılmaktadır. Demir klorür likit ve katı haldedir. Demir Klorür kullanımıyla oluşan çökelti Demir Hidroksittir. Demir sülfat daha ekonomik bir kimyasaldır ve atık su arıtımında yoğun olarak kullanılır.

Alüminyum tuzlarından kullanılan Alüminyum Sülfat(Alum), en çok kullanılan kimyasal olmaktadır. Demir tuzları kadar verimi yüksek değildir. Karıştırma esnasında oluşan Alüminyum Hidroksit Flokları daha az yoğundur ve demir tuzlarına göre çökmesi yavaştır. Çöktürme havuzunda daha uzun bekletme süreleri gerekir.

Karıştırma işleminde kullanılan Kireç, hem pH ayarlama için hem de koagülant olarak kullanılmaktadır.

Koagülasyon işleminde ayrıca kullanılan Sülfürik Asit(H_2SO_4) ve Hidroklorit Asit(HCl) pH değerini düşürmek için kullanılır. Kostik(NaOH) hem pH değerini

yükseltmek için hem de bazı atıksularda polielektrolitten önce koagülant görevi yapmaktadır.

2.3.2.3 İyon Değişirme

Sudaki belirli artı veya eksi yüklü iyonların sudan alınarak yerine aynı yüke sahip başka iyonların suya verilmesi, böylelikle sudaki iyon dengesinin korunarak belirli iyonların giderilmesi işlemine iyon değişimi denir. İyon değişirme ile renk, sertlik, demir ve mangan, nitrat ve diğer inorganikler, ağır metaller ve organik maddeler giderilebilir. İyon değiştirici, katyonik-asit iyon değiştirici veya anyonik-bazik iyon değiştirici olabilir. Su yumuşatmada en sık kullanılan iyon değiştirici malzemesi zeolit ve reçinedir. Ancak reçinenin iyon değişirme kapasitesi zeolite oranla oldukça yüksektir. İyon değiştirici malzemenin gözenek çap aralığı 0,04-1,0 mm' e kadar geniş bir aralıkta olabilir. Genellikle partikül çapı, etkili çap gibi değerler üreticiler tarafından sağlanır. İyon değişirme meyili(kapasitesi-eğilimi) yüke ve partikül çapına bağlıdır. İyon değiştirmeye olan meyil yük ile doğru orantılı iken partikül çapı ile ters orantılıdır [46].

İyon değiştiriciler, yer değiştirebilir katyon ve anyonları taşıyan, çözünür olmayan katı maddelerdir. Yer değiştirebilir iyonlar elektrolit bir çözelti ile temas ettiğinde aynı işaretli diğer iyonların stokiometrik olarak eşdeğer miktarı ile yer değiştirebilirler. İyon değişim özelliğinden yararlanan ayırma işlemlerinde genellikle iyon değiştirici katının sabit olarak yerleştirildiği ve çözeltinin sürekli akışının sağlandığı dolgu kolon kullanılmaktadır [47].

Sertlik giderme(yumuşatma işleminde) sodyum formundaki katyon iyon değiştiriciler kullanılırlar. Bunun için yatak kalınlığı 0,8-2 m olan reçine yatağı, kum filtrelerle benzer şekilde teşkil edilir. Reçineden teşkil edilmiş filtre yatağı kalınlığı 0,75-2 m arasında seçilir. Filtreler basınçlı veya serbest yüzeyli olarak inşa edilebilir. Filtre hızı ortalama 10 m/saat alınır. Yüzey yükü 20-40 m/saat arasında olmalıdır.

Su sertliğinin giderilmesi için; suya kireç-soda katılmak suretiyle, suyun sodyum hidroksitle muamelesi, sodyum fosfat ile işleme tabi tutma ve iyon değişirme işlemleri uygulanmaktadır.

İyon değiştirme bir iyonun diğer bir iyonla yer değiştirilmesidir. Katyon veya baz değiştirme, pozitif bir iyonun veya katyonun(kalsiyum, mağnezyum, sodyum, hidrojen, demir, mangan vb) diğer bir pozitif iyonla yer değiştirilmesidir. Anyon değiştirme veya asit değiştirme negatif bir iyonun yani anyonun(klor, sülfat, nitrat vb.) diğer bir negatif iyonla yer değiştirilmesidir.

Katyon değiştiricilerle yapılan geri kazanım işleminde kullanılan maddenin veya iyon değiştiricinin tipine bağlı olarak sodyum veya hidrojen iyonları ile sıvı içindeki katyonların bir kısmı veya tamamı yer değiştirir.

Anyon değiştiricilerde karbonat veya hidroksit iyonları ile sıvı içindeki anyonların bir kısmı veya tamamı yer değiştirirler.

Geri yıkama işlemi reğineleme akış hızının üzerindeki ters yöndeki bir akış hızında; katyon reçine tankına %30'luk HCL(saf suya %5-6 oranında seyreltikten sonra), anyonik reçine tankına %50'lik NaOH(saf suya %4 oranında seyreltikten sonra) verilerek reçine üzerindeki iyonların reçineden ayrılarak katyonik reçineye H, anyonik reçineye OH iyonlarının tekrar tutulması ile geręekleřecektir. Böylece katyonik ve anyonik reğineleme ile sudan anyon ve katyonların giderilmesine yeniden başlanması için gerekli şartlar sağlanmış olunacaktır.

Zayıf baz anyonik reçineler, tersiyer amin fonksiyonel grup taşırlar. Bu amingruplarının kalıcı sabit pozitif yükü yoktur. Tersiyer amin grubu bir su molekülü ilebirleşik olarak bulunur ve iyonlaşmaz. Bundan dolayı bir iyonu değişme olmaksızınadsorbe eder. Zayıf baz anyonik reçinenin davranışı tersiyer amin grubunun birLewis bazı gibi hareket ederek zayıf asidin adsorpsiyonu olarak da tanımlanabilir [48].

2.3.2.4 Kimyasal Oksidasyon

Kimyasal oksidasyon, suda çözünmüş maddeler oksidasyonla suda çözünmeyen bileşikler haline getirilerek çöktürme işlemi ile sudan giderilmesi işlemidir [40]. Bileşiğin yükseltgenme basamağının artırılma işlemidir. Basit anorganik yükseltgenme indirgenme(redoks) reaksiyonlarında, bazı maddeler elektron vererek yükseltgenmekte, diğerleri ise elektron alarak indirgenmektedir. Organik maddelerin yükseltgenme indirgenme reaksiyonları daha karmaşık olup oksijen ilavesi ve hidrojen uzaklaştırılması gibi olaylar geręekleřmektedir [49].

Böylece istenmeyen zararlı bileşikler zararsız bileşiklere dönüştürülmesi veya daha sonraki arıtma işlemleri için uygun yapıya getirilir.

Kimyasal oksidasyon işleminde çeşitli amaçlar için; oksijen, ozon, potasyum permanganat, klor dioksit(ClO_2), hidrojen peroksit kullanılır. KOİ giderme verimi, kimyasal koagülantlarla yapılan koagülasyon(karıştırma) işleminden daha yüksek olabilmektedir.

2.3.2.5 Dezenfeksiyon

Dezenfeksiyon patojen organizmaların yok edilmesi veya etkisiz hâle getirilmesidir. Dezenfeksiyonda kullanılan maddelere dezenfektandır. Bunlar klor ve klor bileşikleri, brom, iyot, ozon, fenoller, boya maddeleri, sabunlar ve sentetik deterjanlar, hidrojen peroksit, potasyum permanganattır. En yaygın olarak kullanılanı ise klordur.

Suların dezenfeksiyonu birkaç şekilde yapılabilir. Çökeltme, yumaklaştırma ve filtrasyon gibi işlemlerle mikroorganizmaların kısmen azaltılması mümkündür. Ancak asıl mikroorganizma giderme usulleri aşağıdaki belirtilmiştir [40];

- a) Kaynama ve benzeri fiziki işlemler
- b) Ultraviyole(UV) ışınlarıyla dezenfeksiyon
- c) Bakır ve gümüş gibi metal iyonlarıyla
- d) Halojenler(klor, brom, iyot), ozon, potasyum permanganat gibi oksidantlar ile dezenfeksiyon.

Klorlama'da temas süresi olarak ortalama debilerde 30-120 dakika, pik debilerde 20-60 dakika alınmalıdır.

Ozon, arıtma tesisinde ozon jeneratörleri ile üretilir ve temas tankları vasıtasıyla atıksuya karıştırılır.

Elektromanyetik enerji, UV lambasından hücrelerin protein ve nükleik asitlerine etki yaparak mikroorganizmalara zarar verir. 250-265 nm dalga boylarında bu işlem UV lambaları ile yapılır [43].

2.3.3 Biyolojik Yöntemler

Biyolojik işlemin esas amacı suda çözünmüş olan organik maddeleri bakteri etkisiyle karbondioksit haline getirerek sudan uzaklaştırmaktır. Bu işlem

sonra atık su, kirleticilerin büyük bir kısmından arındırılır. Klorlama veya başka bir madde ile dezenfeksiyondan sonra arıtılmış sulardeşarj edilebilir. Eğer daha fazla bir arıtma isteniyorsa üçüncül adı verilen fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal yöntemlerden oluşan ileri bir arıtma yöntemi uygulanmalıdır.

Atıksuların arıtılmasında biyolojik yöntemler olarak; anerobik arıtma(aktif çamur sistemi), aerobik arıtma, damlatmalı filtreler, biodiskler, oksidasyon havuzları gibi sistemlerde(ünitelerde) kullanılan yöntemler uygulanmaktadır [38]. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır;

2.3.3.1 Aerobik Arıtma(Aktif Çamur Sistemi)

Biyolojik arıtma yönteminin uygulanmasında, atık suların gerekli organik maddeyi bulundurması ve suda ağır metaller gibi biyolojik arıtmaya zararlı maddeler bulunmaması istenir. Biyolojik arıtma, atıksulardaki organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından besin ve enerji kaynağı olarak kullanılmasına dayanır. Aerobik ve anaerobik sistemlerde yapılır.

Aktif çamur, biyolojik arıtma sistemlerinde bulunan tüm mikroorganizma kütesine verilen isimdir. Aktif çamur süreci ise; mikroorganizmaların, organik maddeyi oksijen kullanarak ayrıştırma esasına dayanan bir biyolojik arıtma yöntemidir [39].

Aktif çamur ünitelerinde istenilen bir arıtma veriminin sürekli sağlanması istenir. Bu amaçla bir dizi tasarım kıstaslarından yararlanılması söz konusudur. O halde kullanılan tasarım kıstasları aktif çamur prosesinde oluşan karmaşık biyokimyasal reaksiyonları kabuledebilir bir yaklaşımla tanımlanabilmelidir. Bunun yanında tasarım kıstaslarının hem pratik uygulamaya elverişli ve işletmede çıkacak sorunlara ilişki kurabilir nitelikte olmaları gerekmektedir. Bu nedenlerle biyolojik arıtma işleminde tanımlı olan kıstasların(organik madde mikroorganizma oranı, çamur yaşı, organik madde giderim hızı, hidrolik bekletme süresi, çamur geri devir oranı, oksijen ihtiyacı, günlük çamur üretim miktarı, havalandırma havuz hacmi, atıksu debisi, mikroorganizma konsantrasyonu, dönüşüm faktörü, bakteri ölüm hızı, sıcaklık vb.) aktif çamur tesislerinin tasarım ve işletilmesinde yeterince dikkate alınmalıdır.

Aktif çamur işlemi karbonlu maddelerin biyolojik olarak ayrıştırılması amacıyla tatbik edilir. Esas amaç bu olmakla beraber ekseriya Biyolojik

Oksijen İhtiyacı(BOİ) talebi olan diğer organik maddelerin de bu esnada stabil hale getirilmesi istenir. Bunların arasında en önemlisi Amonyak tır. Amonyak atıksularda nitrifikasyona neden olarak çözülmüş oksijenin azalmasına neden olur. Amonyak nitrifikasyon sırasında oksitlenerek nitratlara dönüşür. Pratikte nitrifikasyon ya aynı reaktör(havuz,tank) içerisinde gerçekleştirilir yada bu amaç için başka bir ünite yapılır. Eğer aynı reaktörde hem karbonlu maddeler hem de amonyak oksitleniyorsa buna tek kademeli nitrifikasyon denir [41].

Biyolojik arıtmadaki aktif çamur sistemi ile yapılan atıksu arıtımında genellikle; ilk çöktürme, havalandırma, son çöktürme, çamur yoğunlaştırma ve çamur susuzlaştırma bölümlerinden(havuz, tank) oluşmaktadır. İlk çöktürme havuzu birçok uygulamada atıksu debilerinin dengelenmesinde, arıtmanın yükünü hafifletmede kullanılır. Bu havuzlarda bazı katı maddeler çökerler ve tank tabanında birikirler, zamanla biriken bu katılar tank tabanından pompa ve veya vana ile yada mekanik sıyırma-temizleme ile alınırlar. Havalandırma havuzunda mikrobiyel faaliyetlerin devamlılığı için gerekli oksijen hesaplanır. Havalandırma havuzuna gerekli oksijen blower, aeratörler veya başka sistem ile verilir. Ayrıca atıksu haricinde mikroorganizmalar için gerekli besi maddeleri de havalandırma havuzuna verilir. Son çökeltim tankı-havuzundan aktif çamurun belirli bir miktarı havalandırma havuzuna pompa ile verilerek aktif çamur işleminin devamlılığı sağlanır. Fazla çamur miktarı da hesaplanarak sistemden uzaklaştırılır. Son çökeltim havuzunda belirli bir süre bekletilen atıksudan çamurun çökmesi sağlanır ve çökelen çamur pompalarla yoğunlaştırma ünitesine pompalanır. Yoğunlaştırma ünitesinde katı madde muhtevası artırılan çamur suyundan arındırılmak üzere filtrepresele gönderilir. Süzüntü suyu tekrar ilk çökeltim havuzuna verilir ve fitrepreste kek halinde olan arıtma çamuru geri kazanım veya bertaraf amaçlı işleme tabi tutulur.

Aktif çamur sistemine sahip havalandırma havuzlu klasik bir biyolojik arıtma tesisi şeması Şekil 2.13'teki gibidir;

lagünler kullanılarak yapılır. Bu arıtma anerobik arıtmaya göre daha ucuz, daha az yer kaplama, enerji üretme imkanı, daha az çamur oluşturma gibi avantajları vardır. Bunun yanında işlemlerin gerçekleşmesi için uzun sürelere ihtiyaç olması ve daha düşük verime sahip olmaları bu sitemlerin dezavantajını oluşturmaktadır.

2.3.3.3 Damlatmalı Filtreler

Damlatmalı filtreler organik maddelerin arıtılmasında geniş bir uygulamaya sahiptir. Damlatmalı filtre esas olarak üzerinde mikroorganizma tabakalarının geliştiği bir dolgu malzemesi ile altta bir drenaj kısmının bulunduğu bir filtreden oluşur. Filtre üstünden arıtılacak atıksu uygun düzenlerle tüm alana eşit biçimde olacak şekilde dağıtılır ve arıtılan su tabandan alınır. Mikroorganizma kümeleriyle karışık olan bu su daha sonra bir çökeltim havuzutankında temizlenir. Filtre aerobik koşulların korunması amacıyla filtrede hava akımını sağlayacak tertibat bulunur [50].

Bu filtreler kum filtrelerinin geliştirilmiş şeklidir. Derinlikleri kum filtrelerine oranla daha fazladır. Genellikle 1-3 m arasında olan derinlik son zamanlarda plastik doldurma maddelerinin kullanılmasıyla 9-12 m'ye kadar artırılabilmiştir [39].

2.3.3.4 Oksidasyon Havuzları

Atıksular, sığhavuzlarda doğal biyolojik işlemle stabilize edilebilir. Bu şekilde ham veya bir ön işlemde geçmiş suyun okside olmak üzere bırakıldığı havuzlara “oksidasyon havuzu” adı verilir. Havuzda, oksidasyon işlemi yapan çeşitli mikroskobik bitki ve hayvanlar mevcuttur. Aktif çamur yönteminden farkı, mikroorganizma miktarının daha az oluşudur. Bu sistemde bakteriler tarafından ortama verilen maddeleri algler fotosentezde kullanırlar [39].

Oksidasyon hendekleri(havuzları) dairesel ya da oval şekilli hendekler olup mekanik yöntemlerle(rotor ya da yüzey havalandırıcı) havalandırılırlar. Izgaradan geçirilerek veya çökeltilerek katılardan arındırılmış atıksu, hendek içinde 0.3-0.4 m/s yatay hızla hareket ederken havalandırılmaktadır [43].

2.3.4 İleri Arıtma Yöntemleri

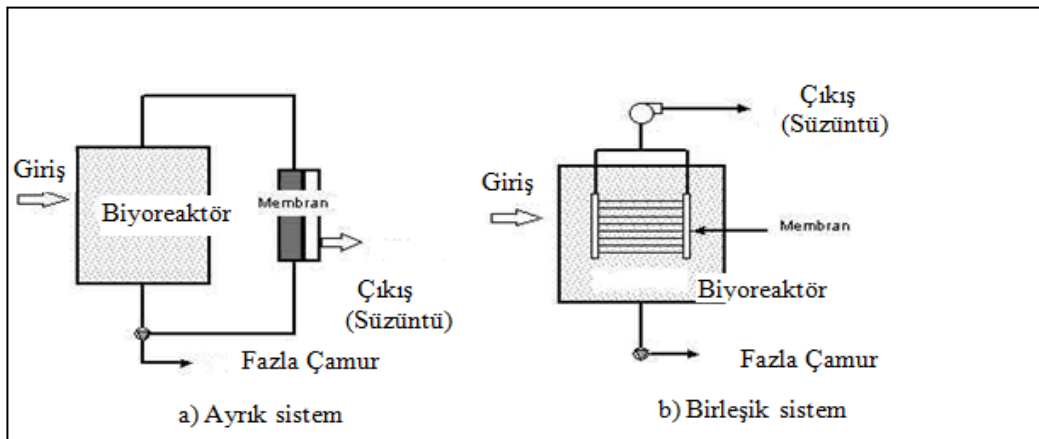
İleri yöntemleri ile klasik yöntemlerle atıksuyun içerisindeki arıtılmayan uçucu organik karbon, ağır metal, iyon, nütrient, tat, koku gibi parametreler giderilir.

İleri arıtma yöntemleri olarak; Membran Biyoreaktörler, Mikrofiltrasyon, NF, UF, Ters Osmoz, Elektrodializ, İyon Değişirme, İleri Oksidasyon, Elektrokimyasal Yöntemler vb. uygulamalar yapılmaktadır. İleri arıtma yöntemleri klasik uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemlerinin mevcut bazı uygulamalarının daha gelişmiş ve daha çok fizikiko-kimyasal uygulamalar olarak düşünülebilir. Bu uygulamalar aşağıda açıklanmıştır.

2.3.4.1 Membran Biyoreaktörler(MBR)

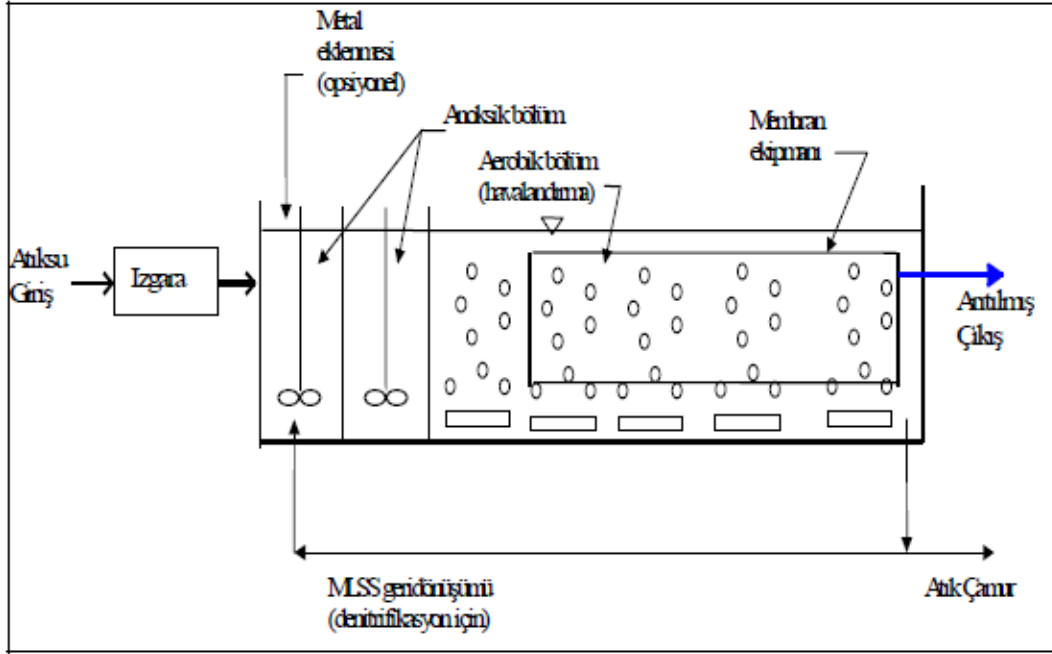
MBR, klasik aktif çamur sistemlerinin geliştirilmiş şekli olup, biyolojik reaktörler ile membran teknolojisinin birleştirilmiş halidir. Biyolojik arıtmadan sonra çöktürme havuzu yerine ultrafiltrasyon veya mikrofiltrasyon membranları kullanılarak, katı/sıvı ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir [43]. Aerobik biyolojik arıtma ve membran prosesinin kombinasyonundan oluşan MBR sistemi ile yüksek derecede ve kompleks kirliliğe sahip tekstil atıksularının arıtımı oldukça yüksek verimle sağlanabilmektedir. MBR sistemi ile karma tekstil atıksularından yaklaşık %75-90 KOİ ve %60-90 renk giderimi sağlanabilmektedir [51].

Membran Biyoreaktörler'de uygulanan ayırık ve birleşik sistem uygulaması Şekil 2.14'te verilmiştir.



Şekil 2.14: Membran Biyoreaktörlerde Uygulanan Değişik Tertip Tazları

MBR'ler membran ekipmanı sayesinde arıtılmış su ve biyokütlenin fiziksel olarak ayrıldığı süspansiyon büyüme modundaki biyokimyasal oksidasyon(aktif çamur gibi) prosesidir. Konvansiyonel aktif çamur prosesinde iki ayrı tankta gerçekleşen biyokimyasal oksidasyon ve su/biyokütle ayrımı, MBR'larda tek tankta gerçekleşmektedir. Tipik bir MBR ünitesi Şekil 2.15'te gösterilmiştir [52].



Şekil 2.15: Tipik Bir Membran Bioreaktör(MBR) Ünitesi

Şekil 2.15'e göre; atıksudaki büyük hacimli kirleticilerin diğer arıtma ekipmanlarına zarar vermemesi (ayrıca karbon kullanılarak yapılacak olan adsorbsiyon işleminin etkisinin azaltılmasını engellemek amacıyla) ve atıksudan uzaklaştırılması için klasik yöntemlerde kullanılan ızgarlama, koagülantın karıştırılarak yumaklar halinde kirleticilerin tutulması ve devamında atıksu içerisindeki organik maddelerin biyolojik yöntemlerle mikroorganizmalarca giderilmesi yapılmaktadır. Uygulanan biyolojik arıtma işlemine ilaveten bu ortamda membran prosesi kullanılarak biyolojik olarak arıtılmayan kirleticilerin atıksudan giderilmesi yapılmaktadır. Biyolojik arıtmadaki azotlu organik maddelerin atıksudan giderilmesinde kullanılan anoksik (elektron alıcısı olarak ortamda oksijen bulunmadığı) ve karbonlu organik maddelerin atıksudan giderilmesinde kullanılan) havalandırma bölümündeki mikroorganizmaların büyümesi ve gelişmesi için gerekli oksijen ve besi maddesi ortama verilmektedir. Havalandırma havuzundaki işlem belirli

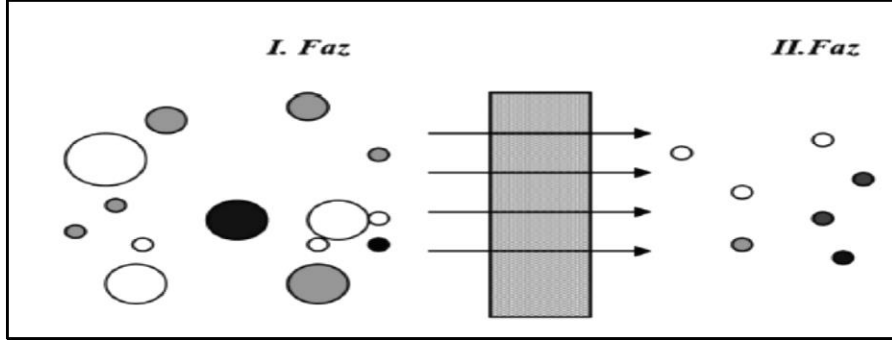
süresonundadurdurulduktan sonra bu bölüm son çökeltme bölümü olarak işlem görmektedir. Havlandırma bölümü tabanında biriken çamur tabandan alınarak çamur yoğunlaştırma ve katılaştırılmaya tabi tutulmaktadır. Tabandaki çamurun bir kısmı ön çöktürme bölümünde AKM kapsamında bulunan azot bileşiklerinin nitrifikasyon bakterileri tarafından nitrit ve nitrata dönüştürülür. Devamında nitratin nitrite ve azot gazına dönüştürülmesi kapsamında denitrifikasyon işlemine tabi tutulur. Sonuçta MBR Sistemi ile, karbonlu bileşikler ve azotlu bileşikler ayrı bölümde mikroorganizmalarca diğer kirleticiler ise membran prosesi ile atıksudan uzaklaştırılmış olurlar.

2.3.4.2 Membran Prosesleri

İleri arıtma yöntemlerinden biri de membranprosesleridir. Membranlar moleküler karışımların ayrılması için kullanılan ayırma prosesi olarak ifade edilebilirler. İki faz arasında seçicilik yapan bir ayıraç olarak da tanımlanabilirler [53]. Membranfiltrasyonu için kullanılan membran yarı geçirgen olup bazı bileşenleri için yüksek geçirgenli bazıları ise az geçirgenli olan sentetik malzemedir. Membranfiltrasyonu işleminde bileşenlerin ayrılması için, su membran yüzeyine doğru pompalanır. Bunun sonucunda süzüntü suyunun ve konsantrenin ayrılması gerçekleşir. Membran tasarımında 0,034-0.170 m³/sa.m² aralığındaki akı değerleri kullanılır. Membranlar aşağıdaki kıstaslara göre tanımlanmaktadır [54];

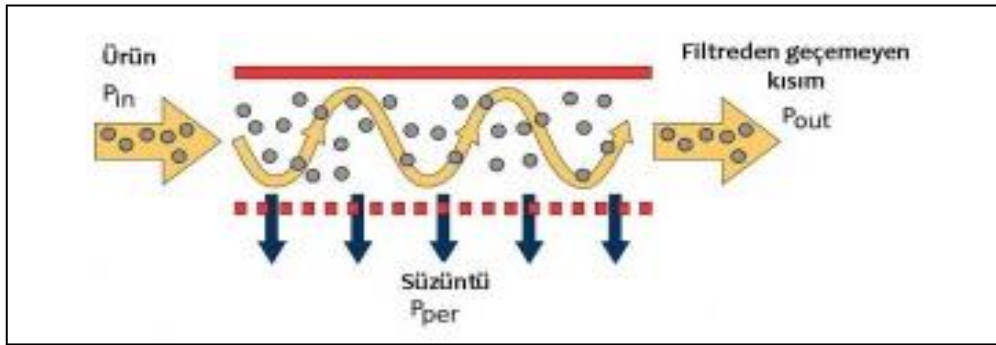
- a) Membran gözenek boyutu
- b) Moleküler ağırlık önleme sınırı(MWCO),
- c) Membran materyali ve geometrisi,
- d) Giderilmesi hedeflenen maddeler
- e) Arıtılacak ve/veya arıtılan suyun kalitesi

Karışım halindeki pek çok maddenin ayrılması maksadıyla gaz ayırımı, katı/sıvı ve sıvı/sıvı ayırımı ile membranlar kullanılabilir. I. Faz besleme, II. Faz ise, süzüntü(temiz su) fazı olarak adlandırılmaktadır. I. Faz ya da besleme çözeltisi içerisinde bulunan bazı türler membran tarafından tutulmaktadır. Membran proseslerle ayırma işleminin şematik gösterimi Şekil 2.16'da gösterilmiştir [55].



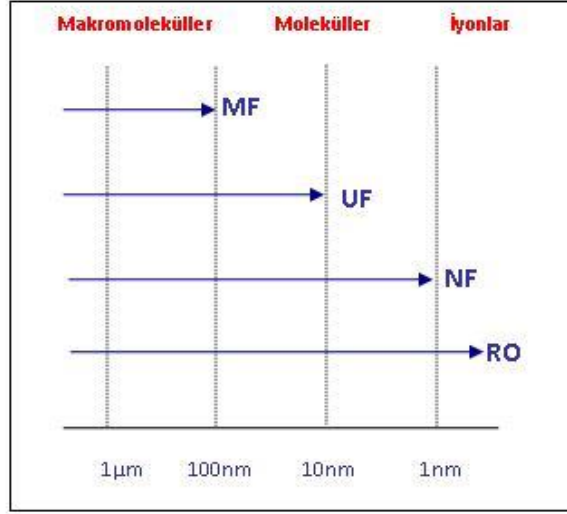
Şekil 2.16:Membran Proseslerle Ayırma İşleminin Şematik Gösterimi

Basınç farkı membran gözenek boyutundan daha küçük olan bileşenleri membrandan geçmeye zorlar ve bu “permeate-süzüntü”dür. Kalan bileşenler ise “retentate-filtre edilmeyen kısım” olarak kalır. Besleme akışı membrana paralel olarak hareket ettiği için proses süresince membran yüzeyinin bloke olması engellenir. Bu işlem çarpaz-akış filtrasyon olarak bilinir. Bu akış tipinin prensip olarak avantajı filtreyi tıkayan filtre kekinin filtrasyon süresince yıkanarak filtrenin uzun süre kullanımına olanak sağlar ve sürekli proses olabilir. Bu uygulama için fermentasyon sıvısından çözümlü antibiyotiklerin ekstraksiyonu endüstriden bir örnektir [56]. Şekil 2.17’de membran prosesinde çarpaz akış gösterilmektedir.



Şekil 2.17:Membran Prosesi'nde Çarpaz Akış

Şekil 2.18’de atıksudaki kirleticilerin boyutlarına göre membran proseslerinden hangisinin uygulanacağı gösterilmektedir.



Şekil 2.18: Atıksuda Kirletici Büyüklükleri'ne Göre Kullanılacak Membran Çeşidi

Şekil 2.18'e göre atıksudaki en düşük boyutta olan kirleticilerin gideriminde RO daha büyük boyuttaki kirleticilerin gideriminde sırasıyla, NF, UF ve MF kullanılacaktır.

Membranproseslerinin en büyük avantajları; enerji tüketiminin düşük olması, ek kimyasal kullanımını gerektirmemesi, kullanılan ekipmanların basitliği ve işletim kolaylığıdır [57]. Katı partiküllerin ayrılması, çözeltinin konsantre edilmesi, atıksudan değerli maddelerin geri kazanılması ve çok kirli suların arıtılmasında membran prosesler sıklıkla kullanılmaktadır.

Membranların tıkanması, sabit basınçta süzülen su debisindeki kademeli azalma veya sabit akıyı sağlamak için gerekli transmembran basıncındaki artış olarak tanımlanmaktadır. Tıkanma, partiküler madde, çözülmüş organik madde, yada biyolojik büyüme nedeniyle olabilir. Bu kirlenme geri dönüşlü veya geri dönüşümsüz olabilir. Akı kaybı geri yıkama ve temizleme işlemleri ile geri alınamaz ise kirlenme geri dönüşümsüz olarak adlandırılır [54]. Membranların tıkanmasının ve verimin düşmesinin engellenmesi için belirli bir süre filtrasyon işleminden sonra membran özelliğine göre hava ve/veya su kullanılarak belirli periyotlarda hızlı ve yavaş geri yıkama-durulama işlemine(rejenerasyon) tabi tutulmaktadır. Geri yıkama temizleme için zamanla yeterli olmamakta ve daha kapsamlı olarak kimyasal kullanarak temizleme yapılmaktadır. Filtre özelliğine ve

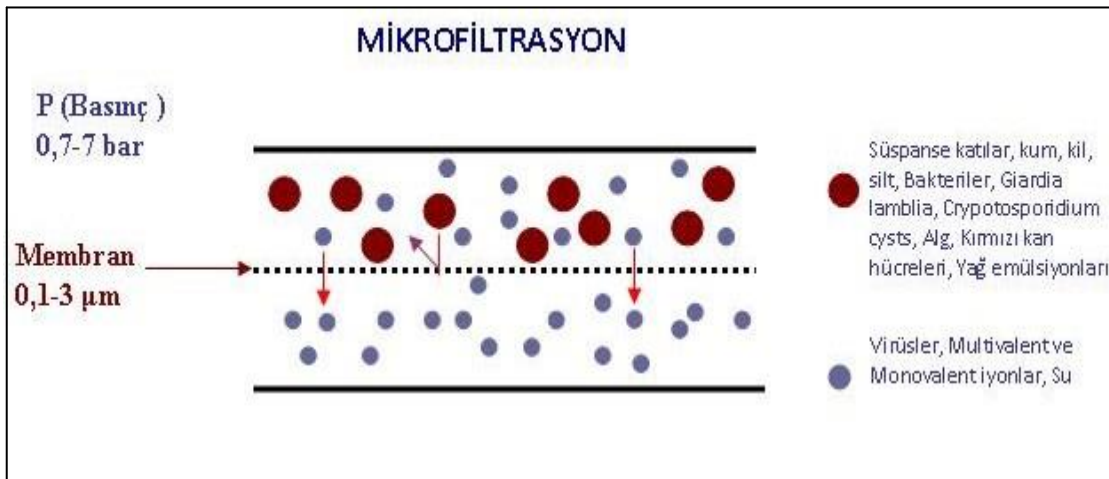
çalışma şartlarına göre membranlar 3-5 yıl sonra bozulmakta ve yenileriyle değiştirilmektedirler.

Membran prosesleri olarak kullanılan mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz ünitelerini kısaca aşağıdaki gibi açıklarsak;

Mikrofiltrasyon(MF)

MF membranlar özellikle suyun geri kazanımı için kullanılmakta olup NF - RO işlemleri öncesinde ön arıtma için tercih edilmektedirler [58].

Mikrofiltrasyon membranının gözenek boyutu aralığı 0,1-3 μm arasındadır. Moleküler ayırma sınırı $> 1000,000$ Da olan makromolekülleri ve askıda katı maddeleri ayıran bir sistemdir. MF ile uzaklaştırılan maddeler; nişasta, bakteri, yağ, küf, maya, emülsifiye yağlar, kum, silt, kil, Giardia lamblia, Cryptosporidium cysts, alg, bazı bakteri suşlarıdır. Virüslere karşı kesin bir bariyer değildir. Genellikle işlem basıncı oldukça düşük olup 0,7 Bar ile 7 Bar arasındadır. MF membranları seçilirken membranın mekanik gücü, sıcaklığa dayanıklılık, membranın kimyasal uyumluluğu, hidrofobilité, hidrofilite ve geçirgenlik gibi özellikleri dikkate alınmalıdır [56]. Mikrofiltrasyon uygulaması Şekil 2.19'daki gibidir;



Şekil 2.19: Mikrofiltrasyon Uygulaması

Şekil 2.19'a göre; 0,7 Bar ile 7 Bar basınç ile membrana gönderilecek olan atıksudan membran çapı olan 0,1-3 μm 'dan daha büyük çapa sahip filtreden geçemeyerek konsantre olarak atıksudan uzaklaştırılacaktır.

Ultrafiltrasyon(UF)

Yüksek molekül ağırlığına sahip çözünmüş maddeleri, mikroorganizmaları ve

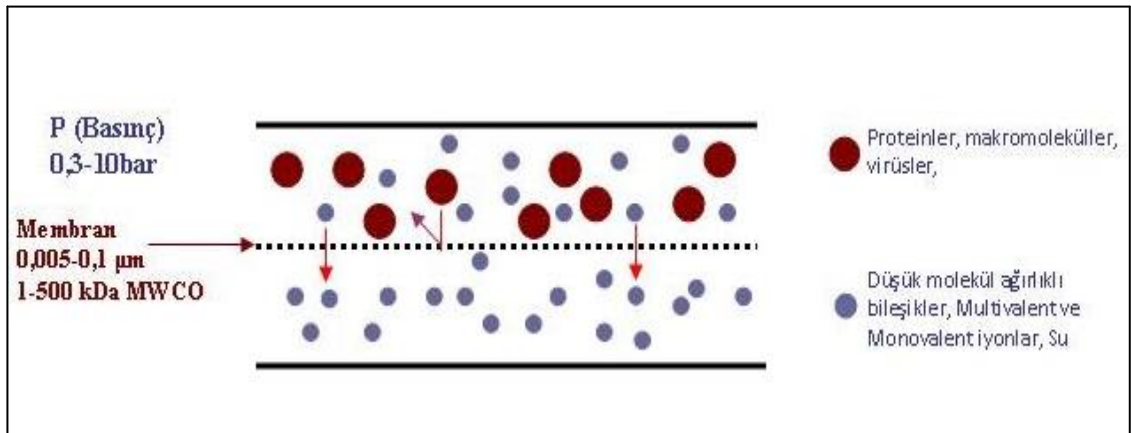
AKM'leri sıvıdan uzaklaştıran bir ayırma prosesidir. Bu yöntem safsızlaştırılacak sıvının yüksek hızla membran yüzeyine paralel akımıyla gerçekleşir. Giriş ve çıkış arasındaki basınç farkı nedeniyle akım yönüne dik doğrultuda ayırma işlemi gerçekleşir.

UF membranları da MF membranları gibi çapraz akışlı olarak işletilmektedir. Çapraz akış ile membranın devamlı suretle temizlenmesi ve kimyasal madde ihtiyacının azaltılması sağlanmaktadır. UF membranlarıyla 0,3-25 bar basınç farkı arasında çalışılır. Membranda basınç artırıldığı zaman akı da artar ancak konsantrasyon polarizasyonunun etkisi akıyı sınırlamaktadır. Bunun nedeni, sınır tabakası içinde, membran üst düzeyinde çözünen maddelerin birikmesidir. Bu durum daha sonra membran yüzeyinin tıkanmasına neden olmaktadır [58].

Ultrafiltrasyon membranları tekstil endüstrisinde haşıl maddelerinin ve indigo boyar maddelerinin geri kazanımı, kağıt endüstrisinde ağartma atık sularının konsantre edilmesi, metal endüstrisinde yağ emülsiyonlarının konsantre edilmesi amacıyla kullanılmaktadır [59]. UF ayrıca askıdaki katı madde giderimi ve atıksudaki ağır metallerin gideriminde de son yıllarda önemli bir şekilde uygulanmaktadır.

Ultrafiltrasyon membranları, molekül ağırlığı ayırma sınırı(Molecular weight cut-off-MWCO) ile tanımlanır. 0,005-0,1 μm arasında gözenek çapına sahiptir ve böylece molekül ağırlığı ayırma sınırı MWCO 1-500 kDa olan makromolekülleri ayıran sistemdir [56].

Ultrafiltrasyon uygulaması Şekil 2.20'deki gibidir;



Şekil 2.20: Ultrafiltrasyon Uygulaması

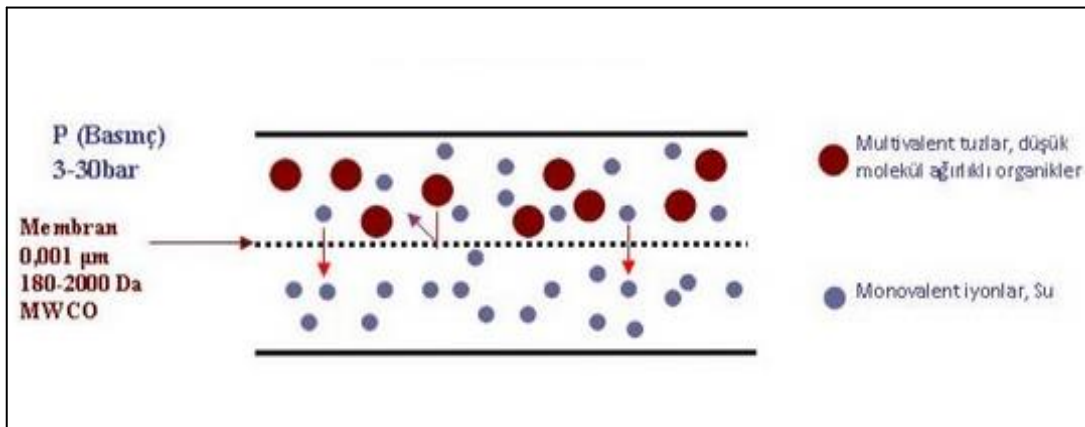
Şekil 2.20'ye göre; 0,3 Bar ile 10 Bar basınç ile membrana gönderilecek olan atıksudan membran çapı olan 0,005-0,1 µm'dan daha büyük çapa sahip kirleticiler filtreden geçemeyerek konsantre olarak atıksudan uzaklaştırılacaktır.

Nanofiltrasyon(NF)

Yaklaşık 1 nm(10 Å) büyüklüğündeki partikülleri uzaklaştırır. Bu yüzden “nanofiltrasyon” olarak adlandırılır [60]. NF, özellikle sulu çözeltilerdeki organik maddelerin giderilmesi amacıyla kullanılır. Ters ozmoz ve ultrafiltrasyon arasında yer alır. Yoğun ve ince olmasına rağmen daha az geçirgen olan membran tabakasının göstermiş olduğu dirençten dolayı, MF ve UF'dan daha yüksek basınçlarda işletilirler. NF membranları 3-30 bar arasında çalışılır [58].

NF membranlarının özellikleri ve tipik kullanım alanları; bir değerlikli iyonlar geçerken çok değerlikli anyonların tutulması, proses ve içme sularının yumuşatılması, iyon değiştirici veya tersosmoz tesisleri için ön arıtma olarak, bir değerlikli tuzlar geçerken organik bileşiklerin tutulması, içme suyu arıtımı, tekstil ve kağıt endüstrisi atıksularının renk giderimini, peyniraltı suyundan laktoz ve proteinlerin tutulması, tensid içeren atıksulardaki tuzların giderimi, sulu çözeltilerdeki düşük ve yüksek moleküllü maddelerin birbirinden ayrılması, biyolojik arıtma basamağından önce atıksudaki zor parçalanmış maddelerin ayrılmasında kullanılmaktadır [56].

Nanofiltrasyon uygulaması Şekil 2.21'deki gibidir;



Şekil 2.21:Nanofiltrasyon Uygulaması

Şekil 2.21'e göre; 0,3 Bar ile 30 Bar basınç ile membrana gönderilecek olan

atıksudan membran çapı olan 0,001 μm 'dan daha büyük çapa sahip kirleticilerfiltreden geçemeyerek konsantre olarak atıksudan uzaklaştırılacaktır.

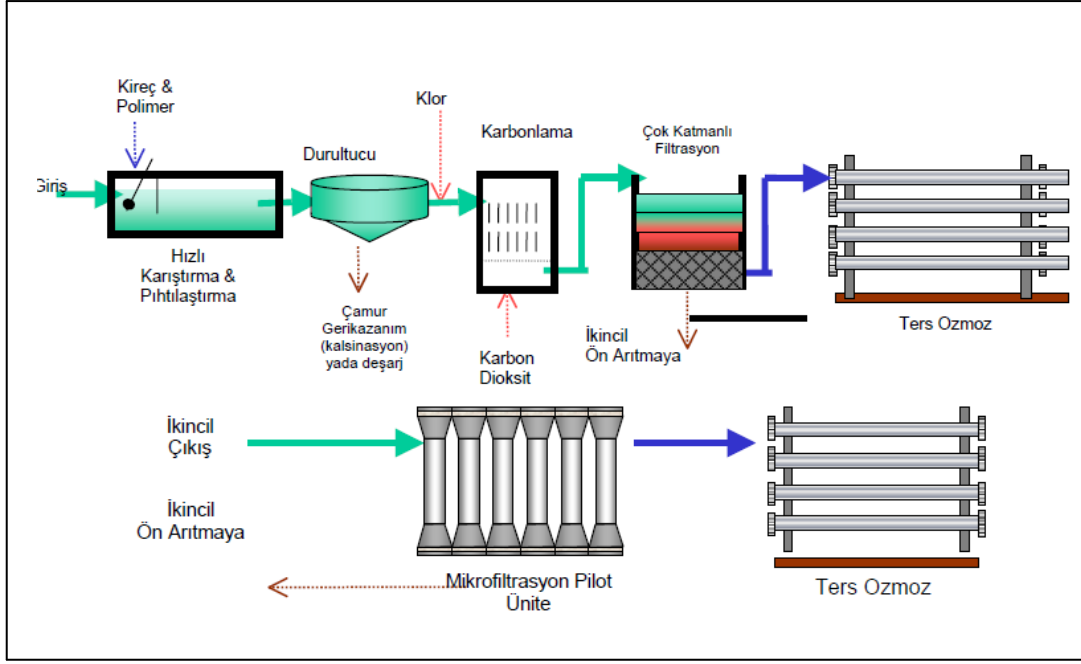
Ters Osmoz(RO)

Ters osmoz, konsantre çözeltiye, çözeltinin ozmotik basıncından daha yüksek basınç uygulanmasıyla ortaya çıkan kütle transfer olayıdır. Böylece su konsantre çözeltiden ayrılıp saf su tarafına akar ve aralarında konsantrasyon farkı bulunan iki faz meydana gelmiş olur. Eğer uygulanan basınç ozmotik basınçtan düşük olursa su seyreltik taraftan derişik tarafa doğru akar [59]. RO membranları bütün çözünmüş organik ve inorganik türleri ayırabilmektedir. RO olayının teorisi, solvent ve çözeltilerin membran üst tabakasında çözüldüğü ve difüze olduğu çözüme-difüzyon modeline dayandırılmaktadır. RO membranları ile bütün çözünmüş organik ve inorganik türleri ayırabilmektedir [58].

Membranların kullanımı, hala çözümlenmesi gereken birçok sorunu olmasına rağmen, on yıllardır birçok araştırma ve geliştirme çalışmasında başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Birçok membran malzemesi laboratuvar araştırmaları sonucu geliştirilmiştir. Ancak modüllerin yüksek maliyetleri ve işletme koşullarında istenen verimin elde edilmemesi membranların geniş alanda verimli kullanmasını sınırlamıştır [61].

Ters osmoz ünitesinin işletimi nispeten basittir. Giriş suyu membranları içeren üniteye beslenmekte ve çıkış suyu toplanmaktadır, atıksu ise ayrıca toplanmaktadır.

Membran proseslerine ait genel bir uygulama Şekil 2.22'de verilmiştir.



Şekil 2.22:Membran Prosesine Ait Genel Bir Uygulama Şeması

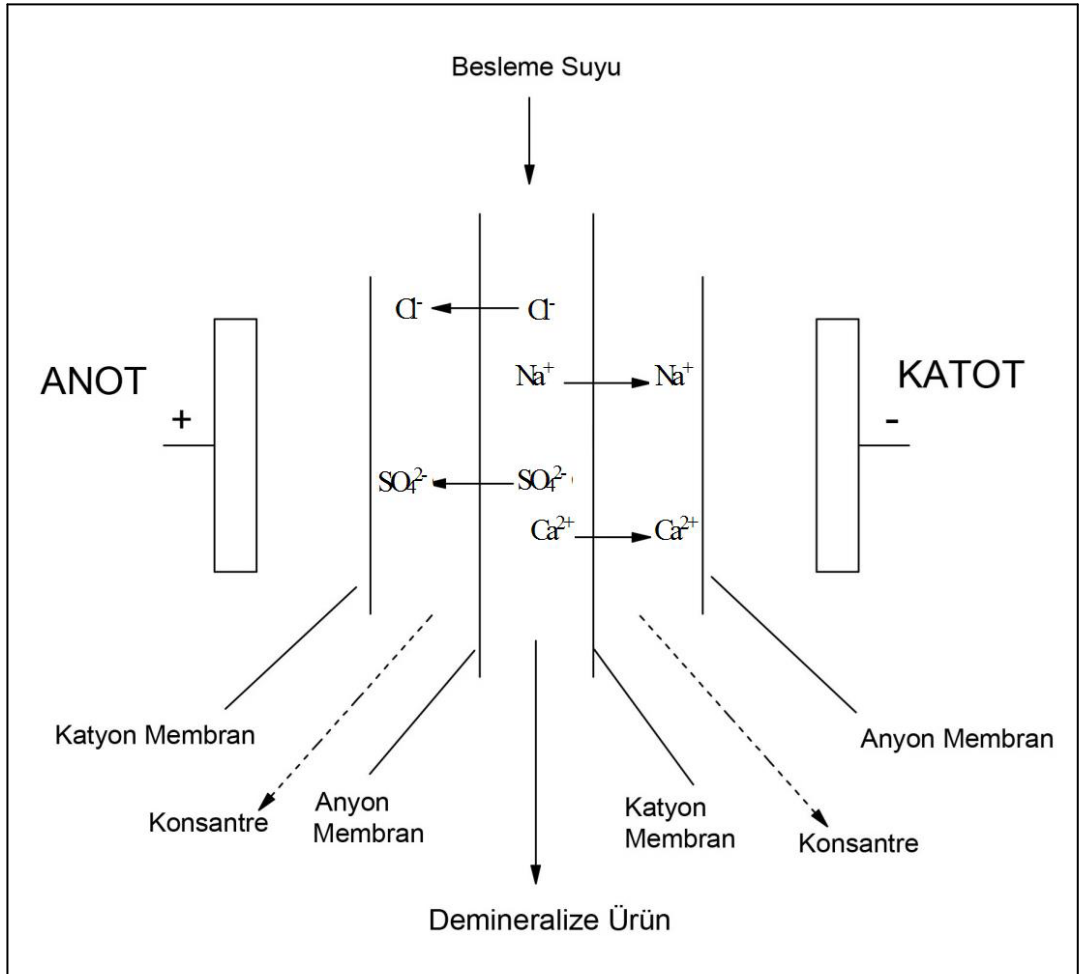
Şekil 2.22'ye göre, geleneksel olarak arıtma yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi kireç(kireç yerine diğer koagülantlar da kullanılabilir) ve polieloktrolit kimyasalı kullanılarak koagülasyon ve devamındaki çökeltim havuzu dibinde oluşan çamurun alınması yapılır. Bakteriyele kirliliğın giderilmesi için klorlama işlemleri yapılmaktadır. Karbondioksit kullanılarak atıksudaki bazı kirleticilerin karbonlama ile giderilmesi yapılmaktadır ve böylece bu aşamaya kadar birincil klasik arıtma işlemleri tamamlanmış olmaktadır. Devamında çıkış suyu kalitesinin iyileştirilmesi, zorlanılan deşarj limitlerinin sağlanması veya atıksu geri kazanımı için filtrasyon işlemleri ve ters ozmoz işlemleri ile ikincil yani daha ileri arıtma işlemleri yapılmaktadır. Mikrofiltrasyon ters ozmoz öncesi uygulanarak arıtma-geri kazanım işlemlerinin yükünü azaltmak yada verimini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Mikrofiltrasyonla yapılan ön arıtım işletme açısından konvansiyonel(klasik-birincil arıtma) sisteme oranla daha basittir. Mikrofiltrasyonla yapılan ön arıtım, işletme ve bakım maliyetlerini düşürürken kapasiteyi de artırabilmektedir.

2.3.4.3 Elektrodializ(ED)

Elektrik potansiyelinin etkisiyle sudan inorganik iyonları gideren proseslerdir. ED prosesinde iyonları seçici olarak geçiren bir seri membran kullanılmaktadır. Bir membran katyonları geçirip anyonları tutarken, diğer membran anyonları

geçirip katyonları tutar. İçersinden elektrik akımının geçtiği birbiri ardına sıralanan membranlarla paralel bölmeler oluşturularak elektrodializ hücreleri oluşturulur. Katyonlar katyon seçici membrandan geçerek kotoda yönelirken anyon seçici membranlar katyonların geçişini engeller. Karşıt etki anyonlar içinde gözlenir. İyonlar bir hücrede giderilirken diğer hücrede konsantre olurlar.

Uygulama için bir elektrokimyasal hücre hazırlanır ve katot ana çözeltilen bir katyon değiştirici membran ile ayrılır, anot da ana çözeltilen bir anyon değiştirici membran ile ayrılırsa elektrotlar arasında doğru akım verildiğinde katyonlar ana bölmeden katoda doğru, anyonlar da ana bölmeden anoda doğru harekete geçeceklerdir. Ancak anyonların katot bölmesinden ana bölmeye hareketi katyon değiştirici membran tarafından, katyonların anot bölgesinden ana bölmeye hareketi anyon değiştirici membran tarafından engellenecektir. Şekil 2.23'te Elektriksel Potansiyel Sürücülü Elektrodializ Prosesi verilmiştir [55].



Şekil 2.23: Elektriksel Potansiyel Sürücülü Elektrodializ Prosesi

2.3.4.4 İleri Oksidasyon

İleri Oksidasyon Prosesleri(İOP), organiklerin oksidatif olarak parçalanması için hidroksil radikallerinin(OH) üretilmesi prensibine dayanmaktadır. (OH), ozon ve hidrojen peroksitten daha hızlı reaksiyona girerek, büyük ölçüde arıtma maliyetlerini ve sistem boyutunu azaltır. Ayrıca (OH) radikali güçlü, seçici olmayan bir kimyasal oksidandır [62]. Su ve atıksu arıtımında kimyasal oksidasyon kullanılmasının amacı istenmeyen kimyasal maddelerin zararsız hale dönüştürülmesidir. Kimyasal oksidasyon ile anorganik maddeler ve organik maddeler(fenoller, aminler, hümik asitler, ve diğer renk, tat ve koku oluşturan bileşikler, bakteriler, algler ve toksik bileşikler) arıtılabilmektedir. Bu amaçla oksijen, ozon, hidrojen peroksit vb. gibi oksidasyon maddeleri kullanılmaktadır [63].

İOP ile, işletme için temiz su kaynağına alternatif bir su kaynağı yaratılacak ve dolayısıyla işletmenin su maliyeti düşürülebilecektir. İOP'lerinin üstün yönlerine karşın, diğer arıtma yöntemlerine nazaran ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin daha fazla olması bu proseslerin başlangıçta uygulanamaz olarak tanımlanmasına neden olabilmesine rağmen kendi kendilerini amorti edebilmektedirler. Örneğin arıtma sonucunda elde edilecek geri kazanılmış suyun işletmede tekrar kullanılması ile su tüketim maliyetleri azalacaktır. Böylelikle başlangıçta bu prosesler için işletme tarafından yapılan fazla harcamalar kısa sürede kazanca dönüşebilir [64].

2.3.4.5 Elektrokimyasal Yöntemler

Elektrokimyasal yöntemler, redoks yöntemleridir. Bu proseslerde sıvı ortamdan elektriksel akım geçirilmekte ve elektrolitlerde oluşan hidrojen ve oksijen gazları kolloidlere yapışarak bunları sıvı yüzeyine doğru çıkarmaktadır. Yüzeyde toplanan kolloidler ise sıyrıcılar tarafından alınmaktadır. Bu yöntemlerin dezavantajı çok pahalı olmalarıdır [65].[66].

Bu yöntemler içmesularının ve atıksuların arıtımında yaygın olarak kullanılabilir.

Elektrokimyasal yöntemler, arıtımın yanı sıra metal geri kazanımında da son yıllarda kullanılmaya başlamıştır [67].

Elektrokimyasal yöntemler olarak elektrokoagülasyon, elektrooksidasyon, elektroflotasyon ve ileri adsorbsiyon aşağıda açıklanmıştır.

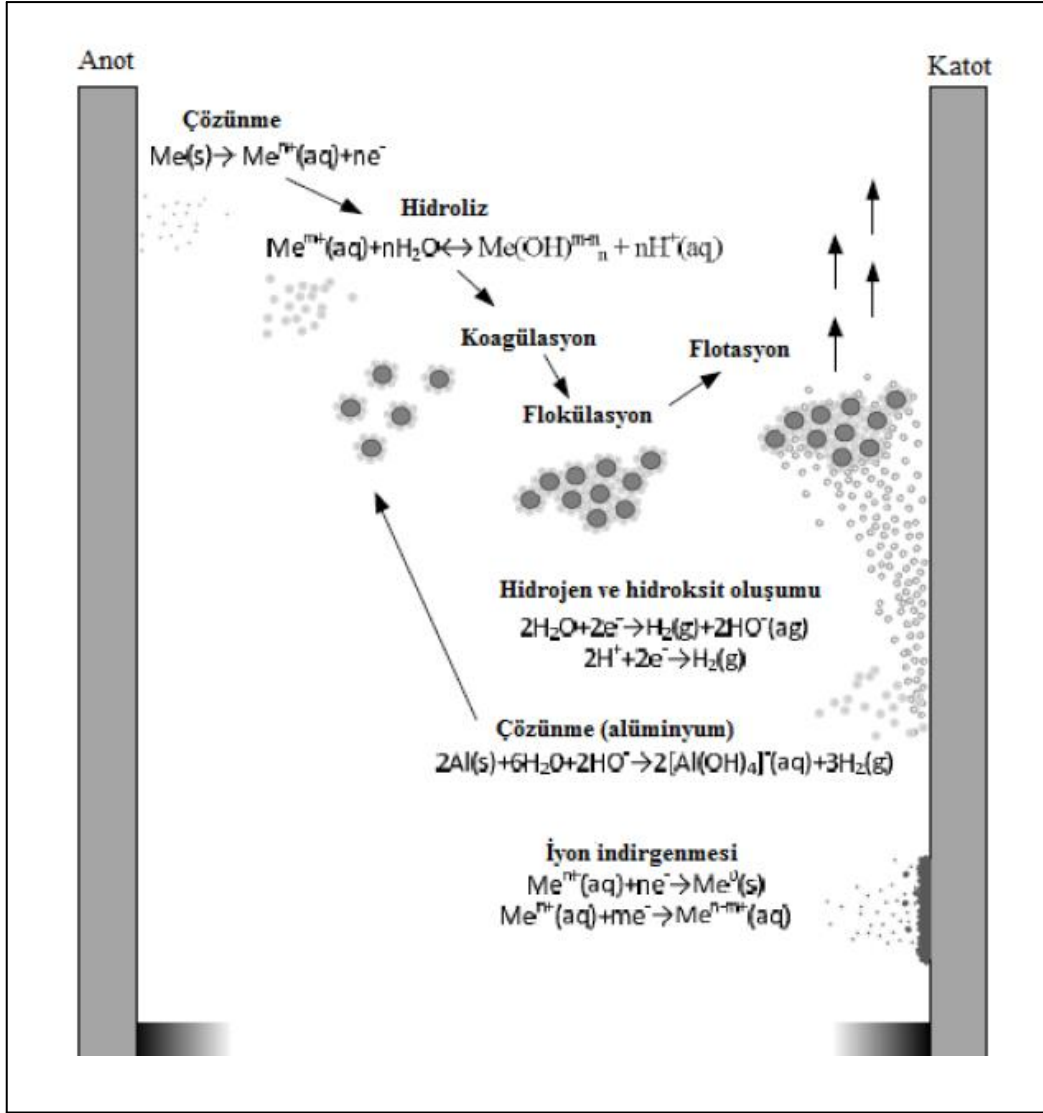
Elektrokoagülasyon

Elektrokoagülasyon prosesinde genellikle alüminyum(Al^{+3}) ve demir (Fe^{+3} veya Fe^{+2}) elektrotlar kullanılmaktadır. Proses işletim sırasında bu elektrotlar atıksuda reakte olarak $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_2$ ve $Fe(OH)_3$ gibi metal hidroksit bileşikleri meydana gelmektedir. Bu metal hidroksitler atıksu ortamındaki farklı kirlilik parametrelerini adsorbe ederek çökmesini sağlar. Bu metod günümüzde birçok sanayi dalında kullanımına başlanmıştır [68].

Elektrokoagülasyon prosesi sırasında 3 temel işlem gerçekleşir. Bunlar;

- 1) Elektrot yüzeyinde gerçekleşen elektrolitik reaksiyonlar
- 2) Metalik iyonların oluşumu
- 3) Koloidal özellikteki kirleticilerin adsorpsiyon, koagülasyon, sedimentasyon veya flotasyon mekanizmaları ile giderilmesi [69].

Elektrokoagülasyon Prosesi Şekil 2.24'te gösterilmiştir [70].



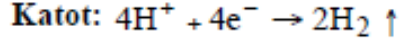
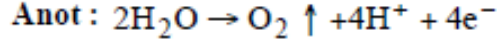
Şekil 2.24: Elektrokoagülasyon Prosesi

Elektrooksidasyon

Elektrooksidasyon yönteminde ana prensip çözünmeyen elektrotlar (Ti, Ru, Pt, paslanmaz çelik vb.) kullanılarak elektrotlar vasıtasıyla çıkan gazlar (O_2 ve H_2) ile istenilen oksidasyonun sağlanmasıdır. Bu işlemle birlikte birçok madde oksidasyona uğratılabilirken biyolojik olarak parçalanabilirliği zor olan bileşikler biyolojik olarak kolay parçalanabilir organik bileşiklere veya CO_2 ve H_2O gibi son ürünlere dönüştürülmektedir. Elektrooksidasyon prosesinde aktif rolü oynayan elektrot anottur. Bundan dolayı bu proseste etkili olan parametrelerin başında anodun katalitik aktivitesi gelir. Ayrıca akım, sıcaklık, pH ve organik bileşiklerin ve diğer oksidantların difüzyon hızı da önemlidir [67].

Elektroflotasyon

Genellikle tek başına değil de bir diğer elektrokimyasal prosesle birlikte kullanılan bu yöntem; prosesin gereği elektrotlardan açığa çıkan gaz kabarcıkların kirleticileri adsorbe ederek yüzeye çıkarması sonucu kirliliğin giderilmesi esasına dayanır. Elektroflotasyonda elektrotlarda oluşan reaksiyonlar aşağıdaki gibidir;



Atıksulardan elektroflotasyon yöntemiyle giderilen kirleticiler daha çok yağ ve emülsiyonlar gibi düşük yoğunluklu maddeler olabildiği gibi AKM'ler de olabilmekte ve özellikle bazı tesislerde problem oluşturan giderilemeyen KOİ'nin bir kısmı da bu yöntemle giderilebilmektedir. Bu gibi yararlı özelliklerinden dolayı elektroflotasyon çeşitli sanayilerde kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak metal kaplama, tekstil, boya ve kimya sanayileri verilebilir [67].

İleri Adsorbsiyon

İleriadsorsorbsiyon yöntemi için; aktif karbon adsorpsiyonu, aktif silika adsorpsiyonu, silika jel adsorpsiyonu olarak uygulamaları mevcuttur.

Adsorpsiyon, gaz ya da sıvı karışımlarından maddeleri uzaklaştırmak için özel katıların kullanıldığı bir prosestir. Katı veya sıvı partiküllerin bir katı yüzeyine bağlandığı bu proses endüstride önemli bir prosestir. Gaz veya sıvı partiküllerin bağlandığı özel katılara "adsorbent" denir. Adsorplanan maddeye ise "adsorbat" adı verilir. Adsorpsiyon yüzeyde gerçekleşen bir olaydır ve moleküller yüzey tarafından yakalanır. Absorpsiyonla karıştırılmamalıdır. Adsorpsiyon ve absorpsiyon iki farklı prosestir. Absorpsiyonda moleküller yüzey tarafından değil hacimce yakalanır; yani absorpsiyonda çözünen, şişen madde içinde dağılır. Adsorpsiyon, adsorplanan molekülle katı yüzey arasındaki etkileşimin türüne bağlı olarak ikiye ayrılır [71]. Bunlar;

a) Fiziksel Adsorpsiyon: Fiziksel adsorpsiyon, temelde moleküller arası kuvvetler (Van der Waals) ve adsorbat molekülü ile adsorbent yüzeyini oluşturan atomlar arasındaki elektrostatik kuvvetlerden kaynaklanır. Adsorbentle adsorbat

arasındaki moleküler arası çekim kuvveti, adsorbatın kendi molekülleri arasındakinden daha büyük olduğunda gerçekleşir.

b) Kimyasal Adsorpsiyon: Kimyasal adsorpsiyon, adsorbentle adsorbat arasındaki kimyasal etkileşimden kaynaklanır. Adsorbat, katı yüzeyi ile bir bağ oluşturarak yapışır. Bu etkileşim fiziksel adsorpsiyondan daha kuvvetlidir. Fiziksel adsorpsiyonun aksine, sadece tek tabakalı adsorpsiyon gözlenir.

Ayrıca, düşük sıcaklıklarda sadece fiziksel adsorpsiyon gerçekleştiren adsorbatın yüksek sıcaklıklarda kimyasal adsorpsiyon gerçekleştirebildiği, hatta bazen her ikisinin aynı anda gerçekleşebileceği de not edilmelidir.

Filtrasyon, saflaştırma, koku ve renk giderimi ve ayırma işlemleri bu proseslere örnektir. Endüstride, adsorpsiyon çok önemli bir prosesdir. Gaz ve sıvı fazlı uygulamalarda kullanılır. Su veya organik çözeltilerden organik bileşiklerin uzaklaştırılması, sıvı fazlı renkli safsızlıkların giderimi ve benzindeki çözünmüş nemin uzaklaştırılması, sıvı fazlı sistemlere örnektir. Hava veya diğer gazlardan su buharının, doğal gazdan kükürtlü bileşiklerin uzaklaştırılması ve hava ve diğer gazlarla karışımlarından değerli çözücülerin, buharının geri kazanımı ise gaz fazlı sistemlere örnek olarak verilir. Adsorpsiyon teknikleri, atık su arıtım proseslerinde belli türdeki kirleticilerin uzaklaştırılmasında yaygın biçimde kullanılmaktadır [71].

İyon değişimi ve Adsorpsiyon bir birine benzer proseslerdir, çünkü her iki procese de en yoğun gerçekleşen mekanizma sıvı fazdan katı faza kütle transferidir. Aynı zamanda her ikisi de temel olarak bir difüzyon prosesidir. İyon değişimi aynı zamanda bir desorpsiyon (tutulan maddelerin yüzeyden ayrılması) prosesidir. Adsorpsiyonla arasındaki fark iyon değişiminde iyonlar tutulurken adsorpsiyonda nötral türler tutulur. Matematiksel teorilerin ve yaklaşımların çoğu aslında sorpsiyon işleminden çok iyon değişimi için geliştirilmiştir. Bununla birlikte bunların çoğu benzer prosesleri açıklamak için modifiye edilmiştir. Fiziksel adsorpsiyonun bir önemli özelliği çok hızlı olmasıdır ve bunun sonucu olarak reaksiyonun toplam hız kontrolü sorpsiyon kinetiğinden daha çok kütle transfer katsayısı tarafından yapılır. Bundan dolayı sorpsiyon bir difüzyon kontrollü proses olarak adlandırılabilir. İyon değiştirme

işleminin mekanizmasının daha iyi anlaşılabilmesi için çalışmalardan elde edilen verilerin çeşitli kinetik ve izoterm modellerine uygulanmalıdır.

Adsorplanacak her hangi bir maddenin bir adsorbentle birleşme eğiliminin kantitatif olarak edilmesi için, sabit sıcaklık ve denge de adsorbent üzerine adsorplanmış miktarın tanımlayan adsorpsiyon izotermi kullanılır. Su arıtımındaki birçok uygulamada adsorplanan madde miktarı, sıvıfazdaki konsantrasyonun bir fonksiyonudur ve bu ilişki genellikle izoterm olarak tanımlanır. Adsorpsiyon izotermi, sabit hacimde maddenin belli bir miktarını farklı adsorbent miktarlarıyla adsorpsiyona tabi tutarak elde edilen datalardan çıkarılır. Adsorpsiyon izotermi her yeni madde için deneysel datalardan belirlenmelidir. Kesikli bir uygulama için adsorpsiyon kütle dengesi aşağıdaki gibi ifade edilir [48]. Bu ifade formül (1)'de verilmiştir.

$$q_e = (V/M) \times (C_o - C_e) \quad (1)$$

Burada; M = adsorbent kütlesi (g), V = Hacim (L), C_o = Adsorbent maddenin başlangıç konsantrasyonu (mg/L), C_e = Adsorbent maddenin çıkış konsantrasyonu (mg / L), q_e = Birim adsorbent başına adsorplanan madde miktarı (mg /g)dır.

Adsorpsiyon kütle dengesi eşitliğindeki q_e'nin yerini Freundlich, Langmuir, Temkin ve Dubinin gibi izoterm eşitliklerinden biri alır. Böylece daha sonraki uygulamalarda uygun olan izoterm eşitliğindeki izoterm katsayıları kullanılarak kantitatif hesaplamalar yapılır. Adsorpsiyonun özellikleri, adsorpsiyonun gerçekleştiği ortamdaki adsorbent konsantrasyonu ile birim adsorbent başına adsorbe edilen adsorbent miktarının ilişkisini veren adsorpsiyon izotermi ile belirlenir [49].

Dolgulu kolonda sıvı, dolgu maddelerinin yüzeyini bir film şeklinde kaplayarak akar ve gaz ise geriye kalan boşluktan sıvıya paralel veya ters yönlü akar. Dolgu maddelerini kaplayan bu sıvı film kalınlığının ihmal edilebileceği ve sıvının tüm dolgu maddesi yüzeyini ıslattığı varsayımı yapılırsa dolgu maddesi yüzey alanının yaklaşık sıvı-gaz yüzey alanıyla aynı olduğu kabul edilebilmektedir. Dolgulu kolonlar katı bir yatak üzerinden bir veya iki fazın paralel veya ters akımlı olarak aktığı iki veya üç fazlı reaktörler olarak çoğunlukla kullanılırlar. Gaz-katı, sıvı-katı iki faz reaktörleri olarak adsorpsiyon sistemleri, gaz-sıvı

veya gaz-sıvı-katı reaktörleri olarak adsorpsiyon veya katalitik reaksiyon sistemleri şeklinde kullanılabilir [72].

Ayrışmayan ve diğer arıtma yöntemleriyle giderilemeyen organik maddelerin giderilmesi, kaplama endüstrisi atık sularından metal giderme gibi işlemler için adsorpsiyon, önemli bir potansiyel niteliğindedir. Damlatmalı filtre çıkış suyu ile yapılan bir pilot çalışmada, granüle aktif karbonun, gümüş, kadmiyum, krom ve selenyum açısından çok iyi giderme sağladığı gözlenmiştir. Çalışmanın sonuçları Çizelge 2.5'te özetlenmiştir [49].

Çizelge 2.5: Aktif Karbon İle Ağır Metal Giderimi

İz Metal	Giderme Yüzdesi
Ag(+1 değerlikli)	85,5
Cd(+2 değerlikli)	92,3
Cr(Cr ₂ CT ²)	94,1
Se(SeO ₃)	33,7

Atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler Çizelge 2.6'da verilmiştir [43].

Çizelge 2.6: Atıksu Geri Kazanımı İçin Uygulanan Arıtma Teknolojileri Ve Giderdikleri Kirleticiler

Arıtma birimleri	Askıda katı madde	Kolloidal maddeler	Partiküler organik madde	Çözünmüş organik madde	Azot	Fosfor	Eser maddeler	Toplam çözünmüş madde	Bakteri	Protozoa	Virüs
İkincil arıtma	X			X							
Nütrient giderimi				X	X	X					
Filtrasyon	X								X	X	
Yüzey filtrasyonu	X		X						X	X	
Mikrofiltrasyon	X	X	X						X	X	
Ultrafiltrasyon	X	X	X						X	X	X
Flotasyon	X	X	X							X	X
Nanofiltrasyon			X	X			X	X	X	X	X
Ters osmoz				X	X	X	X	X	X	X	X
Elektrodiyaliz		X						X			
Karbon adsorpsiyonu				X			X				
İyon değiştirme					X		X	X			
İleri oksidasyon			X	X			X		X	X	X
Dezenfeksiyon				X					X	X	X

Çizelge 2.6'ya göre; ileri arıtma yöntemlerinde kullanılan ters osmoz, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve ileri oksidasyon işlemlerinin atıksu arıtımında giderdiği kirleticilerin miktarına göre sırasıyla ön plana çıktığı görülmektedir.

2.4 Metal Kaplama İşlemindeki Atıksu Arıtma Yöntemlerinin Uygulamaları

Metal Kaplama Endüstrisi'nde kullanılan yöntemlere ait oluşan atıksular ile ilgili standartlar SKKY'nin ilgili tablolarında verilmiştir. Standartların sağlanamadığı durumlarda tesis içi önlemler alınır. Zorunlu durumlarda ya da geri kazanma istenildiğinde ileri arıtma yöntemleri uygulanır. İleri arıtma yöntemleri olarak ultra filtrasyon, iyon değişimi ve ters osmoz kullanılabilir [6].

SKKY ve bu yönetmeliğe istinaden tesisin faaliyette bulunduğu yere göre alt yapı tesisine ait ilgili kurumun deşarj yönetmeliğine ve Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği'ne göre atıksuların arıtılması klasik olan birincil ve ikincil arıtma yöntemleriyle olabilmektedir. Değişkenlik ve kompleks atıksular içeren metal kaplama atıksularının arıtılması ve geri kazanılarak tekrar proseste kullanılması için üçüncül arıtma denilen ileri arıtma yöntemleri uygulanmaktadır. Amaca göre birincil, ikincil ve üçüncül olarak tanımlanan arıtma işlemlerinin biri veya birkaçı aynı anda uygulanabilmektedir.

SKKY'nde Metal Sanayi(Alüminyum Oksit ve Alüminyum İzabesi için deşarj limitleri Çizelge 2.7'de verilmiştir [73];

Çizelge 2.7:Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Metal Sanayi(Alüminyum Oksit ve Alüminyum İzabesi) Deşarj Limitleri

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	200	140
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	125	100
YAĞ VE GRES	(mg/L)	20	10
ALÜMİNYUM	(mg/L)	3	-
AKTİF KLOR	(mg/L)	0.5	-
FLORÜR	(mg/L)	50	30
pH	-	6-9	6-9

SKKY'nde Metal Sanayi(Elektrolitik Kaplama, Elektroliz Usulüyle Kaplama) deşarj limitleri Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Metal Sanayi(Elektrolitik Kaplama, Elektroliz Usulüyle Kaplama) Deşarj Limitleri

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/l)	100	-
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	125	-
YAĞ VE GRES	(mg/L)	20	-
NİTRİT AZOTU (NO ₂ -N)	(mg/L)	5	-
AKTİF KLOR	(mg/L)	0.5	-
TOPLAM KROM	(mg/L)	1	-
KROM (Cr ⁺⁶)	(mg/L)	0.5	-
ALÜMİNYUM (Al)	(mg/L)	3	-
FLORÜR (F ⁻)	(mg/L)	50	-
ÇİNKO (Zn)	(mg/L)	3	-
KADMİYUM (Cd)	(mg/L)	-	0.2
BALIK BİYODENEYİ (ZSF)	-	2	-
pH	-	6-9	6-9

Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8'e göre; Elektrolitik Kaplama, Elektroliz Usulüyle Kaplama işlemlerindeki alıcı ortam deşarj limitlerinin Alüminyum Oksit ve Alüminyum İzabesi İşlemleri'ndeki alıcı ortam deşarj limitlerinden daha düşük olduğunu dolayısı ile atıksu kirlilik yüklerinin daha az olduğunu göstermektedir. Bu durum Elektrolitik Kaplama, Elektroliz Usulüyle Kaplama işleminden oluşan atıksu özelliklerinin Alüminyum Oksit ve Alüminyum İzabesi İşlemleri'ne göre deşarj edilen ortamda daha fazla hasar meydana getireceği için düşük tutulduğu ve bu atıksuların arıtılması için daha verimli arıtma işlemlerinin uygulanması gerektiğini ortaya çıkarmaktadır.

2.5 Atıksuklardan Ağır Metallerin Giderimi

Çizelge 2.9'da metal kaplama sektörünü de kapsayan değişik sektörlere göre atıksularda meydana gelen ağır metaller gösterilmiştir [27].

Çizelge 2.9: Değişik Sektörlere Göre Atıksularda Meydana Gelen Ağır Metaller

Sektör	Krom	Bakır	Nikel	Demir	Çinko	Kalay	Kurşun	Kadmiyum	Alüminyum	Civa	Kobalt
Alüminyum											
Otomotiv	*	*	*	*	**	**	**	**	**		
Azotlu Gübre	*				*						
Fosfatlı Gübre				**							
Cam	**	**		**	**	**			**		
Çimento	**				**						
Deri	*										
Metal	*	*	*	*	*	*	*	*			
Rafineri	*	**		**	**		**				
Plastik Sentetik					**						
Kağıt	*										
Termik Enerji	**	**		**	**						
Çelik	*	*		*	*	*					
Tekstil	*										
Boya	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Asbest	**				**						

Tabloda; * Birinci Derece Ağır Metaller, ** İkinci Derece Ağır Metaller dir.

Çizelge 2.9'a göre, atıksularında ağır metal içeren sektörler arasında başta boya olmak üzere otomotiv ve metal(kaplama) sektörlerinin ön plana çıktığı görülmektedir.

Atıksulardaki ağır metaller, kireç veya kostik ilavesi ile çözünürlüklerinin en düşük olduğu pH'da metal hidroksitleri şeklinde çöktürülürler. Bu maddelerin çoğu amfoterik olup çözünürlükleri çok düşüktür [74].

Kimyasal çöktürme sistemlerinde işletme açısından en önemli husus pH ayarlanmasıdır. Genelde arıtılan suda birden fazla metal bulunacak ve her metalin minimum çözünürlüğüne karşı gelen pH değeri farklı olacaktır. Bu

durumda arıtma sisteminde arıtılacak suyun bileşimi için en uygun pH' nın saptanması çok önemlidir. Kimyasal çöktürmede çöktürmenin tamamlanması için ilave edilen, çöktürmeyi sağlayan anyonların ortamda fazla bulundurulması gerekir. +6 değerlikli krom ve siyanür içeren atıksuların sisteme verilmeden önce tam olarak arıtılmaları gerekir. +6 değerlikli krom, hidroksit olarak çöktürülemez. Diğer taraftan siyanür kompleks oluşturarak metal hidroksitlerin çözünürlüğünü değiştirir. Kimyasal çöktürmede oluşan çökeltieler hemen ortamdaki uzaklaştırılmalıdır [27].

Bazı ağır metallerin(siyanür, krom, kadmiyum, bakır, demir, nikel, çinko, alüminyum)atıksulardan arıtılması-giderilmesi aşağıdaki gibidir;

2.5.1 Siyanür Giderme

Siyanür oksitleme için siyanürlü atıksular da bir bekletme-dengelemeden sonra reaksiyon tankına alınır. İşlem iki kademede yürütüldüğünden sürekli çalışma halinde iki tank kullanılır. Kesikli çalıştırma için iki tank yeterlidir. Tanklar yavaş bir karıştırma için karıştırıcıyla teçhiz edilmeli ve pH' da uygun oksidasyon-redüksiyon potansiyeline erişinceye kadar oksitleyici beslemesi yapılmalıdır. Bu işlem sonucunda siyanür, siyanata dönüştürülür. İkinci kademede oksidasyon potansiyeli klor ile artırılır ve siyanat karbondioksit ve azota çevrilir. Reaksiyon tankında birikecek çamurlar zaman zaman temizlenmelidir. İşlemden istenmeyen uçucu bileşiklerin oluşumunun önüne geçmek için pH çok dikkatli ayarlanmalıdır [27].

Kimyasal çöktürme ve flotasyon işlemlerinin yanı sıra siyanür arıtımında kullanılan diğer yöntemler iyon değiştirme ve aktif karbon adsorpsiyonudur [6].

2.5.2 Krom Giderme

Krom indirgeme işleminde en önemli nokta, pH ve oksidasyon redüksiyon potansiyelinin kontrolüdür. Kimyasal indirgeme için beslenen SO₂, sodyummetabisülfid gibi maddeler pH=2 civarında uygun oksidasyon redüksiyon potansiyeline erişinceye kadar beslenir. İndirgeme işleminin tamamlanması için amaçlanan oksidasyon redüksiyon potansiyeline mutlaka erişilmelidir. Burada bekletme süresinin de iyi ayarlanması gerekir. Ayrıca reaksiyon süresince hızlı olmayan bir karıştırma uygulanır. Sistem genellikle

kesikli çalıştırıldığından atıksular reaksiyon tankından önce bir bekletme dengeleme tankına alınmalıdır [27].

2.5.3 Kadmiyum Giderme

Kadmiyum; metal alaşımları, seramik, elektrokaplama, fotoğraf, pigment, tekstil boyama, kimya sanayi ve kurşun madeni dren sularında bulunur. Atıksulardan kadmiyum, çöktürme veya iyon değiştirme ile uzaklaştırılır. Atıksuda siyanür gibi kompleks oluşturuucu iyon mevcutsa kadmiyum çökmez. Bu durumda bu kompleks yapıcı iyonun kadmiyumun çöktürülmesi öncesi atıksudan uzaklaştırılması gerekir. Siyanür durumunda, önce siyanürü oksitleyip arkadan kadmiyum oksit oluşumuna sağlayan, hidrojen peroksitli oksidasyon-çöktürme yöntemi ile kadmiyumun ekonomik olarak geri kazanımı mümkün olmaktadır [74].

2.5.4 Bakır Giderme

Endüstriyel atıksularda bakır kaynağı metal dekopaj ve kaplama banyolarıdır. Atıksulardan bakır çöktürme ve iyon değişimi, buharlaştırma, ve elektrodializ prosesleri ile giderilir. Geri kazanılan bakırın ticari değeri geri kazanım yönteminin çekiciliğini belirler. 200 mg/l nin altında bakır içeren atıksularda iyon değişimi ve aktif karbon yöntemleri daha ekonomik olmaktadır. Alkali pH'da bakır, çözünürlüğü düşük metal hidroksit şeklinde çöker [74].

2.5.5 Demir Giderme

Demir; maden işleme, cevher öğütme, kimya endüstrisi atıksuları, boya üretimi, metal işleme, tekstil, petrol rafinerileri de dahil bir çok endüstriyel atıksularda bulunur. Atıksularda demir giderilmesinde temel yöntem Fe⁺² 'nin Fe⁺³'e dönüştürülmesi, ve Fe(OH)₂'nin pH=7 civarında(minimum çözünürlükte) çöktürülmesidir. Fe⁺² 'nin Fe⁺³'e dönüştürülmesi pH=7.5te havalandırma ile çok hızlı olarak gerçekleşir. Ortamda çözünmüş organik madde varsa demirin oksitlenme hızı düşer[74].

2.5.6 Nikel Giderme

Atıksularda nikel; metal işleme endüstrisi, çelik dökümhaneleri, motorlu araçlar, uçak endüstrisi, baskı, metal kaplama ve kimya endüstrilerinden

kaynaklanır. Nikel, geri kazanım sisteminde karbonat veya sülfatı şeklinde de çöktürülebilir. Pratikte pH=11.5'ta kireç ilavesi ile çöktürme ve filtrasyon sonucu bakiye nikel 0.15 mg/l ye indirilebilir. Atıksuda nikel konsantrasyonu yüksekse iyon değişimi ve buharlaştırma ile nikel geri kazanımı mümkündür [74].

2.5.7 Çinko Giderme

Çinko; çelik işleri, rayon ipliği ve elyaf üretimi, öğütölmüş odun hamuru üretimi, katodik işlem yapan sistemlerde soğutma suyunun sirkülasyonu sularında bulunur. Kaplama ve metal işleme endüstrileri atıksularında da çinko bulunur. Çinko kireç veya kostik kullanılarak hidroksiti şeklinde çöktürölür. Kireçle çöktürmenin bir mahzuru atıksuda sülfat bulunması durumunda kalsiyum sülfatın da birlikte çökmesidir. pH=11 de arıtılmış su çıkışında 0.1 mg/l nin altında çinko seviyelerine ulaşılabilir [74].

3 MATERYAL VE METOD

Alüminyumeloksal kaplama tesislerinde oluşan atıksulardan asidik ve alkali kimyasalların, ağır metallerin geri kazanılarak kaplama banyolarında tekrardan kullanımının sağlanması ve bu sayede firmaların kimyasal maliyetlerinin azaltılmasının yanı sıra çevreye daha az atık verilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda ilk önce 5 adet alüminyum eloksal kaplama fabrikalarının kaplama prosesleri incelenerekve uygulama yapılan tesiste banyolardan alınan numunelerin analizleri yapılarak eloksal kaplama banyolarının özellikleri ve kirlenme profili çıkartılmıştır.

Eloksal kaplama banyolarından atıksu ve hammadde geri kazanımını gerçekleştirmek için; öncelikle laboratuvar deneyleri yapılarak kullanılacak olan reçine modelleri ve membran modelleri tespit edilmiştir. Tespit edilen bu reçine ve membranların performans testleri yapılarak pilot sisteminkurulumu yapılmıştır. Pilot denemelerinin yapılması için reçineli iyon değiştirici üniteler ve membranlı üniteler olmak üzere 2 ana grupta pilot ölçekte geri kazanım üniteleri hazırlanmıştır.

Uygulama yapılan tesis İstanbul'da 25.000 m²'lik üretim alanında 3 adet farklı büyüklük ve kapasitede ekstrüzyon hatı ile yılda 18.000 ton alüminyum profil üretebilmektedir. Üretilen profiller talep edilen çeşit ve özellikte toz boya veya eloksal kaplama yapılabilmektedir. Üretilmekte olan profiller başta mimari uygulamalar, inşaat, otomotiv, makine, havalandırma, soğutma, dekorasyon, aydınlatma, elektrik ve elektronik, mobilya ve aksesuar sektörlerinde kullanılmaktadır. Üretim 24 saat 2 vardiya olarak yapılmaktadır. Banyolar günde ortalama 20 saat, ortalama 300 gün çalışma ile yılda 1.800 ton alüminyum profil malzeme üzerine eloksal kaplama işlemi yapılmaktadır.

Eloksal Kaplama İşlemi'nde kullanılan Mat(Kostik) Durulama, Eloksal, Eloksal Durulama, Renklendirme Durulama ve Tespit Durulama Banyoları'ndan atıksu ve hammadde geri kazanımı için hazırlanan pilot üniteler kullanılmıştır.

Mat(Kostik) Durulama Banyosu'ndan 120 L/h kapasiteli Pilot Ölçekli Nanofiltrasyon(NF)Ünitesi'nde; KOCH SELRO34 AMS Membran,B4022 4040 Membran, FILMTEC NF 270-40 Membran olmak üzere 3 farklı membran

kullanılarak banyodan iletkenlik, kostik ve alüminyum giderilerek geri kazanım uygulaması yapılmıştır.

Eloksal Banyosu'ndan Sülfürik Asit geri kazanımı için; 25 L hacimde 500 L/h üretim kapasitesinde Pilot Ölçekli Anyonik İyonik Deminaralize(AİD) Ünitesi'nde, A870 Reçine Filtre ve Selion AR850 Reçine Filtre olmak üzere 2 farklı iyon değiştirici reçine kullanılmıştır. Reçine üzerinde tutulan iyonların safsu ile reçinen geri yıkılması ile Sülfürik Asit geri kazanımı yapılmaktadır.

Eloksal Durulama Banyosu'ndan atıksu geri kazanımı için; 120 L/h kapasiteli Pilot Ölçekli Nanofiltrasyon(NF)Ünitesi'nde; KOCH SELRO34 AMS Membran, FILMTEC NF 270-40 Membran ve AMS S3012 4040 Membran olmak üzere 3 farklı membran kullanılarak banyodan iletkenlik, asit ve alüminyum giderilerek geri kazanım uygulaması yapılmıştır.

120 L/h kapasiteli Pilot Ölçekli Nanofiltrasyon(NF)Ünitesi ile uygulama yapılmadan önce 500 L/h kapasiteli Ultrafiltrasyon(UF) Ünitesi ile NF Ünitesi'ne gelen atıksuların filtre edilerek hızlı tıkanmasını engellemek amacıyla kullanılmıştır. Pilot UF ünitesinde kimyasallara dayanıklı olması için DOW SFP-2860 Model PVDF hollow fiber membran kullanılmıştır. NF Ünitesi'nde kullanılan membranın tıkanmalara karşı veriminin düşmesinin engellenmesi amacıyla geri yıkama işlemine tabi tutulmaktadır.

Eloksal Durulama, Renklendirme Durulama ve Tespit Durulama Banyosu'ndan atıksu geri kazanımı için; 450 L/h kapasiteli Pilot Ölçekli Anyonik Katyonik Deminaralize(AKD) Ünitesi'nde; 50 L Aktif Karbon Filtre(AKF), 50 L İyon Değiştirici Katyonik Filtre(KF), 50 L İyon Değiştirici Zayıf Anyonik Filtre(KF-1) ve 50 L İyon Değiştirici Kuvvetli Anyonik Filtre(KF-2) kullanılmıştır. Durulama Banyosu atıksuları AKD Ünitesi'ne girmeden önce Filtrepres ile Mikrofiltrasyon işlemine tabi tutulmuştur. AKD Ünitesi'nde kullanılan AKF şebeke suyu ile, KF şebeke suyu ile birlikte HCl veya H₂SO₄ Çözeltisi ile, AF ise şebeke suyu ile birlikte NaOH çözelti ile yada Mat Durulama Banyosu atıksularının NF Ünitesi ile geri kazanım suyu ile rejenerasyon işlemine tabi tutularak tıkanmalara karşı veriminin düşmesinin engellenmesi yapılmaktadır.

Uygulamada kullanılan UF, NF, AİD,ve AKD pilot üniteler aşağıda verilmiştir;

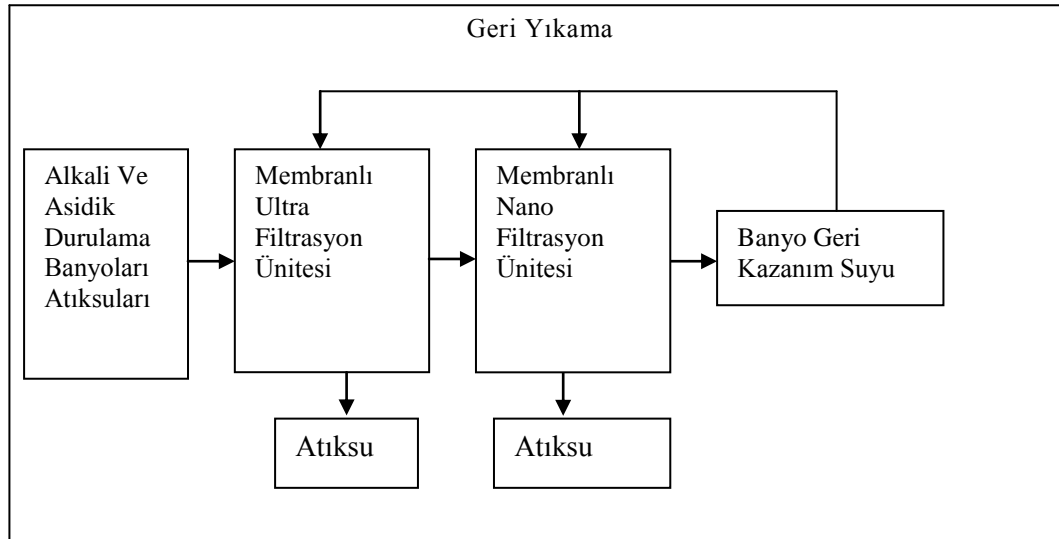
3.1 Ultrafiltrasyon(UF) Ve Nanofiltrasyon(NF) Pilot Ünitesi

Alkali ve asidik durulama banyolarından oluşan atıksuların geri kazanımına yönelik olarak tasarlanan ve UF Pilot Ünitesi ve NF Pilot Ünitesi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: UF Pilot Ünitesi Ve NF Pilot Ünitesi Resmi

Alkali ve asidik durulama banyolarından oluşan atıksuların geri kazanımına yönelik olarak tasarlanan UF ve NF Pilot Ünitesi akış şeması Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2:Alkali Ve Asidik Durulama Banyolarından Oluşan Atıksular İçin Pilot Membran(UF ve NF) Ünitesi Genel Akış Şeması

Şekil 3.2'ye göre asidik ve alkali durulama banyosu atıksuları NF Ünitesi'nin yükünün azaltılması için önce UF Ünitesi'nden ve devamında NF Ünitesi'nden atıksular geçirilir. Tıkanmalara karşı geri yıkama işlemi uygulanır.

NF pilot ünitesinde kullanılan 4 farklı membran(FILMTEC NF 270-40, KOCH SELRO34 AMS Membran,B4022 4040 Membran ve B3012 4040) ve bu membranların özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir;

Çizelge 3.1: NF Pilot Ünite de Kullanılan Membranlar Ve Özellikleri

Kıstaslar	FILMTEC NF 270 4040	KOCH SEL RO 34	AMS B 4022 4040	AMS S 3012 4040
Aktif Alanı(m ²)	7,6	5,6	5,8	5,8
Uygulama Basıncı (bar)	4,80	-	-	-
Süzme Akış Aralığı (m ³ /gün)	9,50	8,50	-	-
Akış Debisi (L/saat)	-	-	110	110
Stabil Tuz Geçirimi(%)	> 97.0	35	40	40
Membran Tipi	Poliamid İnce- Film Karışımı	Üreticiye Ait Karışım	Üreticiye Ait Karışım	Üreticiye Ait Karışım
Max Çalışma Sıcaklığı (°C)	45	50	60	60
Max Çalışma Basıncı(bar)	50	45	45	70
Max Akış Besleme Debisi, (m ³ /saat)	3,6	17,1	3,9	3,9
Max Basınç Düşüşü (bar)	0,9	0,7	0,5	0,5
pH Aralığı (Devamlı Çalışmada)	2-11	0-14	3-14	2-11
pH Aralığı (Kısa Süre Temizlik- 30 dakika)	1-12	-	1-14	1-12
Max. Besleme Dane Yoğunluğu	SDI5	-	-	-
Serbest Klor Toleransı	< 0.1 ppm	-	-	-
Molekül Ağırlığı Ayırma Sınırı (Dalton)	326	200	180	180

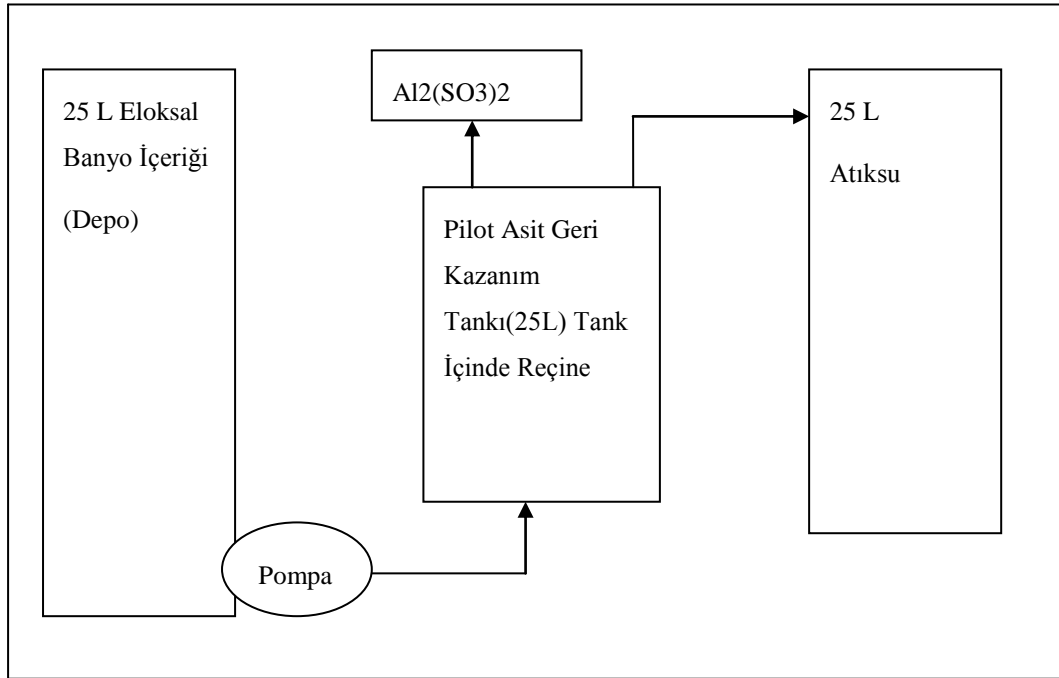
3.2 Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Pilot Ünitesi

İyon değiştirme(retardion) prensibi ile çalışan ve Şekil 3.3'te resmi verilen anyonik iyon değiştiricili asit geri kazanım ünitesi(AİD) ilk başta manuel olarak tasarlanıp ilk denemeler yapılmıştır. Daha sonra ünite otomatik çalışacak hale getirilmiş ve 2 farklı asit geri kazanım reçinesi(Purolite A870 Reçine, Selion AR850 Reçine) ile denemeler yapılmıştır.



Şekil 3.3:Anyonik İyon Değişirici(AİD) Pilot Ünitesi Resmi

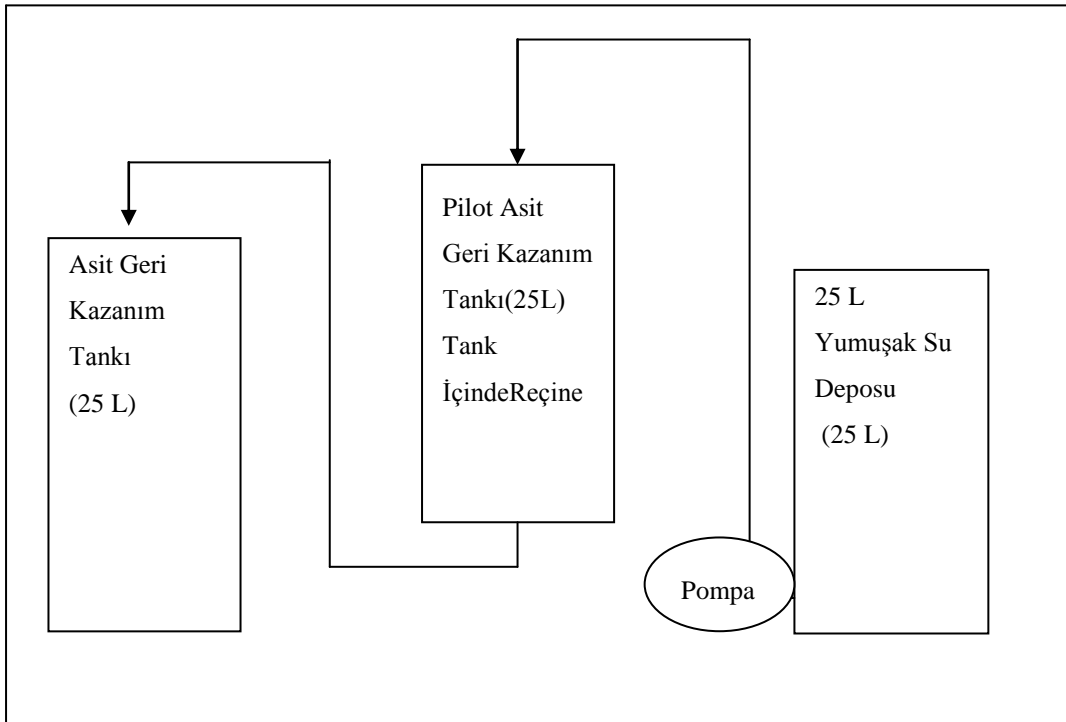
Anyonik İyon Değişirici(AİD) Pilot Ünitesi Akış Şeması Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4:Anyonik İyon Değişirici(AİD) Pilot Ünitesi Akış Şeması

Şekil 3.4'e göre; eloksal durulama banyolarından eloksal deposuna atık asit alınır. Elokmal deposundan atık asit(banyo çözeltisi) bir pompa yardımı ile asit geri kazanım tankına basılır. Bu tanktaki asit geri kazanım reçinesi H_2SO_4 ve Alüminyum'un büyük bir kısmını üzerinde tutar. Tank, içinde asit konsantrasyonu azalmış atık $Al_2(SO_4)_3$ içerir. Bu da sistemden atılır.

Anyonik İyon Değişirici(AİD) Pilot Ünitesi Geri Yıkama Akış Şeması Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

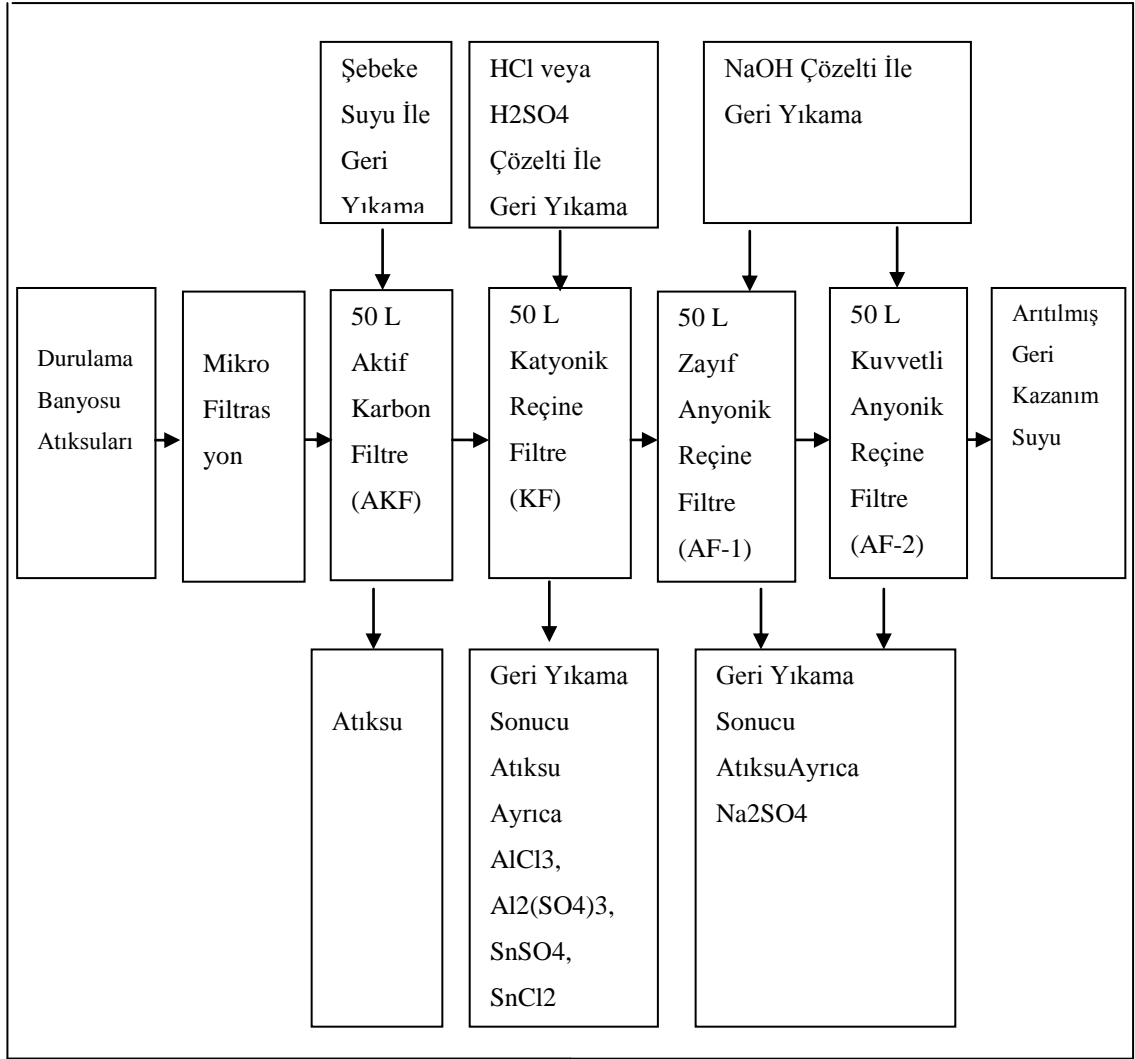


Şekil 3.5: Anyonik İyon Değişirici(AİD) Pilot Ünitesi Geri Yıkama Akış Şeması

Şekil 3.5'teki akış şemasında görüldüğü üzere, reçine üzerine tutulan H_2SO_4 ve alüminyum, reçinenin üzerinden yumuşak su geçirilmesi(pompa ile yumuşak su deposundan yumuşatılmış suyun reçine tankına pompalanarak) ile suya geçer ve geri kazanılmış H_2SO_4 depolama tankında biriktirilir. Bu depodan da eloksal banyolarına kullanım için geri gönderilir.

3.3 Anyonik-Katyonik Demineralize(AKD) Pilot Ünitesi

Elokmal Durulama, Renklendirme Durulama ve Tespit Durulama banyolarından oluşan atıksular için Pilot AKD Ünitesi uygulaması Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6: Anyonik-Katyonik Demineralize (AKD) Pilot Ünitesi Genel Akış Şeması

Şekil 3.6'ya göre; Durulama Banyosu atıksuları AKD Ünitesi'ne girmeden önce Filtrepres ile Mikrofiltrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Asidik ve nötr karakterdeki durulama atıksuları ilk önce mikrofiltrasyondan geçer. Mikrofiltrasyonda tutunamayan olası partiküller ve organik maddele (Yağ, gres vb) reçineye zarar vermemesi için Aktif Karbon Filtre (AKF) 'de tutulmaktadır. AKF 'den geçen atıksular Katyonik Reçine Filtresi (KF) 'ne geçerler. Katyonik reçine filtresinde durulama atıksularındaki metal iyonları tutulur. KF 'de tutulan metal iyonları sistemin H_2SO_4 veya HCl kimyasalları ile ve sonrasında temiz su ile geri yıkanması ile renklendirme durulama banyosundan $Al_2(SO_4)_3$ veya $SnSO_4$, $AlCl_3$ veya $SnCl_2$, eloksal durulama ve tespit durulama banyolarından $Al_2(SO_4)_3$ veya $AlCl_3$ olarak reçine üzerinden atılır. KF 'den geçen ve metal iyonları alınan durulama suları zayıf anyonik reçine (AF-1) ve kuvvetli anyonik reçine (AF-2) içeren filtrelerden geçer.

Anyonik filtrelerde atıksu içinde bulunan sülfat, karbonat gibi negatif(-) yüklü iyonlar tutulur. AF-1 ve AF-2 önce kostik(NaOH) ve sonrasında temizsu ile rejenere edilerek üzerindeki negatif(-) yüklü iyonlar sodyum(Na) ile bileşik(Na₂SO₄) oluşturarak reçineden uzaklaştırılır. AKF ise şebeke suyu ile geri geri yıkama işlemine tabi tutulur.

AKD Pilot Ünitesi Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



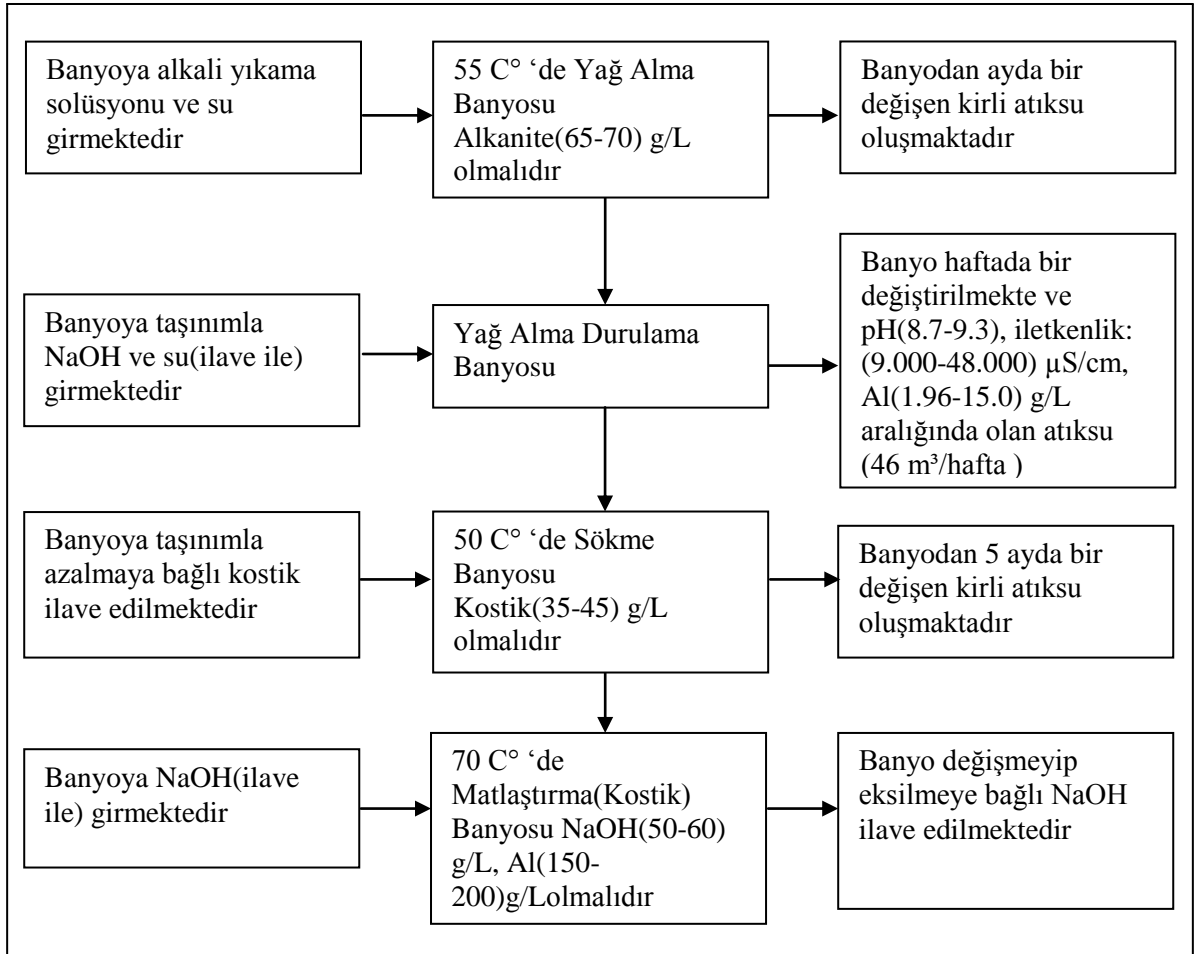
Şekil 3.7: Anyonik-Katyonik Demineralize(AKD) Pilot Ünitesi Resmi

4 UYGULAMA

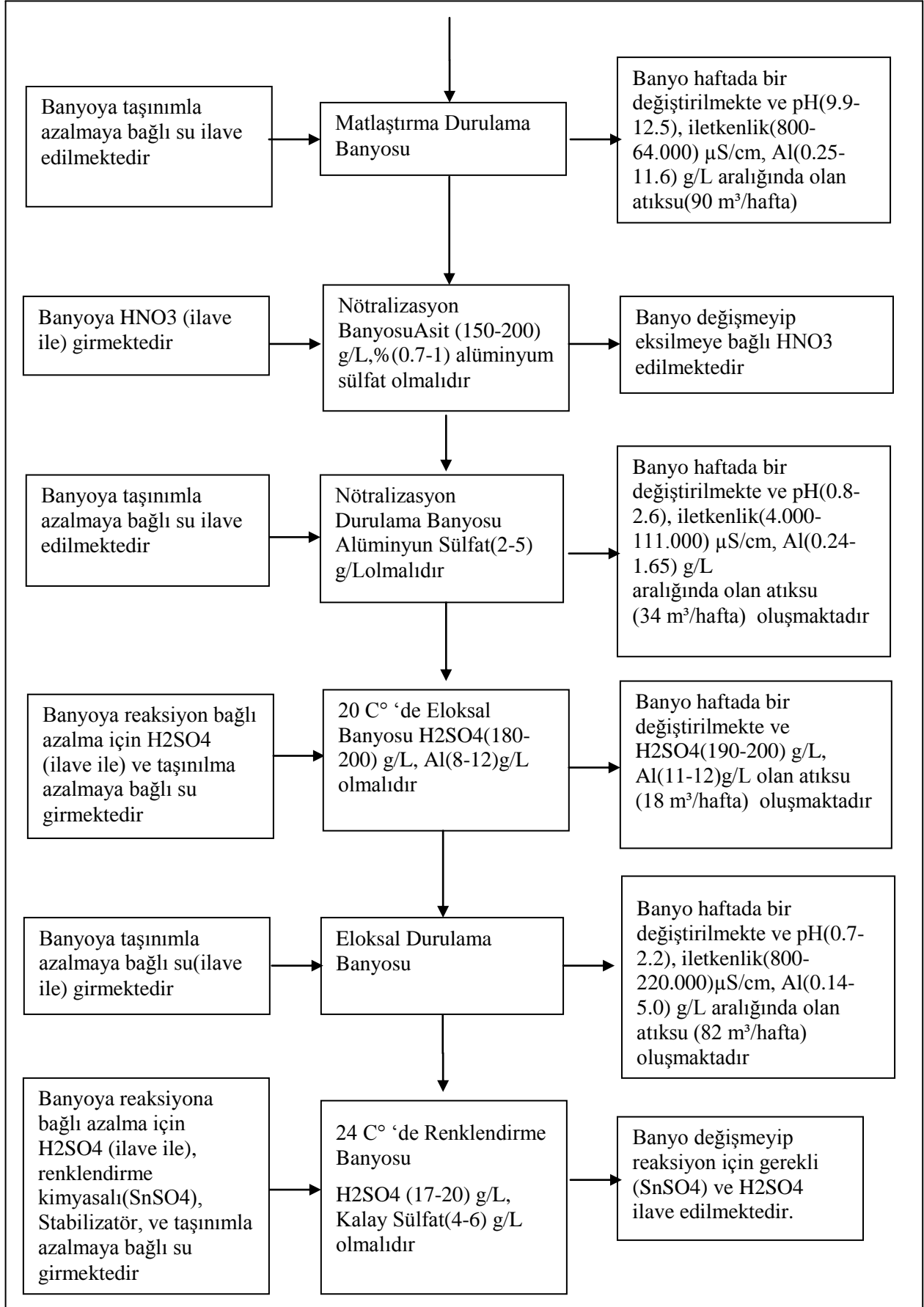
Ekstrüzyon presleriyle üretilen alüminyum profiller üzerine mekanik olarak uygulanan polisaj, fırçalama, satinaj gibi temizleme işlemlerinden sonra alüminyum profilüzerine yapılan Eloksal Kaplama işleminde kullanılan banyolardan pilot ünitelerle atıksu ve hammadde geri kazanımı yapılmıştır.

Alüminyum eloksal fabrikaları genelde aynı prosesleri kullanmakta olup, kapasite ve yaptıkları işleme göre banyo sıralama ve hacimlerinde değişiklik olmaktadır. Uygulama yapılan eloksal kaplama tesisindeki banyolara ait bilgiler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

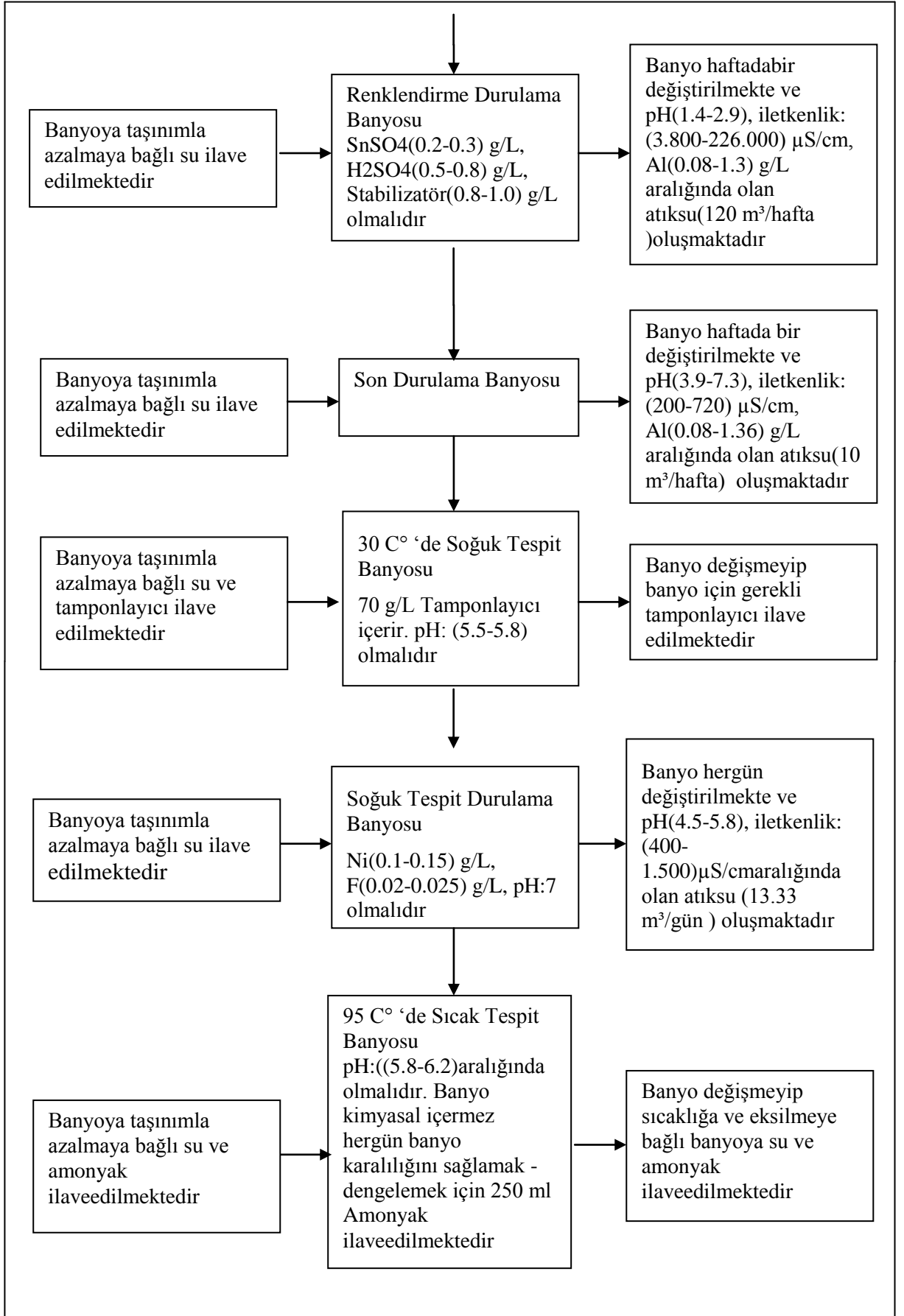
Çizelge 4.1: Uygulama Yapılan Eloksal Kaplama Banyoları ve Özellikleri



Çizelge 4.1: (devam)Uygulama Yapılan Banyolar ve Özellikleri



Çizelge 4.1: (devam)Uygulama Yapılan Banyolar ve Özellikleri



Eloksal kaplama tesisinde kullanılan banyolarda pilot ölçekte aşağıdaki uygulamalar yapılmıştır;

500 L/h kapasiteli Pilot UF, 120 L/h Pilot NF pilot ünitesine giren atıksuların filtre edilerek filtrelerin hızlı tıkanmasını engellemek amacı ile kostik durulama suları önce UF ünitesinden geçirilerek içindeki askıda katı maddeler tutulmuş ve daha sonra nanofiltrasyon ünitesinden geçirilmiştir. Ayrıca NF ünitesinden çıkan sular AKD ünitesinde anyonik filtrelerin geri yıkanmasında da kullanılmıştır.

Kostik Durulama Banyosu atıksularından 120 L/h kapasiteli Pilot NF Ünitesi ile 3 farklı membran kullanılarak banyonun farklı zamanlardaki kirlilik yüklerine göre 3 adet uygulama yapılmış ve verimli sonuçlar elde edilmiştir.

Eloksal Banyosu atıksularından 25 L hacminde 500 L/h kapasiteli Pilot AİD Ünitesi ile 2 farklı membran kullanılarak banyonun aynı şartlardaki kirlilik yüklerine göre 2 adet uygulama yapılmış ve verimli sonuçlar elde edilmiştir.

Eloksal Durulama Banyosu atıksularından 120 L/h kapasiteli Pilot NF Ünitesi ile üniteye KOCH MPS SELRO34 membran kullanılarak banyonun aynı şartlardaki kirlilik yüklerine göre 2 adet uygulama yapılmış, AMS S3012 4040 membran ve FILMTEC NF 270-4040 membran kullanılarak banyonun farklı zamanlardaki kirlilik yüklerine göre 3 adet uygulama yapılmış ve verimli sonuçlar elde edilememiştir.

450 L/h kapasiteli Pilot AKD Ünitesi ile Eloksal Durulama Banyosu'nda banyonun düşük ve yüksek kirlilik değerlerinde ünitenin çıkışını oluşturan anyonik filtrenin rejenerasyonun kostik ile veya Kostik Durulama Banyosu NF Ünitesi geri kazanım suyunun kullanılmasına bağlı olarak uygulama yapılmıştır.

450 L/h kapasiteli Pilot AKD Ünitesi ile Renklendirme Durulama ve Tespit Durulama Banyosu'nda proses özelliğinden dolayı banyo kirliliğinin düşük tutulması için banyonun düşük kirlilik değerlerinde temiz olduğu şartlarda uygulamaya başlanarak düşük ve yüksek kirliliğe sahip banyo şartlarında uygulama yapılmıştır.

Pilot ölçekte yapılan uygulamalar ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

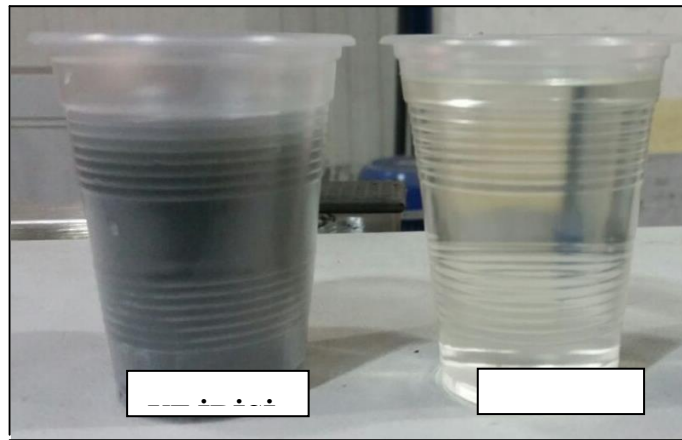
4.1 Ultrafiltrasyon(UF) Pilot Ünitesi Geri Kazanım Çalışmaları

UF pilot ünitesi, NF pilot ünitesine giren atıksuların filtre edilerek filtrelerin hızlı tıkanmasını engellemek amacı ile kullanılmıştır. Kostik durulama suları önce ultrafiltrasyon ünitesinden geçirilerek içindeki askıda katı maddeler tutulmuş ve daha sonra nanofiltrasyon ünitesinden geçirilmiştir. Ayrıca NF ünitesi ile geri kazanılan Mat Durulama Banyosu atıksuları AKD ünitesinde anyonik filtrelerin geri yıkanmasında da kullanılmıştır. Mat durulama atıksularının UF ünitesinden geçirilmesi çalışmasındaki ünite giriş ve çıkış değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2:Mat(Kostik) Durulama Atıksuları UF Pilot Ünitesi Çalışma Verileri

Kıstaslar	Değer
Sistem Giriş Suyu Debisi, L/saat	500
Ürün Suyu Debisi, L/saat	400
Atıksu Debisi, L/saat	100
Giriş Basıncı, bar	4,4
Çıkış Basıncı, bar	4,2
Giriş Sıcaklığı, °C	21
Çıkış Sıcaklığı, °C	21-22

UF ünitesinden geçen mat durulama atıksularının giriş ve çıkış resmi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



UF Giriş Atıksuyu UF Çıkış Geri Kazanım

Şekil 4.1:UF Pilot Ünitesi Giriş Ve Çıkış Numune Resmi

Yapılan UF çalışması sonucunda iletkenlik, pH, kostiklik derecesi ve alüminyum miktarlarında bir değişiklik gözlemlenmemiş, renk ve partikül giderimi elde edildiği görülmüştür. UF ile AKM %99 oranında giderilmiştir. UF ünitesine giren 500 litre numunenin 100 litresi geri kazanılamayıp 400 litresi geri kazanılmasıyla atıksu geri kazanım veriminin %80 olduğu tespit edilmiştir.

UF ünitesi NF ünitesi öncesi ön filtrasyon için kullanılarak NF membranlarının korunması amaçlanmıştır. UF membranı PVDF malzemeden imal edilmiş olup kimyasallara karşı dayanıklıdır.

4.2 Mat Durulama Atıksularında NF Pilot Ünitesi İle İletkenlik Giderimi, Kostik Ve Alüminyum Geri Kazanımı

UF ünitesinden geçen mat(kostik) durulama atıksuları için 120 L/h kapasiteli NF Ünitesi'nde üç farklı membran(NFa=KOCH SEL RO34, NFb=AMS B4022 4040, NFc=FILMTEC NF 270-40) kullanılarak iletkenlik giderim, kostik ve alüminyum geri kazanımı için çalışmaları yapılmıştır.

120 L/h kapasiteli NF Pilot Ünitesi'nde kullanılan 3 farklı membran ile yapılan çalışmalara ait elde edilen sonuç değerleri Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

KOCH SELRO34 Membran ile yapılan uygulama sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3: KOCH SELRO34 Membran İle Mat Durulama Atıksularının Geri Kazanım Tablosu

Kıstaslar	Ünite Giriş 1	Ünite Çıkış NF 1	Ünite Giriş 2	Ünite Çıkış NF 2	Ünite Giriş 3	Ünite Çıkış NF 3
Basıncı(bar)	40	39,7	40	39,8	40	39,8
İletkenlik(μ S/cm)	19.100	2.250	22.350	5.833	26.380	8.453
İletkenlik Giderim Verimi (%)	-	88,2	-	73,9	-	67,9
Kostik(g/L)	3,2	0,26	3,3	0,68	4,1	0,48
Kostik Geri Kazanım Verimi (%)	-	91,2	-	79,3	-	88,3
Alüminyum(g/L)	9,6	0,84	9,9	1,38	10,2	0,99
Alüminyum Geri Kazanım Verimi (%)	-	91,3	-	86,1	-	90,2

Farklı zamanlardaki banyo içeriklerinden alınan numunelerle KOCH SELRO34 Membran kullanılarak yapılan geri kazanım çalışmasında Çizelge 4.3'e göre; üniteye giren 19.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik değerine sahip atıksular ünite çıkışındaki 2.250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik değerine düşürülerek %88,2'lik verim ile geri kazanılmaktadır. Üniteye 3,2 g/L kostik değerinde giren atıksuların ünite çıkışında 0,26 g/L kostik değerine düşürülerek %91,2'lik verim ile geri kazanılmaktadır. Üniteye 9,6 g/L alüminyum değerinde giren atıksuların ünite çıkışında 0,84 g/L alüminyum değerine düşürülerek %91,3 verim ile geri kazanılarak atıksudan uzaklaştırılmaktadır.

AMS B4022 4040 Membran ile yapılan uygulama sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4: AMS B4022 4040 Membran İle Mat Durulama Atıksularının Geri Kazanım Tablosu

Kıstaslar	Ünite Giriş 1	Ünite Çıkış NF 1	Ünite Giriş 2	Ünite Çıkış NF 2	Ünite Giriş 3	Ünite Çıkış NF 3
Basıncı(bar)	40	39,7	40	39,7	40	39,8
İletkenlik($\mu\text{S}/\text{cm}$)	37.000	21.600	41.400	28.000	45.100	28.228
İletkenlik Giderim Verimi(%)	-	41,62	-	32,36	-	37,41
Kostik(g/L)	7	4,75	7,8	5,51	8,4	6,6
Kostik Geri Kazanım Verimi (%)	-	32,1	-	29,3	-	30,4
Alüminyum(g/L)	10,2	4,83	10,9	5,48	11,4	5,68
Alüminyum Geri Kazanım Verimi (%)	-	52,7	-	49,7	-	50,2

Farklı zamanlardaki banyo içeriklerinden alınan numunelerle AMS B4022 4040 Membran kullanılarak yapılan geri kazanım çalışmasında Çizelge 4.4'e göre; üniteye giren 37.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik değerine sahip atıksular ünite çıkışındaki 21.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik değerine düşürülerek %41,62'lik verim ile geri kazanılmaktadır. Üniteye 7 g/L kostik değerinde giren atıksular ünite çıkışında 4,75 g/L kostik değerine düşürülerek %32,1'lik verim ile geri kazanılmaktadır. Üniteye 10,2 g/L alüminyum değerinde giren atıksuların ünite çıkışında 4,83 g/L alüminyum değerine düşürülerek %52,7 verim ile geri kazanılarak atıksudan uzaklaştırılmaktadır.

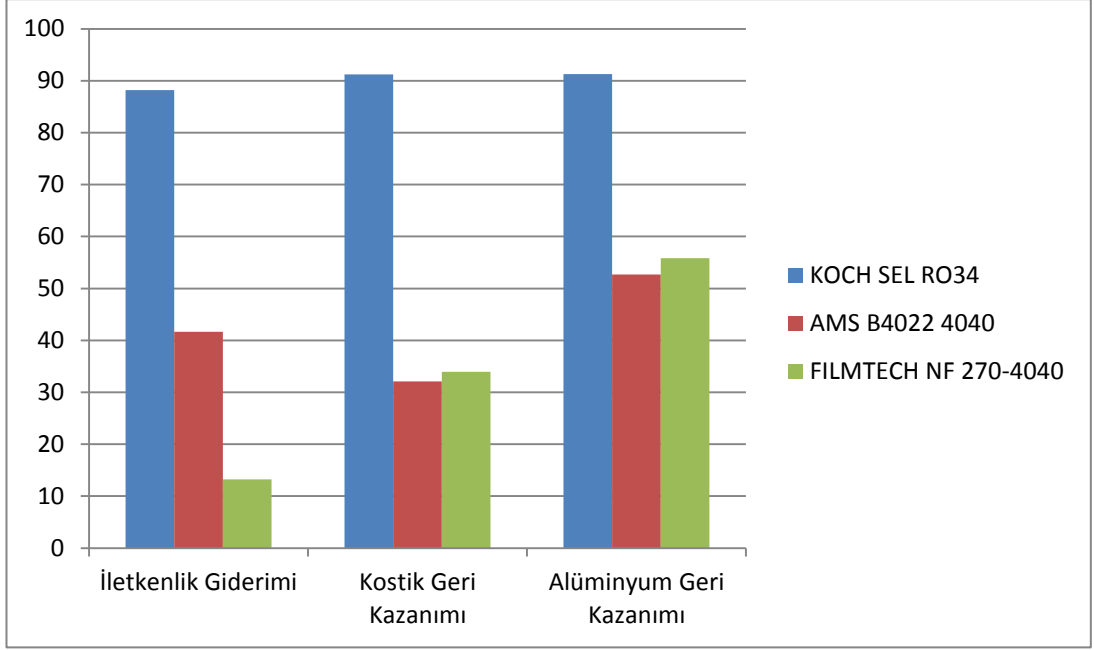
FILMTEC NF 270-4040 Membran ile yapılan uygulama sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5: FILMTEC NF 270-4040 Membran İle Mat Durulama Atıksularının Geri Kazanım Tablosu

Kıstaslar	Ünite Giriş 1	Ünite Çıkış NF 1	Ünite Giriş 2	Ünite Çıkış NF 2	Ünite Giriş 3	Ünite Çıkış NF 3
Basıncı(bar)	40	39,7	40	39,8	40	39,8
İletkenlik(μ S/cm)	47.800	46.860	45.200	42.300	41.500	36.020
İletkenlik Giderim Verimi(%)	-	1,97	-	6,41	-	13,2
Kostik(g/L)	9,3	5,97	8,4	5,65	7,8	5,15
Kostik Geri Kazanım Verimi (%)	-	35,8	-	32,7	-	33,92
Alüminyum(g/L)	11,6	4,88	11,4	5,11	10,9	4,82
Alüminyum Geri Kazanım Verimi (%)	-	57,9	-	55,2	-	55,8

Farklı zamanlardaki banyo içeriklerinden alınan numunelerle FILMTEC NF 270-4040 Membran kullanılarak yapılan geri kazanım çalışmasında Çizelge 4.5'e göre; üniteye giren 41.500 μ S/cm iletkenlik değerine sahip atıksular ünite çıkışındaki 36.020 μ S/cm iletkenlik değerine düşürülerek %13,2'lik verim ile geri kazanılmaktadır. Üniteye 7,8 g/L kostik değerinde giren atıksuların ünite çıkışında 5,15 g/L kostik değerine düşürülerek %33,92'lik verim ile geri kazanılmaktadır. Üniteye 10,9 g/L alüminyum değerinde giren atıksular ünite çıkışında 4,82 g/L alüminyum değerine düşürülerek %55,8 verim ile geri kazanılarak atıksudan uzaklaştırılmaktadır.

Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi mat durulama atıksularından iletkenlik, kostik ve alüminyum gideriminde en iyi sonucun KOCH SELRO34 membran kullanımı ile gerçekleştirildiği görülmektedir. 3 farklı membran kullanılarak mat(kostik) durulama banyosu atıksularından Pilot NF Ünitesi kullanılarak edilen iletkenlik giderim, kostik ve alüminyum geri kazanım verimleri Şekil 4.2'de verilmiştir.

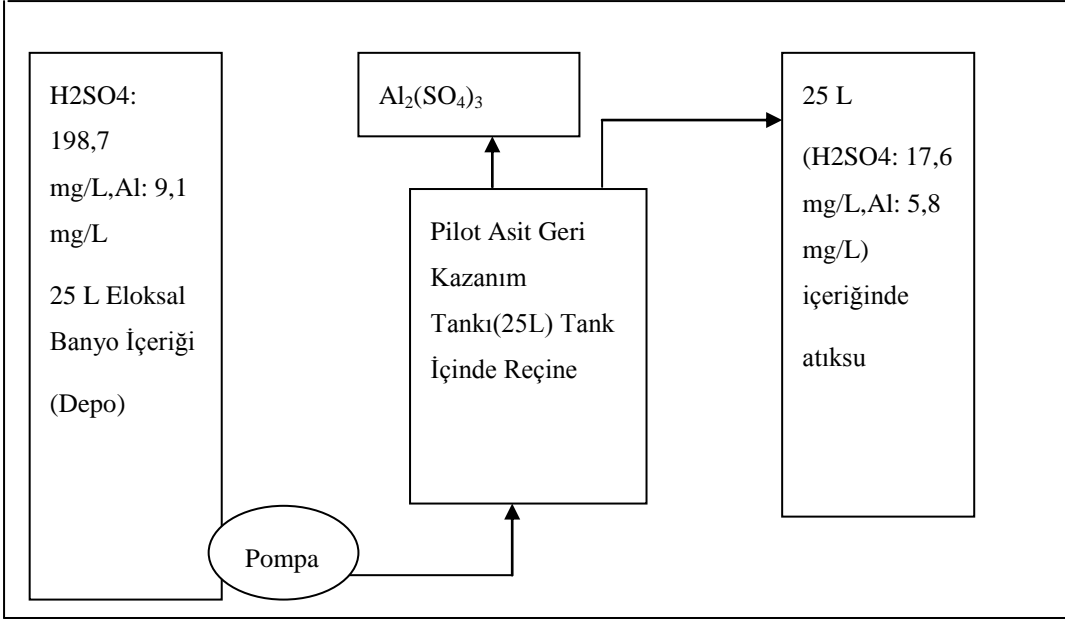


Şekil 4.2: Mat Durulama Atıksuları İle NF Pilot Ünitesinde Farklı Membranlar İle Yapılan Çalışmalara Ait Karşılaştırma

Şekil 4.2'ye göre enyüksek iletkenlik giderim verimi %88,2 ile, kostik geri kazanım verimi %91,2 ile, alüminyum geri kazanım verimi %91,3 ile KOCH MPS SELRO34 Membran kullanımı ile gerçekleştiği görülmektedir. Geri kazanım suyu hem mat durulama banyosuna geri devrettirilecek hem de AKD ünitelerinde anyonik filtrelerin rejenerasyonu için kullanılabilir.

4.3 Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Pilot Ünitesi İle Eloksal Banyosundan Asit Geri Kazanımı

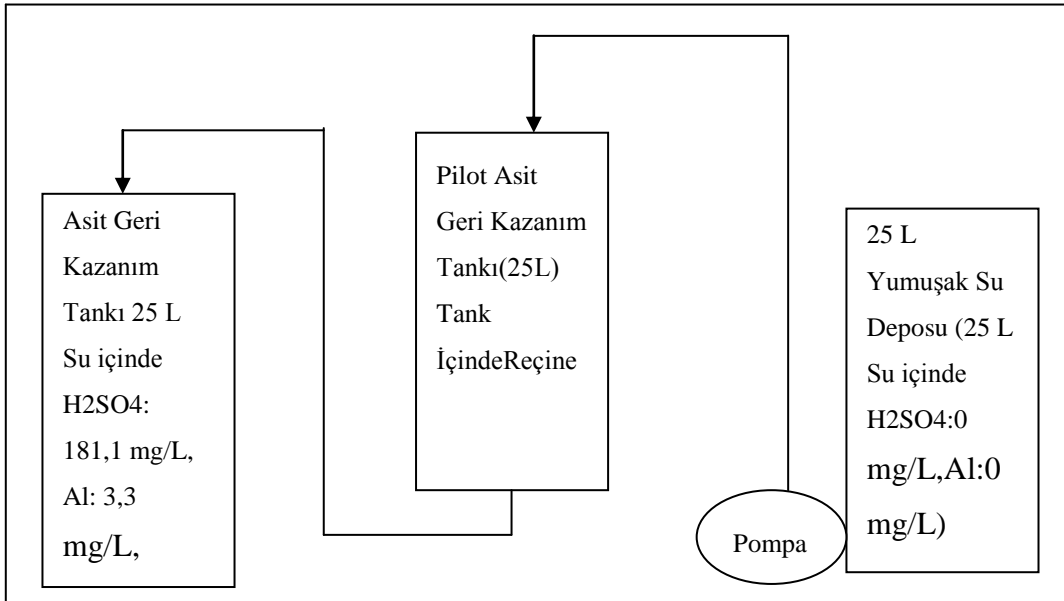
25 L hacimli 500 L/h üretim kapasitesine sahip Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Pilot Ünitesi ile yapılan uygulamaya ait akış şeması Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3:Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Pilot Ünitesi Ugulama Akış Şeması

Şekil 4.3'e göre; eloksal durulama banyolarından eloksal deposuna atık asit alınır. Eloksal deposundan atık asit(banyo çözeltisi) bir pompa yardımı ile asit geri kazanım tankına basılır. Bu tanktaki asit geri kazanım reçinesi H_2SO_4 ve Alüminyum'un bir kısmını üzerinde tutar. Tank, içinde asit konsantrasyonu azalmış $Al_2(SO_4)_3$ üniteden yan ürün olarak atılır.

Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Pilot Ünitesi Geri Yıkama Uygulama Akış Şeması Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Pilot Ünitesi Geri Yıkama Uygulama Akış Şeması

Şekil 4.4'teki akış şemasında görüldüğü üzere, reçine üzerine tutulan H₂SO₄ ve alüminyum, reçinenin üzerinden yumuşak su geçirilmesi(pompa ile yumuşak su deposundan yumuştırılmış suyun reçine tankına pompalanması ile) ile suya geçer ve geri kazanılmış H₂SO₄ depolama tankında biriktirilir. Bu depodan da eloksal banyolarına kullanım için geri gönderilir.

25 L hacimli 500 L/h üretim kapasitesine sahip Pilot AİD Ünitesi ile asit ve alüminyum geri kazanımı yapılmıştır. Bunun için; eloksal banyosundan alınan numunelerde AİD pilot ünitesinde 2 farklı reçine (RFa=Purolite A870 ve RFb=Selion AR850) ile asit geri kazanımı çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6:Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Pilot Ünitesinde Çalışılan Reçinelerin Karşılaştırma Tablosu

Reçine Modeli	AİD Ünite H ₂ SO ₄ Giriş Değeri(g/L)	AİD Ünite H ₂ SO ₄ Çıkış Değeri(g/L)	H ₂ SO ₄ Geri Kazanım Verimi (%)	AİD Ünite Al Giriş Değeri (g/L)	AİD Ünite Al Çıkış Değeri (g/L)	Al Geri Kazanım Verimi (%)
Purolite A870	198,7	17,6	91,1	9,1	3,3	63,7
Selion AR850	198,7	15,0	77,4	9,1	3,8	58,2

Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi reçinelerin her ikisi de asit geri kazanımı için kullanılabilir. Fakat Purolite A870 reçinenin asit geri kazanım verimi(%91,1) Selion AR850 reçinenin asit geri kazanım verimine(%77,4) göre %13,7 daha yüksektir. Aynı şekilde reçinelerin alüminyum geri kazanım verimleri incelendiğinde, Purolite A870 reçinenin alüminyum geri kazanım veriminin(%63,7) Selion AR850 reçinenin alüminyum geri kazanım verimine(%58,2) göre %5,5 daha fazla olduğu görülmektedir. Sonuç olarak her iki reçinede asit geri kazanımı için kullanılabilir olup Purolite A870 reçinenin geri kazanım verimi daha yüksektir. Elokmal banyosundan geri kazanılan Sülfürik Asit eloksal banyosunda hammadde olarak üniteden yan ürün olarak atılan Al₂(SO₄)₃ arıtma tesislerinde koagülant olarak kullanılabilir.

4.4 Eloksal Durulama Atıksularında NF İle İletkenlik Giderimi, Asit ve Alüminyum Geri Kazanımı

Eloksal durulama atıksuları üç farklı membran(NFa=KOCH SEL RO34, NFd=AMS S3012 4040, NFc=FILMTEC NF 270-40) kullanılarak 120 L/h kapasiteli Pilot NF Ünitesi ile iletkenlik giderimi, asit ve alüminyum geri kazanım çalışmaları yapılmıştır.

NF Pilot Ünitesi'nde kullanılan 3 farklı membran ile yapılan çalışmalara ait elde edilen sonuç değerleri Çizelge 4.7, Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

Eloksal durulama sularının NF pilot ünitesinde KOCH MPS SELRO34 membran ile yapılan çalışmaya ait bilgiler Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7:KOCH MPS SELRO34 Membran İle Eloksal Durulama Banyosu Atıksularının NF Pilot Ünitesinde Giriş-Çıkış Çalışma Değerleri

Kıstaslar	Ünite Giriş 1	Ünite Çıkış NF 1	Ünite Giriş 2	Ünite Çıkış NF 2
Basıncı(bar)	39,4	39,2	24,5	24,2
İletkenlik(μ S/cm)	43.800	26.500	43.800	28.200
İletkenlik Giderim Verimi(%)	-	39,5	-	35,6
Asit(g/L)	10,65	2,86	10,65	3,75
Asit Geri Kazanım Verimi (%)	-	73,1	-	64,7
Alüminyum(g/L)	0,9	0,52	0,9	0,52
Alüminyum Geri Kazanım Verimi (%)	-	42,2	-	42,2

Farklı zamanlardaki banyo içeriklerinden alınan numunelerle KOCH MPS SELRO34 Membran kullanılarak yapılan geri kazanım çalışmasında Çizelge 4.7'ye göre; en yüksek iletkenlik giderimveriminin üniteye giren 43.800 μ S/cm iletkenlik değerinde giren atıksuların ünite çıkışında 26.500 μ S/cm iletkenlik değerine düşürülerek %39,5 ile, en yüksek asit geri kazanım veriminin üniteye 10,65 g/L asitlik değerinde giren atıksuların ünite çıkışında 2,86 g/L asitlik değerine düşürülerek %73.1 ile, en yüksek alüminyum geri kazanım veriminin üniteye 0,9 g/L alüminyum değerinde giren atıksuların ünite çıkışında 0,52 g/L alüminyum değerine düşürülerek %42,2 ile gerçekleştiği görülmektedir.

Eloksal durulama sularının NF pilot ünitesinde AMS S3012 4040 membran ile yapılan çalışmaya ait bilgiler Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8:AMS S3012 4040 Membran İle Eloksal Durulama Banyosu Atıksularının NF Pilot Ünitesinde Giriş-Çıkış Çalışma Değerleri

Kıstaslar	Ünite Giriş 1	Ünite Çıkış NF 1	Ünite Giriş 2	Ünite Çıkış NF 2	Ünite Giriş 3	Ünite Çıkış NF 3
Basıncı(bar)	13,85	13,72	13,86	13,73	13,85	13,72
İletkenlik(μ S/cm)	51.700	43.400	59.200	53.050	62.200	4.850
İletkenlik Giderim Verimi(%)	-	16,1	-	10,4	-	10,4
Asit(g/L)	15,2	12,95	21,7	11,1	22,97	20,01
Asit Geri Kazanım Verimi (%)	-	14,8	-	12,6	-	12,9
Alüminyum(g/L)	1,3	0,97	1,4	1,11	1,6	1,3
Alüminyum Geri Kazanım Verimi (%)	-	25,3	-	20,6	-	18,8

Farklı zamanlardaki banyo içeriklerinden alınan numunelerle AMS S3012 4040 Membran kullanılarak yapılan geri kazanım çalışmasında Çizelge 4.8’e göre; en yüksek iletkenlik giderimveriminin üniteye giren 51.700 μ S/cm iletkenlik değerinde giren atıksuların ünite çıkışında 43.400 μ S/cm iletkenlik değerine düşürülerek %16,1 ile, en yüksek asit geri kazanım veriminin üniteye 15,2 g/L asitlik değerinde giren atıksuların ünite çıkışında 12,95 g/L asitlik değerine düşürülerek %14,8 ile, en yüksek alüminyum geri kazanım veriminin üniteye 1,3 g/L alüminyum değerinde giren atıksuların ünite çıkışında 0,97 g/L alüminyum değerine düşürülerek %25,3 ile gerçekleştiği görülmektedir.

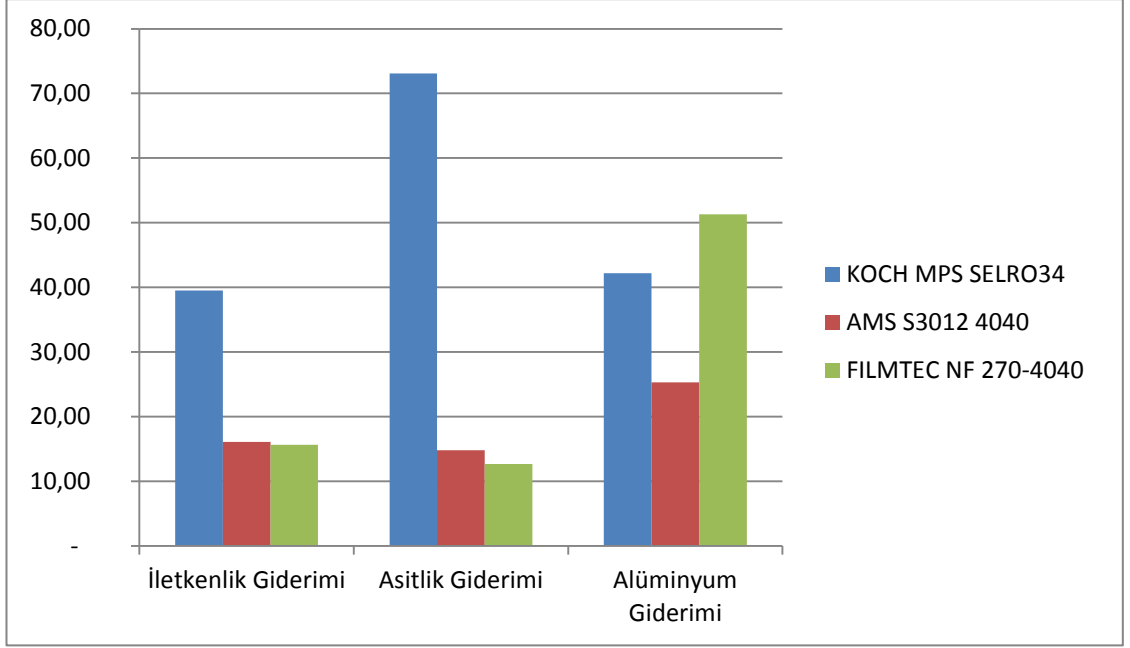
Eloksal durulama banyosunda NF pilot ünitesinde FILMTEC NF 270-40 membran ile yapılan çalışmaya ait bilgiler Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9: FILMTEC NF 270-4040 Membran İle Eloksal Durulama Banyosu Atıksularının NF Pilot Ünitesinde Giriş-Çıkış Çalışma Değerleri

Kıstaslar	Ünite Giriş 1	Ünite Çıkış NF 1	Ünite Giriş 2	Ünite Çıkış NF 2	Ünite Giriş 3	Ünite Çıkış NF 3
Basıncı(bar)	38,4	38,1	18,4	18,1	14,6	14,3
İletkenlik(μ S/cm)	52.100	47.000	56.100	49.900	49.200	41.500
İletkenlik Giderim Verimi(%)	-	9,79	-	11,05	-	15,65
Asit(g/L)	15,7	14,32	16,2	14,48	14,5	12,66
Asit Geri Kazanım Verimi (%)	-	8,78	-	10,6	-	12,7
Alüminyum(g/L)	1,4	0,88	1,5	0,89	1,15	0,56
Alüminyum Geri Kazanım Verimi (%)	-	37,14	-	%40,66	-	51,3

Farklı zamanlardaki banyo içeriklerinden alınan numunelerle FILMTEC NF 270-4040 Membran kullanılarak yapılan geri kazanım çalışmasında Çizelge 4.9'a göre; en yüksek iletkenlik giderimveriminin üniteye giren 49.200 μ S/cm iletkenlik değerinde giren atıksuların ünite çıkışında 41.500 μ S/cm iletkenlik değerine düşürülerek %15,65 ile, en yüksek asit geri kazanım veriminin üniteye 14,5 g/L asitlik değerinde giren atıksuların ünite çıkışında 12,66 g/L asitlik değerine düşürülerek %12,7 ile, en yüksek alüminyum geri kazanım veriminin üniteye 1,15 g/L alüminyum değerinde giren atıksuların ünite çıkışında 0,56 g/L alüminyum değerine düşürülerek %51,3 ile gerçekleştiği görülmektedir.

3 farklı membran kullanılarak Çizelge 4.7, Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9 da elde edilen bilgilere göre iletkenlik giderim, asit ve alüminyum geri kazanım verimleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



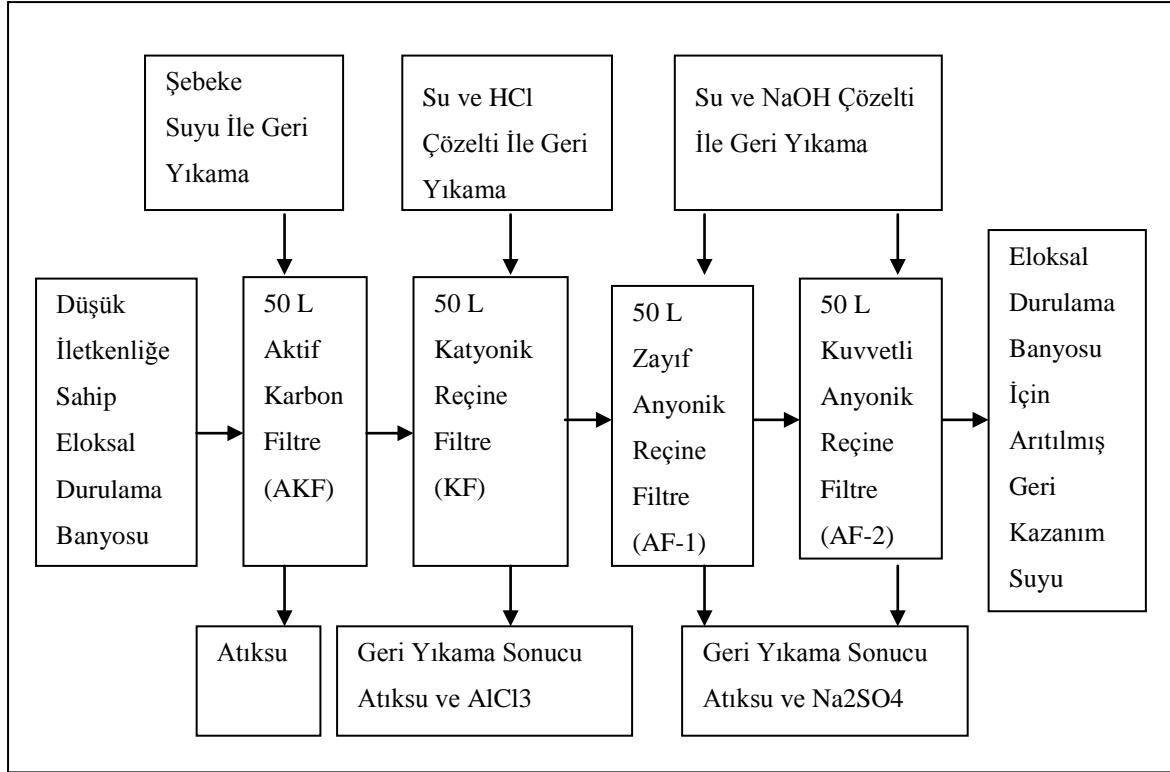
Şekil 4.5:Eloksal Durulama Atıksuları İçin 3 Farklı NF Membranının Performans Karşılaştırmaları Grafiği

Şekil 4.5'e göre en yüksek iletkenlik giderim verimi %39,5 ile KOCH MPS SELRO 34 Membran ile, asit geri kazanım verimi %73,1 ile yine KOCH MPS SELRO34 Membran ile, alüminyum geri kazanım verimi %51,3 ile FILMTEC NF 270-4040 Membran ile gerçekleştiği görülmektedir. Geri kazanım bilgilerine göre Pilot NF ünitesinden çıkan ürün suyunun kalitesi eloksal durulama banyosunda kullanılabilir kalitede olmadığı için eloksal durulama atıksularının geri kazanımı için NF ünitesinin verimli olmadığı tespit edilmiştir.

4.5 AKD Pilot Ünitesi İle Eloksal Durulama Banyosu Atıksularından İletkenlik Giderimi İle Atıksu Geri Kazanımı

Eloksal durulama banyosundan iletkenlik giderimi yapılarak atıksu geri kazanımı için bu banyodan alınan numuneler ile AKD pilot ünitesinde farklı zamanlarda değişik denemeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan 3 denemeye ait sonuçlar aşağıdadır;

Deneme 1: Eloksal durulama atıksuları AKF, KF, AF-1 ve AF-2 'den geçirilmiş ve rejenerasyon HCl ve NaOH ile yapılmıştır. AKD pilot ünitesi 450 L/h debide Şekil 4.6'ya göre çalıştırılmıştır.



Şekil 4.6:Eloksal Durulama Banyosu Atıksuları İçin AKD Pilot Ünitesinde Yapılan Çalışmaya Ait Akım Şeması(Deneme 1)

Şekil 4.6'ya göre; düşük iletkenliğe sahip eloksal durulama banyosu atıksuları önce aktif karbon filtrede sonrada katyonik ve anyonik reçine filtrelerde geri kazanım işlemine tabi tutulur. Anyonik Filtre'nin kostik ile rejenerasyonundan atıksu ve yan ürün olarak sodyum sülfat, katyonik filtrenin hidroklorik asit ile rejenerasyonundan(geri yıkamadan) atıksu ve yan ürün olarak alüminyum klorür, aktif karbon filtrenin şebeke suyu ile rejenerasyonundan atıksu oluşmaktadır.

Şekil 4.6'ya göre AKD Pilot Ünitesi ile iletkenlik giderim bilgileri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

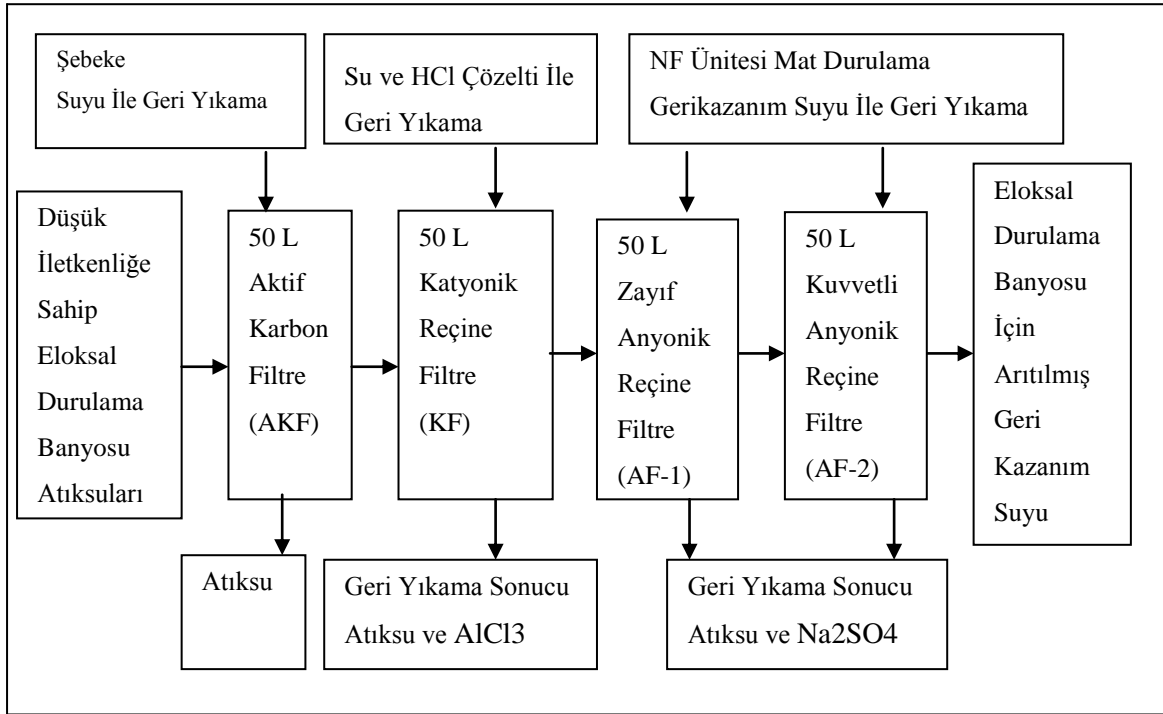
Çizelge 4.10: Eloksal Durulama Atıksularının AKD Ünitesi İletkenlik Giderimi Deneme 1 Tablosu

AKD Ünitesi Numune Miktarı (L)	AKD Ünite Giriş İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	AKD Ünite Çıkış İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Giderim Verimi(%)
565	2.300	4	99,8
1.000	5.000	5	99,9
1.695	8.400	13	99,8
2.000	11.400	17	99,8
2.250	11.400	22	99,8
2.450	13.200	105	99,2
2.700	13.200	434	95,7
2.750	13.200	490	96,3
2.800	17.600	570	96,7
2.875	17.600	790	95,5
2.950	17.600	940	94,6
3.000	17.600	1.200	93,2
3.050	17.600	1.810	90,7
3.100	17.600	2.550	89,5
3.150	17.600	2.760	89,3
3.300	17.600	2.900	83,5

Çizelge 4.10'a göre; AKD Ünitesi ile Eloksal Durulama Banyoları'ndan iletkenlik giderim veriminin %83,5 ile %99,9 arasında olduğu tespit edilmiştir(eloksal durulama banyosu şebeke suyu ile dolu iken yaklaşık 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik değerinde iken banyoda durulama işlemi yapılmaya başlandıktan sonra kirlenmeye başlanan banyodan pilot AKD Ünitesi'ne numune basılmaya başlanmış ve üniteye üzerinden geçmiş olan 1.000 litre atıksudaki(kirlenmeye başlanan banyonun) iletkenlik değeri 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve üniteden çıkan geri kazanım suyunun iletkenlik değeri 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ölçülmesi nedeniyle geri kazanım veriminin %99,9 olduğu, ünite üzerinden geçirilmiş olan atıksun 3.300 litre miktarındaki iletkenlik değeri(kirlenmeye devam eden banyonun) 17.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve üniteden çıkan geri kazanım suyunun iletkenlik

değeri 2.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür. Bu durumda %83,5 verim ile atıksu geri kazanımının yapıldığı belirlenmiştir).

Deneme 2:Düşük kirliliğe-iletkenliğe sahip eloksal durulama atıksularıAKF, KF, AF-1 ve AF-2 'den geçirilmiş ve kirlendikten sonra, anyonik filtreler NaOH yerine UF ve NF ünitelerinden geçirilen mat durulama atıksuları ile rejenerasyon yapılmıştır. Bu çalışmada ayrıca AF-1 ve ünite çıkışını oluşturan AF-2 reçinelerin kirlenme koşulları incelenmiştir. AKD pilot ünitesi 450 L/h debide çalıştırılmıştır. Sistem akış şeması Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7:Elokسال Durulama Banyosu Atıksuları İçin AKD Pilot Ünitesinde Yapılan Çalışmaya Ait Akım Şeması(Deneme 2)

Şekil 4.7'ye göre; düşük iletkenliğe sahip eloksal durulama banyosu atıksuları önce aktif karbon filtrede sonrada katyonik ve anyonik reçine filtrelerde geri kazanım işlemine tabi tutulur. Anyonik Filtre'nin mat durulama geri kazanım suları ile rejenerasyonundan atıksu ve yan ürün olarak sodyum sülfat, katyonik filtrenin hidroklorik asit ile rejenerasyonundan(geri yıkamadan) atıksu ve yan ürün olarak alüminyum klorür, aktif karbon filtrenin şebeke suyu ile rejenerasyonundan atıksu oluşmaktadır.

Şekil 4.7'ye göre yapılan çalışmaya ait bilgiler Çizelge 4.11'de verilmiştir.

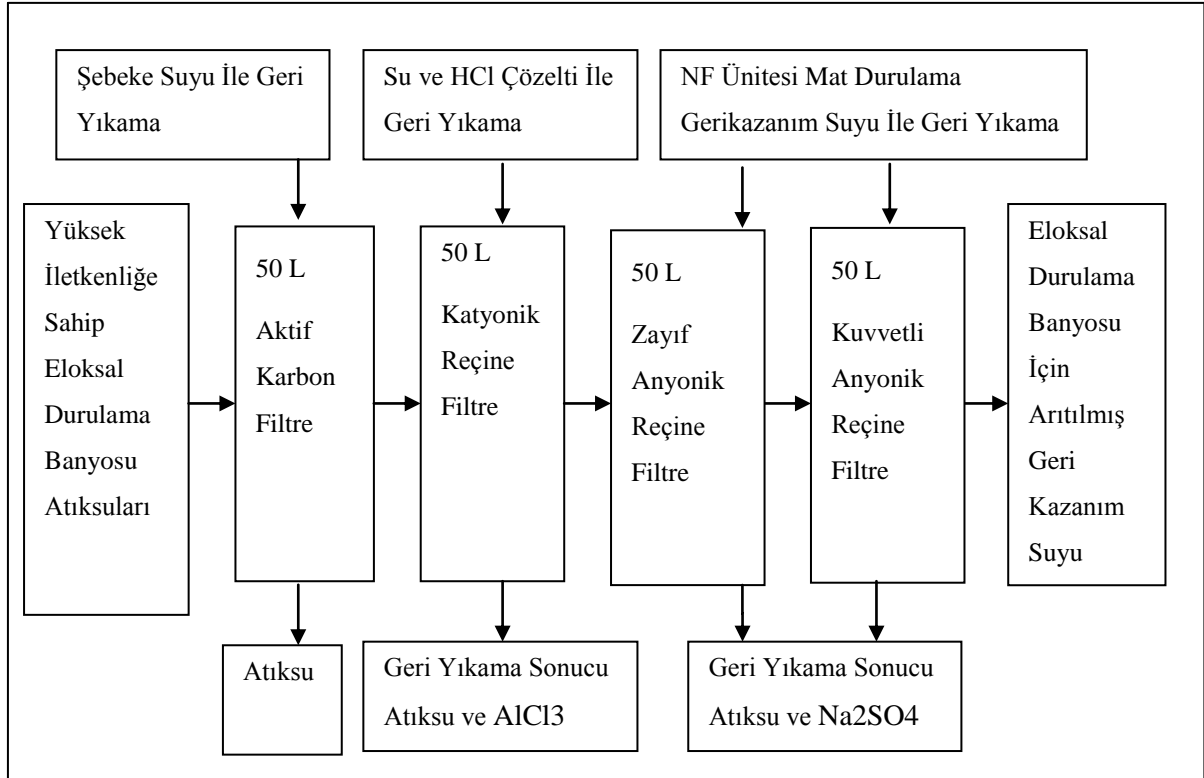
Çizelge 4.11: Eloksal Durulama Atıksularının AKD Ünitesi İletkenlik Giderimi Deneme 2 Tablosu

AKD Ünite Numune Miktarı (L)	AKD Ünite Giriş İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	AKD Ünite AF-1 Çıkış İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	AKD Ünite AF-1 Giderim Verimi(%)	AKD Ünite Giriş İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	AKD Ünite Çıkış (AF-2) İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	AKD Ünite (AF-2) Giderim Verimi(%)
450	1.200	4	99,7	1.200	4	99,7
700	1.200	10	99,1	1.200	9	99,2
800	3.240	20	99,4	3.240	18	99,4
900	3.240	30	99,1	3.240	25	99,2
1.100	6.300	40	99,4	6.300	32	99,5
1.350	6.300	46	99,3	6.300	39	99,4
1.500	8.060	52	94,4	8.060	44	94,4
2.000	10.320	50	99,5	10.320	50	99,5
2.500	10.320	54	99,5	10.320	50	99,5
2.750	10.320	50	99,5	10.320	50	99,5
3.000	10.320	300	97,1	10.320	48	99,5
3.250	10.320	480	95,3	10.320	52	99,5
3.500	10.320	1.200	88,4	10.320	54	99,5
3.750	10.320	2.000	80,6	10.320	50	99,5
4.000	10.320	2.750	73,4	10.320	49	99,5
4.250	10.320	3.900	62,2	10.320	50	99,5
5.000				10.900	52	99,5
5.250				10.900	220	98,0
5.000				11.280	540	95,2
5.500				11.280	570	94,9
6.000				11.280	1.300	88,5
6.250				11.280	580	94,9
6.500				11.280	580	94,9
6.750				12.350	600	95,1
7.000				12.350	1.500	87,9
7.250				12.350	1.890	84,7
7.500				12.350	3.500	71,7

Çizelge 4.11'e göre; Deneme 2 ile AKD Ünitesi ile Eloksal Durulama Banyoları'ndan iletkenlik giderim veriminin %71,7 ile %99,7 arasında olduğu tespit edilmiştir. AKD Ünite'sinin Zayıf Anyonik Reçine(AF-1) ile banyo

başlangıç şartlarından 4.250 litre banyo miktarında oluşan ve ünite üzerinden geçirilen atıksuyun 10.320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik değeri 3.900'e düşürülerek %62,2 verim ile atıksu geri kazanımı), bu üniteden sonra gelen ve AKD ünite çıkışını oluşturan Kuvvetli Anyonik Reçine(AF-2) ile ünite üzerinden geçirilen 7.500 litre atıksudaki 12.350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik değeri 3.500'e düşürülerek %71,7 verim ile atıksu geri kazanımının yapıldığı tespit edilmiştir.

Deneme 3:Yüksek kirliliğe-iletkenliğe sahip eloksallı durulama atıksuları AKF, KF, AF-1, AF-2 'den geçirilmiş ve kirlendikten sonra Katyonik Filtre HCl ile Anyonik Filtre NaOH yerine de UF ve NF ünitelerinden geçirilen mat durulama atıksuları rejenerasyon yapılmıştır. Bu çalışmada yüksek iletkenlikte eloksallı durulama atıksuyu verilerek AKD pilot ünitesi 450 L/h debide çalıştırılmıştır. Sistem akış şeması Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8:Eloksallı Durulama Banyosu Atıksuları İçin AKD Pilot Ünitesinde Yapılan Çalışmaya Ait Akım Şeması(Deneme 3)

Şekil 4.8'e göre; yüksek iletkenliğe sahip eloksallı durulama banyosu atıksuları önce aktif karbon filtrede sonrada katyonik ve anyonik reçine filtrelerde geri kazanım işlemine tabi tutulur. Anyonik Filtre'nin mat durulama geri kazanım suları ile rejenerasyonundan atıksu ve yan ürün olarak sodyum sülfat, katyonik

filtrenin hidroklorik asit ile rejenerasyonundan(geri yıkamadan) atıksu ve yan ürün olarak alüminyum klorür, aktif karbon filtrenin şebeke suyu ile rejenerasyonundan atıksu oluşmaktadır.

Şekil 4.8'e göre yapılan çalışmaya ait bilgiler Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12:Eloksal Durulama Atıksularının AKD Ünitesi İletkenlik Giderimi Deneme 3 Tablosu

AKD Ünite Numune Miktarı (L)	AKD Ünite Giriş İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	AKD Ünite Çıkış İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	AKD Ünite Giderim Verimi(%)
100	51.400	10	99,9
150	51.400	40	99,9
200	51.400	60	99,9
250	51.400	115	99,8
300	51.400	200	99,6
350	51.400	320	99,4
400	51.400	450	99,1
450	51.400	1.236	97,5
500	51.400	4.000	92,2

Çizelge 4.12'ye göre; Deneme 3 ile AKD Ünitesi ile yüksek iletkenliğe sahip Eloksal Durulama Banyoları'ndan iletkenlik giderim veriminin %92,2 ile %99,9 arasında olduğu tespit edilmiştir. Ünite üzerinden geçirilen 500 litre atıksudaki 51.400 $\mu\text{S/cm}$ iletkenlik değeri 4.000'e düşürülerek %92,2 verim ile atıksu geri kazanımının yapıldığı tespit edilmiştir.

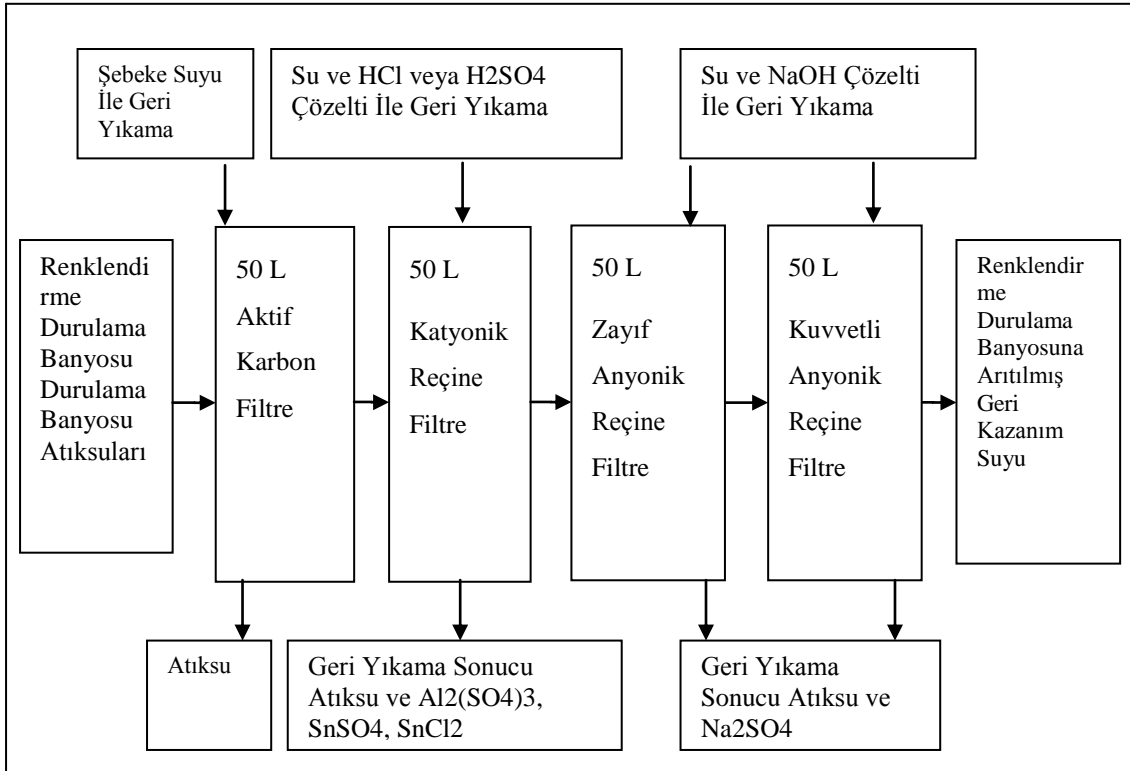
Yapılan çalışmalardaki iletkenlik giderim verimindeki azalmanın nedeninin reçinenin kapasitesinin dolmasına bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

Eloksal durulama atıksuları için, Anyonik-Katyonik Demineralize(AKD) pilot ünitesinde kuvvetli anyonik reçine ile zayıf anyonik reçine denemelerinde en iyi sonucun zayıf anyonik reçinede alındığı tespit edilmiştir. Eloksal durulama atıksuları, zayıf anyonik filtreden geçirilerek 9 saat boyunca çalıştırılmıştır. Ancak aynı su ile kuvvetli anyonik filtrede bu süre yaklaşık 2-3 saat olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kuvvetli anyonik filtre çıkışında suyun pH değerleri 6-11 arasında değişkenlik göstermiştir. Bu pH değerleri istenilmeyen bir sonuç olmasının yanında filtrenin servis süresinin daha az olması nedeniyle kuvvetli

anyonik reçinenin tercih edilmemesini sağlamıştır. Bu nedenle reçineli sistemde zayıf anyonik filtre ile yapılan çalışmalar ön plana çıkmaktadır.

4.6 AKD Pilot Ünitesi İle Renklendirme Durulama Banyosu Atıksularından İletkenlik Giderimi Yapılarak Atıksu Geri Kazanımı

Renklendirme durulama banyosundaniletkenlik giderimi yapılarak atıksu geri kazanımı için bu banyodanalınan numuneler ile Şekil 4.9'a göre çalıştırılan AKD pilot ünitesinde çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 4.9: Renklendirme Durulama Banyosu Atıksuları AKD Pilot Ünite Akış Şeması

Çizelge 4.9'a göre; renklendirme durulama banyosu atıksuları önce aktif karbon filtrede sonrada katyonik ve anyonik reçine filtrelerde geri kazanım işlemine tabi tutulur. Anyonik Filtre'nin kostik ile rejenerasyonundan atıksu ve yan ürün olarak sodyum sülfat, katyonik filtrenin hidroklorik asit ile rejenerasyonundan atıksu ve kalay klorür, katyonik filtrenin sülfürik asit ile rejenerasyonundan atıksu ayrıca alüminyum sülfat ve kalay sülfat yan ürün olarak meydana gelmektedir. Aktif karbon filtrenin şebeke suyu ile rejenerasyonundan atıksu oluşmaktadır.

Renklendirme Durulama Banyosu Atıksuları AKD Pilot Ünite ile Şekil 4.9'a göre yapılan çalışmaya ait bilgiler Çizelge 4.13'te verilmiştir.

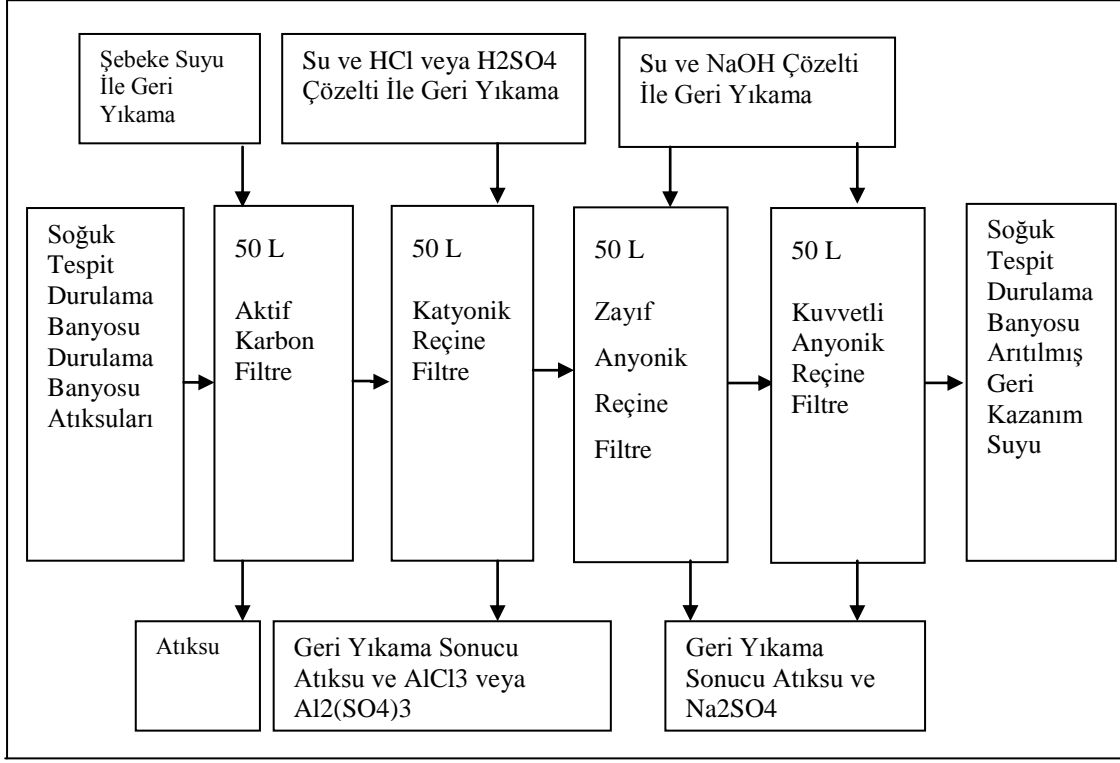
Çizelge 4.13:Renklendirme Durulama Atıksularının AKD Ünitesi İletkenlik Giderim Tablosu

AKD Ünite Numune Miktarı (L)	AKD Ünite Giriş İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	AKD Ünite Çıkış İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	AKD Ünite Giderim Verimi(%)
50	600	45	92,2
80	600	24	96,0
150	600	11	98,2
200	600	4	99,3
250	600	5	99,2
350	600	3	99,5
500	600	1	99,8

Çizelge 4.13'e göre; AKD Ünitesi ile Renklendirme Durulama Banyoları'ndan iletkenlik giderim veriminin %92,2 ile %99,8 arasında olduğu tespit edilmiştir. Ünite üzerinden geçirilen 500 litre atıksudaki 600 $\mu\text{S/cm}$ iletkenlik değeri 45'e düşürülerek %92,2 verim ile atıksu geri kazanımının yapıldığı tespit edilmiştir.

4.7 AKD Pilot Ünitesi İle Tespit Durulama Banyosu Atıksularından İletkenlik Giderimi Yapılarak Atıksu Geri Kazanım Çalışmaları

Tespit durulama banyosundan iletkenlik giderimi yapılarak atıksu geri kazanımı için bu banyodan alınan numuneler ile Şekil 4.10'a göre çalıştırılan AKD pilot ünitesinde farklı zamanlarda değişik denemeler yapılmıştır.



Şekil 4.10: Tespit Durulama Atıksuları AKD Pilot Ünitesi Akım Şeması

Çizelge 4.10'a göre; tespit durulama banyosu atıksuları önce aktif karbon filtrede sonrada katyonik ve anyonik reçine filtrelerde geri kazanım işlemine tabi tutulur. Anyonik Filtre'nin kostik ile rejenerasyonundan atıksu ve yan ürün olarak sodyum sülfat, katyonik filtrenin hidroklorik asit ile rejenerasyonundan atıksu ve alüminyum klorür, katyonik filtrenin sülfürik asit ile rejenerasyonundan atıksu ve alüminyum sülfat yan ürün olarak meydana gelmektedir. Aktif karbon filtrenin şebeke suyu ile rejenerasyonundan atıksu oluşmaktadır.

Tespit Durulama Banyosundan alınan numuneler ile Şekil 4.10'a göre iki çalışma(deneme) yapılmıştır. Deneme 1'e ait bilgiler Çizelge 4.14'te, Deneme 2'ye ait bilgiler Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.14:Tespit Durulama Atıksularının AKD Ünitesi İletkenlik Giderim Tablosu(Deneme 1)

AKD Ünite Numune Miktarı (L)	AKD Ünite Giriş İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	AKD Ünite Çıkış İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	AKD Ünite Giderim Verimi(%)
10	2.030	80	96,0
50	2.030	70	96,5
80	2.030	86	95,7
120	2.030	99	95,1
150	2.030	110	94,6
220	2.030	194	90,4
250	2.030	230	90,0
300	2.030	482	76,3
350	2.030	620	69,5
370	2.030	906	55,4
400	2.030	1.120	44,8
440	2.030	1.228	39,2
470	2.030	1.344	33,8
500	2.030	1.420	30

Çizelge 4.15:Tespit Durulama Atıksularının AKD Ünitesi İletkenlik Giderim Tablosu(Deneme 2)

Numune Miktarı (L)	Giriş İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Çıkış İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Giderim Verimi(%)
10	850	104	87,7
25	850	70	91,7
50	850	43	94,9
75	850	49	94,2
100	850	44	94,8
120	850	37	95,6
160	850	48	94,3
190	850	51	94,0
220	850	61	92,8
250	850	52	93,9
275	850	56	93,4
300	850	52	93,9
350	850	63	92,6
375	850	72	91,5
390	850	88	89,6
410	850	195	77,1
500	850	240	71,7
450	850	300	64,7
475	850	324	61,8
500	850	326	61,6

Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15'e göre değerlendirme yapıldığında; tespit durulama atıksuları AKD pilot ünitesinde yapılan uygulama sonucunda %30 ile %96,5 oranında iletkenlik giderim verimleri ile çalıştığı tespit edilmiştir. Tespit durulama banyosu 2.030 $\mu\text{S/cm}$ iletkenlik değerleri yerine proses gereği daha düşük iletkenlik değerlerinde geri kazanım işlemine tabi tutulacaktır. Bu

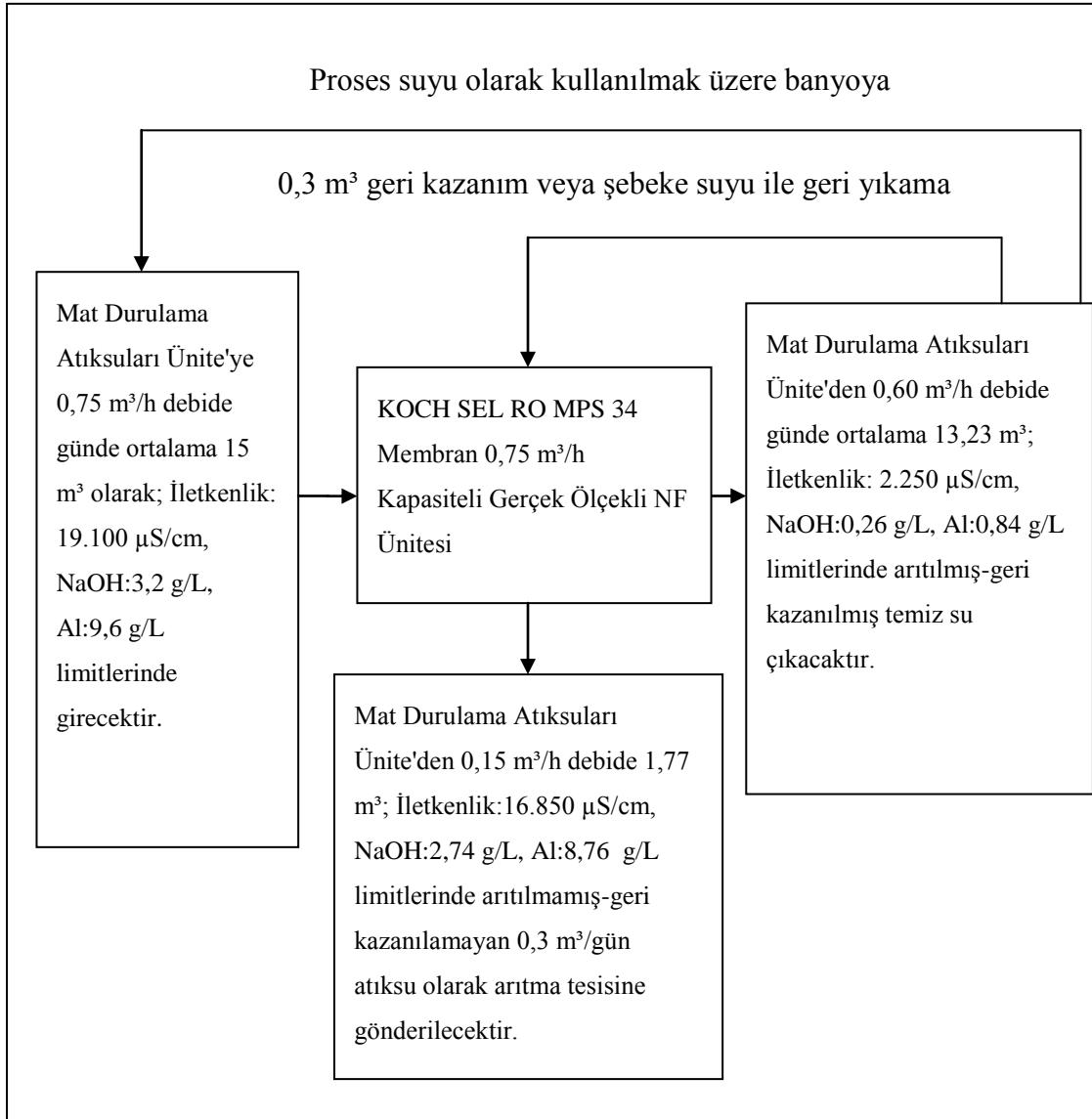
nedenle banyo ortalama 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik değerlerinde ortalama %77,1 geri kazanım verimi ile çalıştırılacaktır

5 HESAPLAMALAR

Bu bölümde, pilot ünitelerle yapılan uygulamalara göre; Mat(Kostik) Durulama Banyosu'ndan NF Ünitesi ile, Eloksal Banyosu'ndan AİD Ünitesi ile, Eloksal Durulama, Renklendirme Durulama ve Tespit Durulama Banyosu'ndan AKD Ünitesi ile geri kazanım çalışmalarının tasarlanması, prosesin maliyet ve enerji açısından değerlendirilmesi yapılmıştır.

5.1 Mat(Kostik) Durulama Banyolarından Gerçek Ölçekli Nanofiltrasyon Ünitesi Çalışması

Pilot uygulamada $N_{Fa}=120$ L/h kapasiteli Pilot NF Ünitesi(KOCH SELRO34 AMS Membran) kullanılarak iletkenlik %88,2 verim ile giderilip kostik %91,2 verim ile, alüminyum %91,3 verim ile geri kazanılacağı tespit edilmiştir. $N_{Fb}=120$ L/h kapasiteli Pilot NF Ünitesi(B4022 4040 Membran) kullanılarak iletkenlik %41,62 verim ile giderilip kostik %32,1 verim ile, alüminyum %52,7 verim ile geri kazanılacağı tespit edilmiştir. $N_{Fc}=120$ L/h kapasiteli Pilot NF Ünitesi(FILMTEC NF 270-40 Membran) kullanılarak iletkenlik %13,2 verim ile giderilip kostik %33,92 verim ile, alüminyum %55,8 verim ile geri kazanılacağı tespit edilmiştir. Bu nedenle gerçek ölçekli NF Ünitesi'nin tasarımı KOCH SELRO 34 AMS Membran'a göre yapılmış ve bu ünitenin çalışması Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1: KOCH SEL RO MPS 34 Membran İle Gerçek Ölçekli 15 m³/gün Kapasiteli NF Ünitesi Akış Şeması

Şekil 5.1'e göre; KOCH SEL RO MPS 34 membran kullanılarak günde oluşan ortalama 15 m³ kostik durulama banyolarının arıtılarak(geri kazanılarak) tekrar proseste kullanılması için yapılacak gerçek ölçekli NF Ünitesi ile Mat Durulama Atıksuları Ünite'ye 0,75 m³/h debide günde ortalama 15 m³ olarak; İletkenlik: 19.100 µS/cm, NaOH:3,2 g/L, Al:9,6 g/L limitlerinde girerek Ünite'den 0,60 m³/h debide günde ortalama 13,23 m³; İletkenlik: 2.250 µS/cm, NaOH:0,26 g/L, Al:0,84 g/L limitlerinde arıtılmış-geri kazanılmış temiz su sağlanmış olacaktır. Ünite'den 0,15 m³/h debide günde ortalama 1,77 m³; İletkenlik:16.850 µS/cm, NaOH:2,94 g/L, Al:8,76 g/L limitlerinde arıtılmamış-

geri kazanılmayan atıksu su olarak arıtma tesisine gönderilecektir. Ünite'nin rejasyonu için günde 0,3 m³ geri kazanım veya şebeke suyu kullanılacaktır.

Uygulama yapılan tesiste günlük olarak atılan mat banyosu durulama atıksuyu 15 m³ tür. Geri kazanım amacıyla kullanılacak membran alanı Çizelge 3.1'e göre 5,6 m² dir. Pilot NF üniteden geçirilen debi ortalama 120 L /saat'a göre akı değeri; $120 \text{ (litre/saat)}/5,6 \text{ (m}^2\text{)}=21,43 \text{ (litre/m}^2\text{xsaat)}$ tir. 15 m³ durulama banyosu atıksuyu günlük 20 saat çalışma sonunda oluşması nedeniyle bu banyodan oluşan atıksu debisi $15 \text{ m}^3/20 \text{ saat} = 0,75 \text{ m}^3/\text{saat} = 750 \text{ L/saat}$ olmaktadır. Gerekli Membran alanı $750 \text{ (L/saat)}/21,43 \text{ (litre/m}^2\text{xsaat)}=35 \text{ m}^2$ olacaktır. 35 m² yüzey alanına sahip 1 adet KOCH SELRO MPS-34 Nanofiltrasyon Membranı kullanılacaktır.

KOCH SELRO MPS-34 Nanofiltrasyon Membranı kullanılarak tasarlanacak NF Ünitesi özellikleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Mat Durulama Atıksuları İçin 15 m³/gün Kapasiteli NF Ünitesi Özellikleri

NF Ünite Özellikleri	Değeri	Birimi
Membran Sayısı	1	adet
Membran Yüzey Alanı	35	m ²
Verim	88,2	%
Besleme Debisi	0,75	m ³ /saat
Atık Debisi	0,15	m ³ /saat
Ürün Debisi	0,60	m ³ /saat
Çalışma Basıncı	35	bar
Pompa Elektrik Sarfıyatı	22	kW

KOCH SELRO MPS-34 Nanofiltrasyon Membranı kullanılarak tasarlanacak 15 m³/gün Kapasiteli NF Ünitesi günlük işletme maliyeti Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2: Mat Durulama Atıksuları 15 m³/gün Kapasiteli NF Ünitesi Günlük İşletme Giderleri Tablosu

Maliyet Konusu	Harcanan Miktar (m ³)	Birim Maliyet (m ³ /TL)	Harcanan Miktar (kg)	Birim Maliyet (kg/TL)	Toplam Maliyet (TL)
Şebeke Suyu İle Rejenerasyon	0,3	10,00	-	-	3,00
Rejenerasyon Sonrası Atıksu Arıtımı	0,3	8,50	-	-	2,55
Elektrik					132,00
Dolgu Malzemesi Maliyeti					12,79
TOPLAM					150,34

Çizelge 5.2'ye göre eloksal durulama banyoları gerçek ölçekli 15 m³/gün kapasiteli AKD Ünitesi kullanıldığında; rejenerasyon amaçlı 0,3 m³ şebeke suyu kullanımına bağlı 3,0 TL, rejenerasyon işlemi sonrası oluşan 0,3 m³ atıksuyun arıtımına bağlı olarak 2,55 TL olmak üzere toplam 5,55 TL rejenerasyon amaçlı maliyet olmaktadır. Üniteye enerji amaçlı kullanılan elektriğe bağlı 132,0 TL(0,3 TL birim fiyatı ile, günde 20 saat çalışma ile üniteye kullanılan 22 kW gücündeki elektrik motorunda kullanılan elektriğin maliyeti) ve 1.095 gün kullanma ile değiştirilecek olan 14.000 TL değerindeki membran malzemesi günlük 12,79 TL'lık maliyeti olmak üzere günde toplam 150,34 TL'lık işletme maliyeti olacaktır.

KOCH SELRO MPS-34 Nanofiltrasyon Membranı kullanılarak tasarlanacak 15 m³/gün Kapasiteli NF Ünitesi ile geri kazanım-kazanç tablosu Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3: Mat Durulama Atıksuları 15 m³/gün Kapasiteli NF Ünitesi İle Geri Kazanım Miktarları Tablosu

Kazanç Konusu	Geri Kazanılan Günlük Atıksu Miktarı (m ³)	Birim Maliyet (TL)	Günlük Kazanç (TL)
Şebeke Suyu	13,23	10,00	132,30 TL
Arıtma Tesisi	13,23 m ³	8,5	112,46 TL
TOPLAM			244,76 TL

Çizelge 5.3'e göre; %88,2 iletkenlik giderimverimi ile çalışan NF Ünitesi kullanılarak ortalama 13,23 m³ atıksu geri kazanılarak günde 132,30 TL'lık kazanç sağlanacaktır. Uygulamanın yapıldığı tesise ait Kimyasal Atıksu Arıtma tesisi işletme maliyetinin günde ortalama 8,5 TL/m³ olması nedeniyle 13,23 m³'lük atıksuyun geri kazanılarak arıtma tesisine gönderilmemesiyle günde 112,46 TL'lık kazanç sağlanacaktır. Bu durumda günde toplam 132,3 + 112,46=244,76 TL'lık kazanç sağlanacaktır. Kostik durulama banyosundan günde oluşan 15 m³ atıksuyun 0,75 m³/saat Kapasiteli NF ünitesi kullanılarak %88,2 verim ile toplam 13,23 m³ atıksu geri kazanılarak banyoda tekrar kullanılacaktır. Geri kazanılan atıksular Alternatif olarak AKD Ünitesi Anyonik Reçine Filtre'nin rejenerasyonun için kullanılacaktır.

Kostik Durulama banyolarında KOCH SELRO MPS-34 membran kullanılarak yapılacak NF Ünitesi kullanılarak günde 244,76-150,34 =94,42 TL, ortalama 300 gün çalışma ile yılda 300 x (94,42)=28.326 TL kazanç sağlanacaktır.

15 m³/gün(0.75 m³/saat) kapasiteli NF ünitesinin maliyet fiyatı yaklaşık 80.000 TL civarındır. Geri, kazanım ünitesi kendisini ortalama 34 ayda amorti edecektir. Ayrıca günde 13,23 m³ olmak üzere yılda 300x13,23=3.969 matıksu geri kazanılarak proseste kullanılabilir.

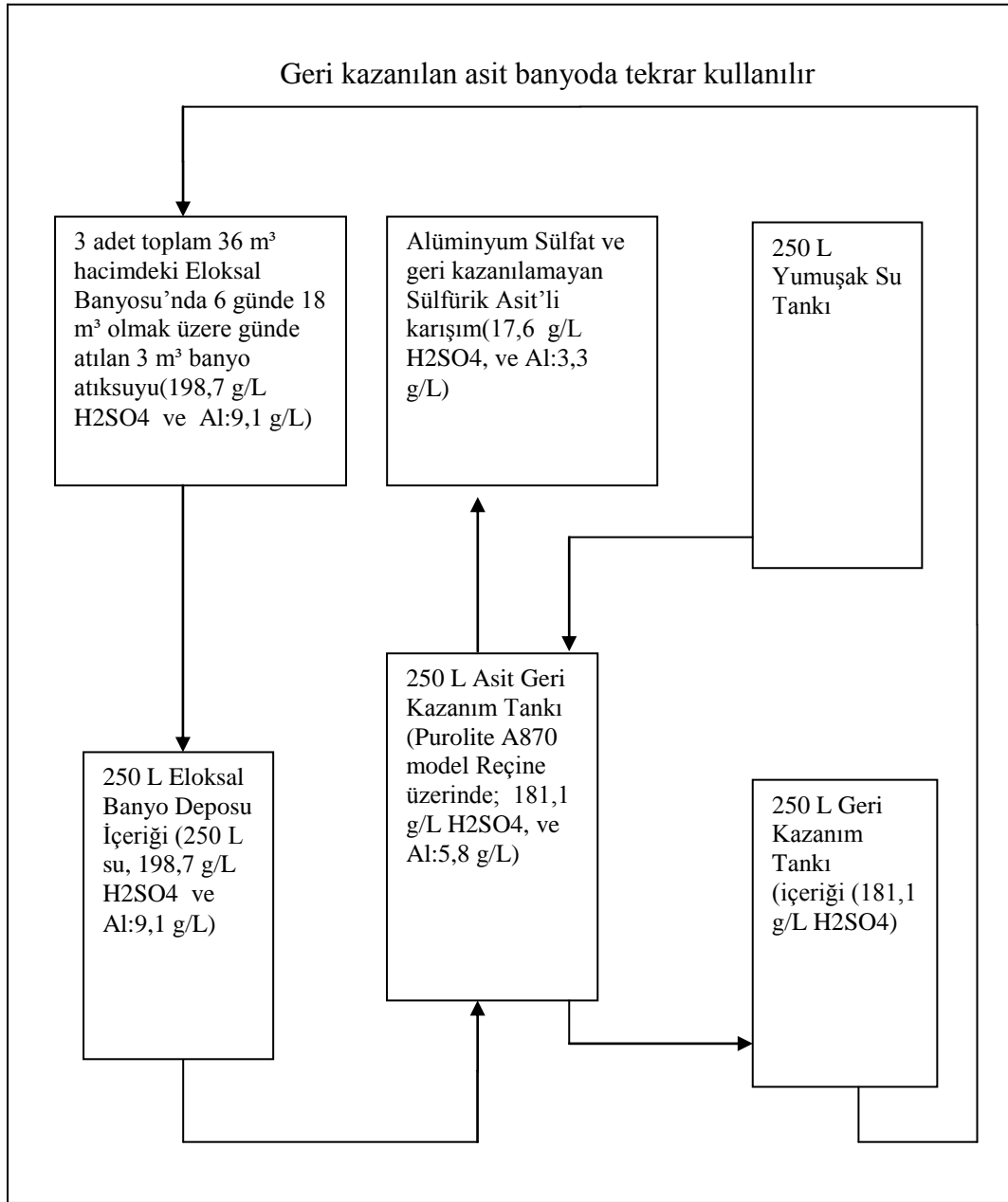
5.2 Eloksal Kaplama(Asit) Banyoları İçin Gerçek Ölçekli Anyonik İyon Değiştirici(AİD) Ünitesi İle Asit Geri Kazanım Çalışması

Eloksal banyolarında istenen asit konsantrasyonunun sağlayabilmesi için banyolardaki H₂SO₄ konsantrasyonunun 200,0 g/L, alüminyum konsantrasyonunun 11,0 g/L değerine yaklaştığı zaman haftada bir banyoların yarısının boşaltılıp atılması gerekmektedir. Bu durumda her biri 12 m³ hacminde olan 3 adet banyodan haftada(6 günde) 36/2=18 m³ olmak üzere günde 18/6=3 m³ atıksu oluşmaktadır.

Pilot uygulamada R_{Fa}=25 25 L hacimde 500 L/h kapasiteli Pilot AİD Ünitesi(A870 Reçine)'nin sülfürik asit geri kazanım verimi %91,1 dir. R_{Fb}=25 L 25 L hacimde 500 L/h kapasiteli Pilot AİD Ünitesi(Selion AR850 Reçine)'nin sülfürik asit geri kazanım verimi %77,4 tir.Bu nedenle gerçek ölçekli AİD Ünitesi'nin tasarımı,geri kazanım verimi daha yüksek olan A870 Reçine'ye göre

yapılmıştır. Banyodan günde oluşan 3 m³ atıksuiçin pilot ölçekle orantılı olarak, 250 L banyo atıksuyunun reçineden geçirildikten sonra 250 L yumuşaksu kullanılarak reçine üzerinden geri kazanım yapılacaktır. Bu işlem 5.000 L/h=5 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli geri kazanım ünitesi gereklidir. Reçine üzerinde tutulan iyonların yumuşaksu ile geri yıkanması sonucunda %91,1 verim ile sülfürik asit geri kazanımı yapılmaktadır.

Eloksal Banyosu'ndan H₂SO₄ geri kazanımı için AİD Ünitesi akış şeması Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2: Eloksal Banyoları Gerçek Ölçekli 250 L Hacimli 5 m³/h Kapasiteli Asit Geri Kazanım Sistemi(AİD) Akış Şeması

Şekil 5.2'ye göre; Eloksal Banyosu'ndan günde atılan 3 m³ Sülfürik Asit ve Alüminyum(iyon halinde) içeren banyo atığı(içeriği) 250 L kapasiteli depoya alınmakta ve bu depodan da içinde Purolite A870 model Reçine bulunan 250 L hacminde AİD Geri Kazanım Tankı(Ünitesi)'nden geçirildiğinde tank içindeki reçine üzerindeki 181,1 g/L H₂SO₄, ve Al:5,8 g/L tutulmaktadır. Reçine üzerinde tutulamayan 198,7-181,1=17,6 g/L H₂SO₄, ve 9,1-5,8=Al:3,3 g/L ayrıca banyo içeriğinde iyon halinde bulunan Sülfat ve Alüminyum'un reaksiyonu sonucunda(AİD Tankı-Ünitesi çıkışından sonra) katı halde oluşan Alüminyum Sülfat AİD Ünitesi'nden atılmaktadır. 250 L yumuşak(saf) su AİD Ünitesi'ne basıldığında reçine üzerinde tutulan 181,1 g/L H₂SO₄ içeren karışım 250 L Geri Kazanım Tank'ına alınmakta ve buradan da proste tekrar kullanılmak üzere Eloksal Banyoları'na gönderilmektedir. 250 L yumuşak su reçine üzerine gönderildikten sonra reçineden 237 L geri kazanım suyu alınabilmektedir. Bu durumda ünitenin atıksu geri kazanım verimi 237/250=%95 olmaktadır.

İçinde %98'lik 450 kg Sülfürik Asit ve 20 kg Alüminyum bulunan 3 m³ eloksal banyosu atıksuyunun gerçek ölçekli geri kazanımı için 250 L hacimli 5 m³/h kapasiteli AİD Ünitesi(Purolite A870 model Reçine kullanılarak) ile 3 m³ yumuşak su kullanılarak %91,1 verim ile 410 kg Sülfürik geri kazanılarak eloksal banyolarında tekrar kullanılacaktır. Ayrıca %63,7 verim ile 12,74 kg iyon halindeki Alüminyum geri kazanılacaktır. Banyo içeriğinde iyon halinde bulunan Sülfat ve Alüminyum'un reaksiyonu sonucunda(AİD Ünitesi çıkışından sonra) katı halde oluşan Alüminyum Sülfat ise kimyasal arıtma tesislerinde koagülant olarak kullanılmaktadır.

Günde ortalama 195-200 g/L H₂SO₄, Al:8,5-9,5 g/L konsantrasyonuna sahip 3 m³ banyo atıksularının geri kazanımı yapılarak 177,65-188,2 g/L değerleri arasındaki H₂SO₄ banyoda tekrar kullanılacaktır. Geri kazanılamayan 17,35-17,8 g/L değerleri arasındaki H₂SO₄ve Al:3,08-3,45 g/L değerleri arasındaki 3 m³ atıksu İSKİ limitlerinde deşarj için kimyasal arıtma tesisine gidecektir.

Eloksal banyosundan günde oluşan 3 m³ atıksuyun 250 L Hacimde 5 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AİD Ünitesi kullanılarak yapılacak geri kazanım işleminin maliyeti Çizelge 5.4'te, yapılacak geri kazanım işleminin getirisi ise Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.4:Eloksal Banyolarında 250 L Hacimde 5 m³/h Kapasiteli Gerçek Ölçekli AİD Ünitesi İle Geri Kazanım Maliyet Tablosu

Maliyet Konusu	Günlük Maliyet(TL)	Yıllık Maliyet(TL)
Elektrik sarfiyatı	1,5	450
Reçine Maliyeti	6,85	2.055
Geri Kazanım için Harcanan Yumuşak Su Maliyeti	50,00	15.000
Toplam Maliyet	58,35	17.505

Çizelge 5.4'teki maliyetleri değerlendirdiğimizde; Reçine üzerinde biriken asit ve alüminyumun reçine üzerinden yumuşaksu ile geri yıkanarak geri kazanılması için 5 kW gücündeki elektrik motoru kullanılarak 1 saat çalıştırılacaktır. Elektiriğin kWh maliyeti 0,3 TL olması nedeniyle ünitenin çalıştırılmasında kullanılan elektriğin maliyeti günlük $5 \times 0,3 = 1,5$ TL olacaktır. 1 adet reçinenin fiyatı 7.500 TL'dir. Reçine 1.095 günde ömrünü tamamlamaktadır. Bu durumda günlük reçine maliyeti $7.500 / 1.095 = 6,85$ TL olacaktır. AİD Ünitesi'nde günde kullanılacak olan 3 m³ şebeke suyunun yumuşatılmasının maliyeti 50 TL dir. Gerçek ölçekli Eloksal Banyosu AİD Ünitesi ile günlük geri kazanım maliyeti toplam 58,35 TL, ortalama 300 gün çalışma ile de yıllık maliyeti 17.505 TL olacaktır.

Çizelge 5.5: Eloksal Banyoları 250 L Hacimde 5 m³/h Kapasiteli AİD Ünitesi İle Geri Kazanım Gelir Tablosu

Getiri Konusu	Günlük Kazanç(TL)
Geri Kazanılan H ₂ SO ₄	328
Atıksu Geri Kazanımı	28,5
Atıksu Arıtılmayışı	24,225
Toplam Kazanç	380,725

Çizelge 5.5'teki kazançları değerlendirdiğimizde; Eloksal Banyosu'ndan günde atılan 3 m³ atıksudan AİD Ünitesi ile geri kazanılan günlük 328 TL getiriye eloksal banyosunda tekrar kullanılmak üzere %91,1 verim ile geri kazanılan 410 kg H₂SO₄(%98'lik 1 kg. H₂SO₄=0,8TL olmak koşuluyla $410 \times 0,8 = 328$ TL) oluşturmaktadır, 3 m³ yumuşak su kullanılarak %95 verim ile banyoya kazandırılan 2,85 m³ suyun getirisi $2,85 \times 10 = 28,5$ TL olacaktır. Tesise ait Kimyasal Arıtma Tesisi'nin atıksu arıtma maliyeti m³ başına 8,5 TL dir. Günde 2,85 m³ banyoya verilen suyun arıtılmayışına bağlı olarak $8,5 \times 2,85 = 24,225$

TL'lık kazanç sağlanacaktır. Bu durumda günde toplam $328 + 28,5 + 24,225 = 380,725$ TL kazanç sağlanacaktır.

Eloksal banyolarında gerçek ölçekli 500 L hacimde $5 \text{ m}^3/\text{h}$ kapasiteli gerçek ölçekli AİD Ünitesi kullanılarak günde $380,725 - 58,35 = 322,375$ TL olmak üzere ortalama 300 gün çalışma ile yılda $300 \times (322,375) = 96.712,5$ TL kazanç sağlanacaktır. Günde 410 kg olmak üzere yılda 300 gün çalışma ile 123.000 kg sülfürik asit geri kazanılarak banyoda tekrar kullanılacaktır.

250 L hacimde reçine $5 \text{ m}^3/\text{h}$ kapasiteli gerçek ölçekli bir AİD Ünitesi'nin kurulum maliyeti yaklaşık 85.000 TL + KDV 'dir. Eloksal banyoların günde oluşan $2,85 \text{ m}^3$ atıksuyun geri kazanılması için gerçek ölçekte tasarlanacak AİD Ünitesi'nin kullanılmasıyla yıllık kazanç(getiri) 96.712,5 TL olacaktır. Gerçek ölçekli AİD Ünitesi kendisini yaklaşık 11 ayda amorti edecektir.

5.3 Eloksal Durulama Banyoları İçin Gerçek Ölçekli AKD Ünitesi Çalışması

Eloksal durulama banyosunda 450 L/h kapasiteli Anyonik-Katyonik Demineralize(AKD) pilot ünitesi ile uygulama yapılmıştır. Uygulama yapılan tesiste 2 adet eloksal durulama banyosu toplam hacmi 24 m^3 tür. Uygulama yapılan tesislerden alınan verilere göre her iki durulama banyosu için seyreltme ve değiştirme suyu dahil 6 gün çalışma ile haftalık 82 m^3 olmak üzere günde $82 \text{ m}^3/6 \text{ gün} = 13,667 \text{ m}^3$ su kullanılmaktadır.

6 günde bir değişimi yapılan eloksal durulama banyosunun banyo başlangıç ve 6. günde kirlenme sonucu banyonun değişimi öncesi yapılan banyo içerik değerleri Çizelge 5.6'da verilmiştir. Banyo iletkenlik değerleri değişkenlik göstermekte olup sabit bir değere sahip değildir.

Çizelge 5.6:Eloksal Durulama Banyosunda Kirliliğe Bağlı İçerik Değerleri

Eloksal Durulama Banyosu Değerlendirilen Kıstaslar	Banyo Başlangıç Analiz Değerleri (Temiz)	Banyo 1. Gün (1. Vardiya) Analiz Değerleri (Kirli)	Banyo 6. Gün (12. Vardiya) Analiz Değerleri (Kirli)
H ₂ SO ₄ (g/L)	0,00	2,00 - 2,50	8,00 - 10,00
Alüminyum(g/L)	0,00	0,07 - 0,10	0,50 - 0,80
İletkenlik(μS/cm)	50-600	17.000 20.000	50.000 - 55.000
pH	6-7	2,40	< 1

Çizelge 5.6'ya göre, değişim yapılan banyo içerisine Şebeke(proses-kullanım) suyu doldurulduktan sonra başlangıç koşullarında itibaren kirlenmeye bağlı olarak banyo içerisindeki sülfürik asit ve alüminyum konsantrasyonu ayrıca bunlara bağlı olarak iletkenlik artmakta pH değeri ise banyodaki sülfürik asit konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak azalmaktadır.

İlk vardiya sonunda 2.440 m² alüminyum profil malzeme kaplanmakta olup vardiya sonunda eloksal durulama banyosu 50 μS/cm ve 600 μS/cm arası iletkenlik değerlerinden ile 17.000 μS/cm ve 20.000 μS/cm aralığındaki iletkenlik değerlerine ulaşmaktadır. Alüminyum 0,00 g/L değerinden 0,07 g/L-0,010 g/L değerlerine sahip konsantrasyonuna ulaşmaktadır. Kaplanan birim alana göre banyoda oluşan iletkenlik bazında kirlilik yükü-miktarı 17.000 μS/cm/2.400 m²=7,08 μS/cm-m² ve 20.000 μS/cm/2.400 m²=8,33 μS/cm-m² arasındadır. Alüminyum bakımından ise 0,07 g/L/2.400 m²=0,0000291 g/L-m²=0,0291 mg/L-m² ve 0,10 g/L/2.400 m²= 0,0000416 g/L-m²=0,0416 mg/L-m² dir. AKD pilot nitesi ile eloksal durulama banyosunda yapılan geri kazanım işleminde banyo iletkenlik değeri 17.600 μS/cm'ten 2.900 μS/cm'e dolayısı ile banyoda oluşan kirlilik yükü 17.600/2.400=7,33 μS/cm-m²'den 2.900/2.400=1,20 μS/cm-m² değerine düşürülmüştür.

Çizelge 5.6'ya göre vardiya başına; (55.000-600) μS/cm/12= 4.533,33 μS/cm iletkenlik, (0,8 - 0) g/L/12 = 0,067 g/L alüminyum ve (10 - 0) g/L / 12 vardiya = 0,833 g/L sülfürik artış göstermektedir.

450 L/h debi ile 7 saat alıştırılan Pilot AKD nitesi'nden(Anyonik Fitre'den) geçen 3.300 litre eloksal durulama banyosunda 17.600 μS/cm iletkenlik değerinde banyo 8.800 mg/L= 8.8 g/L toplam znmş madde bulunmaktadır. Buna göre Pilot AKD nitesi'nden geçen 3.300 litre eloksal durulama banyosundaki atıksuda toplam 3.300x8,8g/L= 29.040 g znmş madde vardır. Eloksal durulama banyolarından günde atılan 13,667 m³ atıksu içerisinde 13.667x8,8=120.269,6 g toplam znmş madde bulunmaktadır.

AKD nitesi çıkışını oluşturan Anyonik reçinedir. Pilot AKD nitesi'nde kullanılan 50 litre reçine 29.040 g giderim yaptığına göre 1 L reçine 580,8 gr toplam znmş madde giderimi yapmaktadır. Buna göre 120.269,6 g / 580,8

g/L = 207,08 L'ye ünitenin üç günde bir geri yıkaması(rejenerasyon) yapılması nedeniyle toplam $207,08 \times 3 = 621,23$ L Anyonik Reçine'ye ihtiyaç vardır.

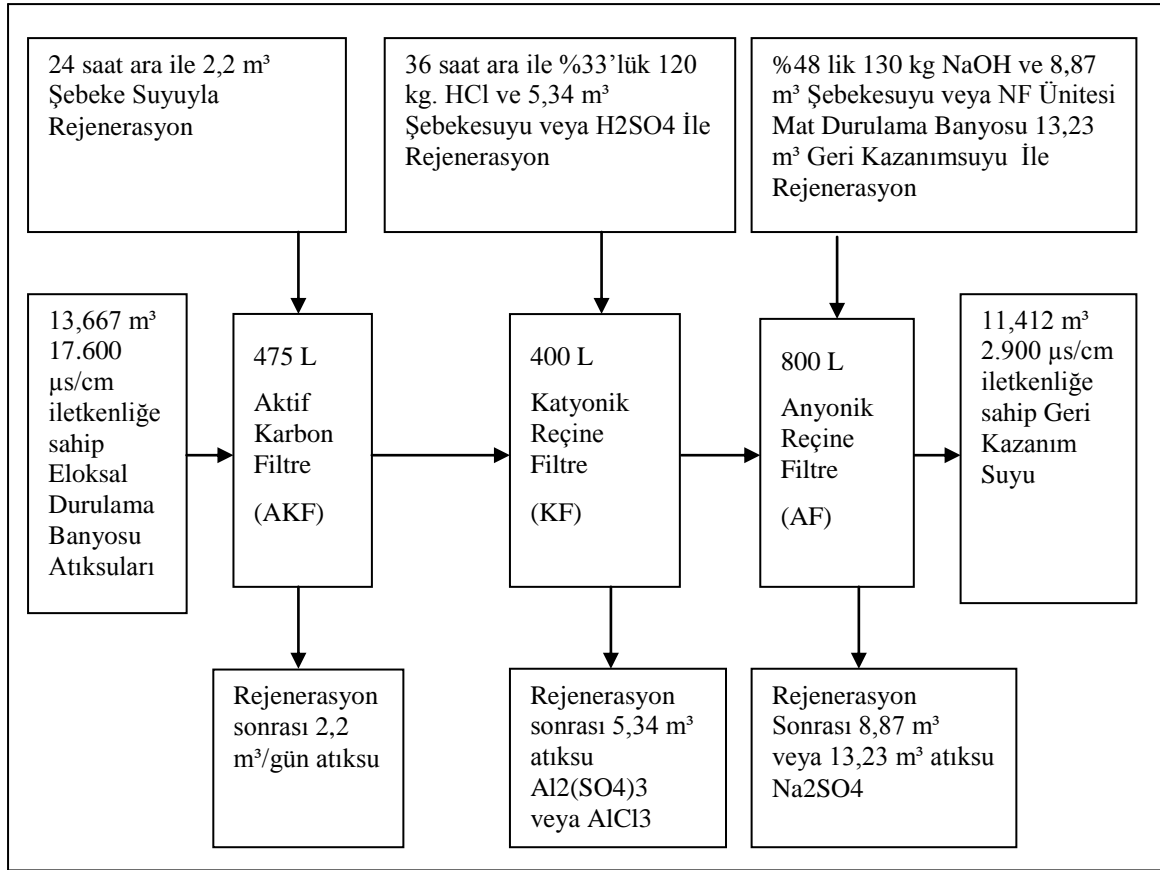
Gerçek ölçekli sistem debisinin hesaplanmasında belirleyici etken anyonik reçine miktarıdır. Debi/Reçine Miktarı-Oranı=8-40 olmalıdır. Debi/Reçine Oranı=12 alınarak Anyonik Reçine dolayısı ile AKD Ünitesi için $Debi = 12 \times 621,23 = 7.454,76$ L/h olarak hesaplanır. Bu durumda yapılacak gerçek ölçekli AKD Ünitesi'nin debisi yani kapasitesi $8 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak hesaplanır.

Aktif karbon filtresi boyutlandırma temas süresi 3,5 dakika seçildiğinde filtre çapı 750 mm ve dolgu miktarı ise 475 L bulunmaktadır.

Diğer taraftan katyonik ve anyonik filtre tasarımında geçirilecek olan su yapısındaki çözülmüş katyon - anyon iyonlarının miktarı ve birbirlerine oranı belirleyici olmaktadır. Eloksal durulama banyoları büyük bir kısmını sülfürik asit oluşturduğu kabul edilirse anyonik reçinenin katyonik reçineden daha fazla olması gerekmektedir.

$8 \text{ m}^3/\text{h}$ debili bir sistemde katyonik reçine için Debi/Reçine Oranı=20 alırsak(bu oran 8-40 olarak değişmektedir.) Buna göre $7.454,76 \text{ (L/saat)}/20 = 372,74$ L katyonik reçine miktarı olarak belirlenir. Bu miktar anyonik reçinenin yaklaşık yarısı kadardır. Bu durumda su yapısındaki iyonların 1/3 katyon, 2/3 anyon olarak değerlendirilmiştir. AKD Ünitesi'nde kullanılacak Katyonik Reçine 400 L, Anyonik Reçine Katyonik Reçine'nin iki katı hacimde 800 L olarak tasarlanacaktır.

Eloksal Durulama Atıksuları için planlanan gerçek ölçekli $8 \text{ m}^3/\text{h}$ Kapasiteli AKD Ünitesi Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3:Eloksal Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 8 m³/h Kapasiteli AKD Ünitesi Akış Şeması

Şekil 5.3'e göre; 13,667 m³ 17.600 µs/cm iletkenliğe sahip Eloksal Durulama Banyosu Atıksuları 475 L Aktif Karbon Filtre, 400 L Katyonik Reçine Filtre ve 800 L Anyonik Reçine Filtre'den oluşan Gerçek Ölçekli 8 m³/h Kapasiteli AKD Ünitesi %83,5 verim ile 11,412 m³ 2.900 µs/cm iletkenliğe sahip Geri Kazanım Suyu elde edilerek eloksal durulama banyolarında tekrar kullanılabilir. Gerçek ölçekli AKD Ünitesi için; AKF filtresi günde bir defa olmak üzere 2,20 m³ şebeke suyu kullanılarak, Katyonik Reçine 3 günde bir olmak üzere içinde 120 kg %33'lük HCl ve 5,34 m³ şebeke suyu kullanılarak, Anyonik Reçine 3 günde bir olmak üzere 130 kg %48'lik NaOH ve 8,87 m³ şebeke suyu kullanılarak veya NF Ünitesi Mat Durulama Banyosu gerikazanımsuyunun tamamı(13,23 m³)ile geri yıkama yapılarak rejenerasyon işlemi yapılacaktır. Rejenerasyon işlemi sonrasında; AKF'den 2,2 m³ atıksu, Katyonik Reçine'den 5,34 m³ atıksu ayrıca Al₂(SO₄)₃veya AlCl₃, Anyonik Reçine'den 8.87 m³ atıksu(rejenerasyon işleminde NF Ünitesi Mat Durulama

Banyosu geri kazanım suyu kullanıldığında 13,23 m³ atıksu) ayrıca Na₂SO₄ meydana gelecektir.

Eloksal durulama banyoları gerçek ölçekli 8 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi AKF için rejenerasyon tablosu Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7:Eloksal Durulama Atıksuları 8 m³/saat Kapasiteli AKD Ünitesi Aktif Karbon Geri Yıkama Süreleri Ve Su Sarfıyatları Tablosu(Aktif Karbon 475 L,Ø750 mm)

AKF Filtre Geri Yıkama ve Durulama Aşamaları	Süre (dakika)	Yıkama Hızı (m/saat)	Kesit (m ²)	Debi (m ³)	Kullanılacak Su (m ³)
1.Aşama (Geri Yıkama)	10	20	0,44	8,80	1,47
2.Aşama (Durulama)	5	20	0,44	8,80	0,73
Toplam Süre & Su Tüketimi	15				2,20

Çizelge 5.7'ye göre AKF filtresi günde bir defa olmak üzere; 10 dakika süre ile 1,47 m³ şebeke suyu ile geri yıkama ve 5 dakika süre ile 0,73 m³ şebeke suyu ile durulama işlemi olmak üzere toplam 15 dakika süre ile 2,20 m³ şebeke suyu kullanılarak rejenerasyon işlemi gerçekleştirilecektir.

Eloksal durulama banyoları gerçek ölçekli 8 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi Katyonik Reçine için rejenerasyon tablosu Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8:Eloksal Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 8 m³/saat Kapasiteli AKD Ünitesi Reçine Geri Yıkama Süreleri Ve Su Sarfiyatları Tablosu(Katyonik Reçine 400 L, Ø750 mm)

Katyonik Reçine Rejenerasyon Aşamaları	Süre (dakika)	Yıkama Hızı (m/saat)	Kesit (m ²)	Debi (m ³ /saat)	Kullanılacak Su Miktarı (m ³)	Kullanılacak Kimyasal Miktarı (kg)
1. Aşama (geri yıkama)	10	8	0,44	3,52	0,59	-
2. Aşama (asit alma)	30	3	0,44	1,32	0,66	HCl % 33' lük 120 kg
3. Aşama (asit yavaş durulama)	45	3	0,44	1,32	0,99	-
4. Aşama (2. geri yıkama)	6	8	0,44	3,52	0,35	-
5. Aşama (hızlı durulama)	15	25	0,44	11	2,75	-
Toplam Süre & Su Tüketimi	96				5,34	-

Çizelge 5.8'e göre Katyonik Reçine 3 günde bir olmak üzere; 10 dakika süre ile 0,59 m³ şebeke suyu ile geri yıkama, 30 dakika süre ile içinde 120 kg %33'lük HCl içeren 0,66 m³ asit çözeltisini filtreye alma, 45 dakika süre ile 0,99 m³ şebeke suyu ile yavaş durulama, 6 dakika süre ile 0,35 m³ şebeke suyu ile 2. geri yıkama ve 15 dakika süre ile 2,75 m³ şebeke suyu ile hızlı durulama işlemi olmak üzere toplam 96 dakika süre ile 5,34 m³ şebeke suyu kullanılarak rejenerasyon işlemi gerçekleştirilecektir.

Eloksal durulama banyoları gerçek ölçekli 8 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi Anyonik Reçine için rejenerasyon tablosu Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9:Eloksal Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 8 m³/saat Kapasiteli AKD Ünitesi Anyonik Reçine Geri Yıkama Süreleri Ve Su Sarfiyatları Tablosu (Anyonik Reçine 800 L Ø900 mm)

Anyonik Reçine Rejenerasyon Aşamaları	Süre (dakika)	Yıkama Hızı (m/saat)	Kesit (m ²)	Debi (m ³ /saat)	Kullanılacak Su Miktarı (m ³)	Kullanılacak Kimyasal Miktarı (kg)
1. Aşama (geri yıkama)	10	8	0,64	5,12	0,85	
2. Aşama (baz alma)	30	3	0,64	1,92	0,96	NaOH % 48'lik 130 kg
3. Aşama (baz yavaş durulama)	120	3	0,64	1,92	3,84	
4. Aşama (2. geri yıkama)	6	8	0,64	5,12	0,51	
5. Aşama (hızlı durulama)	10	25	0,64	16,25	2,71	
Toplam Süre & Su Tüketimi	176				8,87	

Çizelge 5.9'a göre Anyonik Reçine 3 günde bir olmak üzere; 10 dakika süre ile 0,85 m³ şebeke suyu ile geri yıkama, 30 dakika süre ile içinde 130 kg %48'lik NaOH içeren 0,96 m³ baz çözeltilisini filtreye alma, 120 dakika süre ile 3,84 m³ şebeke suyu ile yavaş durulama, 6 dakika süre ile 0,51 m³ şebeke suyu ile 2. geri yıkama ve 10 dakika süre ile 2,71 m³ şebeke suyu ile hızlı durulama işlemi olmak üzere toplam 176 dakika süre ile 8,87 m³ şebeke suyu kullanılarak rejenerasyon işlemi gerçekleştirilecektir.

Eloksal durulama banyoları gerçek ölçekli 8 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi rejenerasyonu için günde gerekli olan şebeke suyu ve kimyasal kullanımına ilişkin bilgi Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10:Eloksal Durulama Atıksuları 8 m³/saat Kapasiteli AKD Ünitesi Rejenerasyon İçin Gerekli Günlük Su Ve Kimyasal Miktarı

Malzemenin Cinsi	Su (m ³ /gün)	HCl (%33) (kg/gün)	NaOH (%48'lik) (kg/gün)
Aktif Karbon Filtresi	2,20		
Katyonik Reçine	5,34/3 =1,78	120/3 =40	
Anyonik Reçine	8,87/3 =2,96		130/3 = 43,30
TOPLAM	6,94	40	43,30

Çizelge 5.10 'a göre AKD Ünitesi rejenerasyonu için günde; Aktif Karbon Filtre için 2,2 m³, Katyonik Reçine için 1,78 m³, Anyonik Reçine için 2,96 m³ olmak üzere toplam 6,94 m³ şebeke suyu ayrıca Katyonik Reçine için %33'lük 40 kg HCL, Anyonik Reçine için %48'lik 43,3 kg NaOH kullanılacaktır. Diğer taraftan Anyonik Reçine'nin rejenerasyonunda kostik yerine NF Ünitesi ile günde geri kazanılan 13,23 m³ mat durulama banyosu geri kazanım suları da alternatif olarak kullanılabilir.

Gerçek ölçekli 8 m³/h'lik AKD Ünitesi'ndeki filtre ve reçinelerden oluşan dolgu malzemelerine ait günlük işletme maliyetleri Çizelge 5.11 'de verilmiştir.

Çizelge 5.11: Eloksal Durulama Suları 8 m³/saat Kapasiteli AKD Ünitesi Dolgu Malzemeleri Günlük Maliyetleri

Malzemenin Cinsi	Miktar (L)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)	Değişim Zamanı (gün)	Günlük Maliyet(TL)
Aktif Karbon Filtre(AKF)	475	3,30	1.567,50	365	4,29
Katyonik Reçine(KF)	400	6,60	1.980,00	1.825	1,09
Anyonik Reçine(AF)	800	20,00	14.000,00	1.825	7,67
TOPLAM					13,05

Çizelge 5.11'e göre AKD Ünitesi'nde kullanılan dolgu(filtre-reçine) malzemelerinin; Ünite'de kullanılacak olan 475 L hacmindeki AKF'nin 365 günde bir değiştirilmesine bağlı olarak günlük işletme maliyeti 4,29 TL, 400 L hacmindeki KF'nin 1.825 günde bir değiştirilmesine bağlı olarak günlük işletme maliyeti 1,09 TL ve 800 L hacmindeki AF'nin 1.825 günde bir değiştirilmesine bağlı olarak günlük dolgu malzeme(işletme) maliyeti 7,67 TL olacaktır. Bu

durumda ünite de kullanılacak olan dolgu malzemesinin günlük toplam 13,05 TL'lık işletme maliyeti olacaktır.

Eloksal durulama banyoları gerçek ölçekli 8 m³/h'lik AKD Ünitesi'ne ait günlük işletme maliyetleri Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.12:Eloksal Durulama Atıksuları 8 m³/saat AKD Ünitesi Günlük İşletme Maliyetleri

Maliyet Konusu	Harcanan Miktar (m ³)	Birim Maliyet (m ³ /TL)	Harcanan Miktar (kg)	Birim Maliyet (kg/TL)	Toplam Maliyet (TL)
Şebeke Suyu İle Rejenerasyon	6,94	10,00	-	-	69,40
Rejenerasyon Sonrası Atıksu Arıtımı	6,94	8,50	-	-	58,99
HCl (%33)	-	-	40,00	0,46	18,40
NaOH (%48)	-	-	43,30	0,88	38,10
Elektrik					3,30
Dolgu Malzemesi Maliyeti					13,05
TOPLAM					201,24

Çizelge 5.12'ye göre eloksal durulama banyoları gerçek ölçekli 8 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi kullanıldığında; rejenerasyon amaçlı 6,94 m³ şebeke suyu kullanımına bağlı 69,4 TL, rejenerasyon işlemi sonrası oluşan 6,94 m³ atıksuyun arıtımına bağlı olarak 58,99 TL, Katyonik Reçine'de %33'lük HCL kullanımına bağlı 18,4 TL, Anyonik Reçine'de %48'lik NaOH kullanımına bağlı 38,1 TL olmak üzere toplam 184.89 TL rejenerasyon amaçlı maliyet olmaktadır. Ünite de enerji amaçlı kullanılan elektriğe bağlı 3,30 TL(0,3 TL birim maliyetle günde 2 saat çalışma ile ünite de kullanılan 5,5 kW gücündeki elektrik motorunda kullanılan elektriğin maliyeti) ve ünite de kullanılan filtre-reçine malzemesi maliyetine bağlı 13,05 TL olmak üzere günde toplam 201,24 TL'lık işletme maliyeti olacaktır.

Eloksal durulama banyoları atıksuları 17.000-19.000 µS/cm gibi düşük iletkenlik değerine sahip iken 8 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi ile günde oluşan ortalama 13,667 m³ atıksularının %83,5 verim ile 11,412 m³ 2.800-3.200 µS/cm

iletkenlik değerine sahip temizsu olarak geri kazanımı yapılarak banyoda tekrar kullanılacaktır. Geri kazanılamayan 14.200-15.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik değerine sahip 13,667-11,412=2,25 m^3 atıksu İSKİ limitlerinde değarj için kimyasal arıtma tesisine gidecektir. Geri kazanılan günde 11,412 m^3 temizsuyun eloksal durulama banyolarında tekrar kullanılmasına bağlı olarak 114,12 TL, tesise ait Kimyasal Arıtma Tesisi'nde bu banyolarından günde oluşan 11,412 m^3 geri kazanım suyunun arıtılmayışına bağlı olarak $8,5 \times 11,412 = 97,002$ TL olmak üzere günde toplam $114,12 + 97,002 = 211,122$ TL'lık gelir sağlanacaktır. Bu durumda 8 m^3/h kapasiteli AKD Ünitesi ile günde $211,122 - 201,24 = 9,88$ TL'lık kazanç olacaktır. Günde 11,412 m^3 olmak üzere yılda 300 gün çalışma ile toplam $300 \times 11,412 = 3.423,6$ m^3 atıksu proseste tekrar kullanılacaktır.

Alternatif olarak eloksal durulama banyoları atıksuları 50.000-55.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gibi yüksek iletkenlik değerine sahip iken 8 m^3/h kapasiteli AKD Ünitesi ile günde oluşan ortalama 13,667 m^3 atıksularının %92,2 verim ile 12,6 m^3 3.900-4.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik değerine sahip temizsu olarak geri kazanımı yapılarak banyoda tekrar kullanılacaktır. Geri kazanılamayan 46.100-50.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik değerine sahip 13,667-12,6=1,067 m^3 atıksu İSKİ limitlerinde değarj için kimyasal arıtma tesisine gidecektir.

8 m^3/h kapasiteli AKD Ünitesi'nin rejenerasyonunda NF Ünitesinde ile 13,23 m^3 kostik durulama banyosu geri kazanım suyu kullanılması durumunda; 2,2 m^3 Aktif Karbon Filtre'nin ve 1,78 m^3 Katyonik Filtre'nin rejenerasyonunda kullanılacak olan toplam $2,2 + 1,78 = 3,98$ m^3 şebeke suyunun 39,8 TL'lık maliyeti olacaktır. Rejenerasyon amaçlı Katyonik Reçine'de %33'lük 40 kg. HCL kullanımının 18,4 TL, Anyonik Reçine'de %48'lik 43,3 kg. NaOH yerine NF Ünitesi ile geri kazanılan 13,23 m^3 kostik durulama geri kazanım suyunun Anyonik Reçine'nin rejenerasyon ile oluşan 13,23 m^3 atıksuyun kimyasal arıtma tesisinde arıtılmasına bağlı olarak $8,5 \times 13,23 = 112,46$ TL maliyeti olacaktır. Bu durumda günde toplam $39,8 + 18,4 + 112,46 = 170,66$ TL maliyeti olacaktır. Eloksal durulama banyolarından atılan 13,667 m^3 atıksuyun AKD Ünitesi ile %92,2 oranında atıksuyun geri kazanımıyla günde 12,6 m^3 geri kazanılan temizsuyun eloksal durulama banyolarında tekrar kullanılmasına bağlı olarak 126 TL, tesise ait Kimyasal Arıtma Tesisi'nde bu banyolarından günde oluşan 12,6 m^3 gerikazanım suyunun arıtılmayışına bağlı olarak $8,5 \times 12,6 = 107,1$ TL

olmak üzere günde toplam $126 + 107,1=233,1$ TL gelir sağlanacaktır. $8 \text{ m}^3/\text{h}$ kapasiteli AKD Ünitesi'nin günlük toplam işletme maliyetinin $170,66$ TL olması nedeniyle günde toplam $233,1-170,66=62,44$ TL kazanç sağlanacaktır. 300 gün çalışma üzerinden yılda $300 \times 62,44=18.732$ TL'lık kazanç ayrıca yılda eloksal durulama banyoları için $12,6 \times 300=3.780 \text{ m}^3$ geri kazanılan atıksu banyolarda tekrar kullanılacaktır. Elokسال Durulama Banyosu için kullanılacak olan $8 \text{ m}^3/\text{h}$ kapasiteli gerçek ölçekli bir AKD Ünitesi'nin maliyeti yaklaşık 90.000 TL dir. Ünite kendini yaklaşık $4,8$ yılda amorti edecektir.

5.4 Renklendirme Durulama Banyoları İçin Gerçek Ölçekli AKD Ünitesi Çalışması

Renklendirme durulama banyosunda 450 L/h kapasiteli Pilot Anyonik-Katyonik Demineralize(AKD) pilot ünitesi ile uygulama yapılmış ve $600 \text{ } \mu\text{s/cm}$ iletkenliğe sahip atıksular $\%92,2$ giderim verimi ile $45 \text{ } \mu\text{s/cm}$ iletkenliğe düşürülmüştür.

Renklendirme durulama banyosu için günde 20 m^3 olmak üzere haftada toplam 120 m^3 su kullanılmaktadır. 12 m^3 hacimli Renklendirme Durulama Banyosu günlük 20 m^3 su yaklaşık saatlik 1 m^3 yumuşak su taşıması ile renklendirme durulama banyosu iletkenliği sabit tutulduğu göz önüne alındığında saatte 2 m^3 geri kazanım kapasiteli AKD ünitesin çevrim suyu bu banyonun iletkenliğini düşürecek. Ayrı bir hesaplama ile Debi/Reçine Miktarı= 10 alınarak 20 m^3 banyo atıksuyu için $2 \text{ m}^3/\text{h}$ kapasitede gerçek ölçekli AKD ünitesi gerekecektir. Renklendirme durulama banyosu için $2 \text{ m}^3/\text{h}$ kapasitede gerçek ölçekli AKD ünitesi yapılırsa banyonun toplam suyunu 6 saat sürede tamamen çevireceği için banyo iletkenliğinin $100 - 200 \text{ } \mu\text{s/cm}$ olacağı belirlenmiştir. Bir saatlik çevrim süresince banyonun iletkenliği max $100 \text{ } \mu\text{s/cm}$ artacaktır. Bu durumda sisteme gelecek olan kirlilik yükü düşeceğinden dolayı sistem daha uzun süre ile düşük iletkenlikte su üretecektir. Bu süre askılardan taşınan renklendirme banyosunun özelliğini taşıyan su miktarına ve geçirilen askı miktarına göre değişkenlik gösterecektir.

Uygulama yapılan tesiste renklendirme banyosu işletme kapasitesine göre yaklaşım yapıldığında, sistemin çalışma süresi $2-4$ gün olacağı tespit edilmiştir. Ortalama 3 günde bir rejenerasyon yapılacağı düşünülerek hesaplama

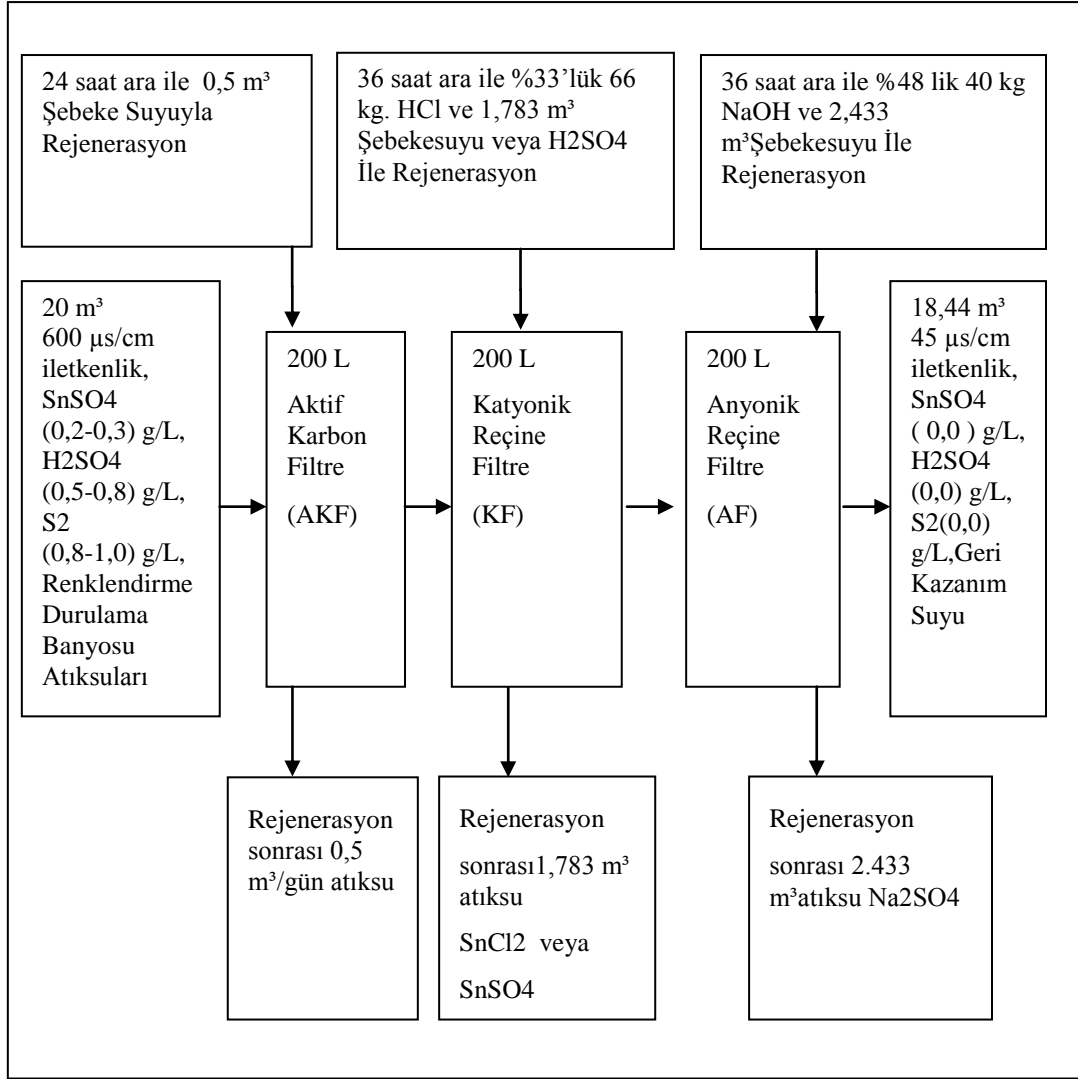
yapılmıştır. Renklendirme durulama banyosu özellikleri ve değerleri Çizelge 5.13'te verilmiştir.

Çizelge 5.13:Renklendirme Durulama Banyosu Özellikleri Ve Değerleri

Renklendirme Durulama Banyosu Özellikleri	Birim	Banyo Değerleri
Banyo Hacmi	m ³	10
Banyo Boşaltım Periyodu	hafta	1
Günlük Çalışma Süresi	20	20
Kalay Durulama Banyosu Seyrelme Suyu Miktarı	m ³ /saat	1
Kalay Durulama Banyosu Seyrelme Suyu Miktarı	m ³ /gün	20
Kalay Sülfat	g/L	0,2 - 0,3
H ₂ SO ₄	g/L	0,5 - 0,8
S ₂ (stabilizatör)	g/L	0,8- 1,0
İletkenlik	µS/cm	max. 1.000
pH		5 - 6

Renklendirme durulama atıksuları için gerçek ölçekte yapılacak 2 m³/h kapasiteli AKD ünitesi ait akış şeması Şekil 5.4'te verilmiştir.

2 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD ünitesinde kullanılacak olan reçineler bu atıksuların nötr karaktere yakın olmaları nedeniyle anyon katyon oranları yaklaşık eşit kabul edilerek aynı hacimde olacaktır. Debi/Reçine Miktarı, 10 alınarak 2 m³/h kapasite için reçine miktarı 200 L olacaktır.



Şekil 5.4:Renklendirme Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 2 m³/h Kapasiteli AKD Ünitesi Akış Şeması

Şekil 5.4'e göre; 20 m³ (600 µs/cm iletkenlik, SnSO₄=0,2-0,3 g/L, H₂SO₄=0,5-0,8 g/L, Stabilizatör(S₂)=0,8-1,0 g/L değerlerine sahip) Renklendirme Durulama Banyosu Atıksuları için Gerçek Ölçekli 2 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi kullanılarak banyodan %92,2 verim ile 18,44 m³ (45 µs/cm iletkenlik, SnSO₄=0,0 g/L, H₂SO₄=0,0 g/L, S₂=0,0 g/L değerlerine sahip) atıksu geri kazanılarak banyoda tekrar kullanılabilir. 2 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD Ünitesi için; AKF filtresi günde bir defa olmak üzere 0,5 m³ şebeke suyu kullanılarak, Katyonik Reçine 3 günde bir olmak üzere içinde 66 kg %33'lük HCl ve 1,783 m³ şebeke suyu kullanılarak, Anyonik Reçine 3 günde bir olmak üzere 40 kg %48'lik NaOH ve 2,433 m³ şebeke suyu kullanılarak rejenerasyon işlemi yapılacaktır. Rejenerasyon işlemi sonrasında; AKF'den 0,5 m³ atıksu, Katyonik

Reçine'den 1,783 m³ atıksu ayrıca SnSO₄ veya SnCl₂, Anyonik Reçine'den 2,433 m³ atıksu ayrıca Na₂SO₄ meydana gelecektir. Renklendirme durulama banyoları gerçek ölçekli 2 m³/h'lik AKD Ünitesi AKF için rejenerasyon tablosu Çizelge 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5.14: Renklendirme Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 2 m³/saat Kapasiteli AKD Aktif Karbon Filtresi Yıkama Tablosu(Aktif Karbon Miktarı 200 L)

AKF Filtre Yıkama Aşamaları	Süre (dakika)	Debi (L/saat)	Kullanılacak Su Miktarı(L)
Aşama (Geri yıkama)	10	2.000	333
Aşama (Durulama)	5	2.000	167
Toplam Süre & Su Tüketimi	15		500

Çizelge 5.14'e göre AKF filtresi günde bir defa olmak üzere; 10 dakika süre ile 0,33 m³ şebeke suyu ile geri yıkama ve 5 dakika süre ile 0,167 m³ şebeke suyu ile durulama işlemi olmak üzere toplam 15 dakika süre ile 0,5 m³ şebeke suyu kullanılarak rejenerasyon işlemi gerçekleştirilecektir. Renklendirme durulama banyoları gerçek ölçekli 2 m³/h'lik AKD Ünitesi Katyonik Reçine için rejenerasyon tablosu Çizelge 5.15'te verilmiştir.

Çizelge 5.15: Renklendirme Durulama Atıksuları 2 m³/saat Kapasiteli AKD Ünitesi Katyonik Filtre Rejenerasyon Tablosu (Katyonik Reçine Miktarı 200 litre)

Katyonik Reçine Rejenerasyon Aşamaları	Süre (dakika)	Debi (L/saat)	Kullanılacak Su Miktarı (L)	Kullanılacak Kimyasal Miktarı (kg)
1. Aşama (Geri Yıkama)	10	2.000	333	
2. Aşama (Asit Alma)	30	200	100	% 33' lük 66 kg HCl
3. Aşama (Asit Yavaş Durulama)	45	200	150	
4. Aşama (2. Ters Yıkama)	6	2.000	200	
5. Aşama (hızlı durulama)	30	2.000	1.000	
Toplam Süre ve Su Tüketimi	121		1.783	

Çizelge 5.15'e göre Katyonik Reçine 3 günde bir olmak üzere; 10 dakika süre ile 0,333 m³ şebeke suyu ile geri yıkama, 30 dakika süre ile içinde 66 kg %33'lük HCl içeren 0,1 m³ asit çözeltilisini filtreye alma, 45 dakika süre ile 0,15 m³ şebeke suyu ile yavaş durulama, 6 dakika süre ile 0,2 m³ şebeke suyu ile 2. geri yıkama ve 30 dakika süre ile 1,0 m³ şebeke suyu ile hızlı durulama işlemi

olmak üzere toplam 121 dakika süre ile 1,783 m³şebeke suyu kullanılarak rejenerasyon işlemi gerçekleştirilecektir.

Renklendirme durulama banyoları gerçek ölçekli 2 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi Anyonik Reçine için rejenerasyon tablosu Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16: Renklendirme Durulama Atıksuları 2 m³/saat Kapasiteli AKD Ünitesi Anyonik Rejenerasyon Tablosu(Anyonik Reçine Miktarı 200 litre)

Anyonik Reçine Rejenerasyon Aşamaları	Süre (dakika)	Debi (L/saat)	Kullanılacak Su Miktarı (L)	Kullanılacak Kimyasal Miktarı (kg)
1. Aşama (Geri Yıkama)	10	2.000	333	
2. Aşama (Kostik Alma)	30	200	100	% 48'lik 40 kg NaOH
3. Aşama (Kostik Yavaş Durulama)	120	150	300	
4. Aşma (2. Geri Yıkama)	6	2.000	200	
5. Aşama (Hızlı Durulama)	45	2.000	1.500	
Toplam Süre ve Su Tüketimi	211		2.433	

Çizelge 5.16'ya göre Anyonik Reçine 3 günde bir olmak üzere; 10 dakika süre ile 0,333 m³ şebeke suyu ile geri yıkama, 30 dakika süre ile içinde 40 kg %48'lik NaOH içeren 0,1 m³ baz çözeltisini filtreye alma, 120 dakika süre ile 0,3 m³ şebeke suyu ile yavaş durulama, 6 dakika süre ile 0,2 m³ şebeke suyu ile 2. geri yıkama ve 45 dakika süre ile 1,5 m³ şebeke suyu ile hızlı durulama işlemi olmak üzere toplam 211 dakika süre ile 2,433 m³şebeke suyu kullanılarak rejenerasyon işlemi gerçekleştirilecektir.

Renklendirme durulama banyoları gerçek ölçekli 2 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi rejenerasyon için günde gerekli olan şebeke suyu ve kimyasal miktarı Çizelge 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.17:Renklendirme Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 2 m³/saat Kapasiteli AKD Ünitesi Rejenerasyon İşlemi İçin Gerekli Günlük Su Ve Kimyasal Miktarı

Malzemenin Cinsi	Su (m ³ /gün)	HCl (%33'lük) (kg/gün)	NaOH (%48'lik) (kg/gün)
Aktif Karbon Filtresi	0,5		
Katyonik Reçine	1,783/3 =0,594	66/3 =22	
Anyonik Reçine	2,433/3 =0,811		40/3 = 13,33
TOPLAM	1,905	22	13,33

Çizelge 5.17'ye göre AKD Ünitesi rejenerasyonu için günde; Aktif Karbon Filtre için 0,5 m³, Katyonik Reçine için 0,594 m³, Anyonik Reçine için 0,811 m³ olmak üzere toplam 1,905 m³ şebeke suyuna ayrıca Katyonik Reçine için %33'lük 22 kg HCL, Anyonik Reçine için %48'lik 13,33 kg NaOH kullanılacaktır.

Renklendirme durulama banyoları gerçek ölçekli 2 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi'nde kullanılan filtre ve reçinelerden oluşan dolgu malzemelerine ait günlük işletme maliyetleri Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.18:Renklendirme Durulama Suları Gerçek Ölçekli 2 m³/saat Kapasiteli AKD Ünitesi Dolgu Malzemeleri Günlük Maliyetleri

Malzemenin Cinsi	Miktar (L)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)	Değişim Zamanı (gün)	Günlük Maliyet (TL)
Granül Aktif Karbon(AKF)	200	3,00	600,00	365	1,64
Katyonik Reçine(KF)	200	6,00	1.200,00	1.825	0,66
Anyonik Reçine(AF)	200	18,00	3.600,00	1.825	1,97
TOPLAM					4,27

Çizelge 5.18'e göre AKD Ünitesi'nde kullanılan dolgu(filtre-reçine) malzemelerinin; Ünite'de kullanılacak olan 200 L hacmindeki AKF'nin 365 günde bir değiştirilmesine bağlı olarak günlük işletme maliyeti 1,64 TL, 200 L hacmindeki KF'nin 1.825 günde bir değiştirilmesine bağlı olarak günlük işletme maliyeti 0,66 TL ve 200 L hacmindeki AF'nin 1.825 günde bir değiştirilmesine

bağlı olarak günlük işletme maliyeti 1,97 TL olmak üzere günlük toplam 4,27 TL dolgu malzeme(işletme) maliyeti olacaktır. Renklendirme durulama banyoları gerçek ölçekli 2 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi'ne ait günlük işletme maliyetleri Çizelge 5.19'da verilmiştir.

Çizelge 5.19: Renklendirme Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 2 m³/saat AKD Ünitesi Günlük İşletme Maliyetleri

Maliyet Konusu	Harcanan Miktar (m ³)	Birim Maliyet (m ³ /TL)	Harcanan Miktar (kg)	Birim Maliyet (kg/TL)	Toplam Maliyet (TL)
Şebeke Suyu İle Rejenerasyon	1,905	10,00	-	-	19,05
Rejenerasyon Sonrası Atıksu Arıtımı	1,905	8,50	-	-	16,19
HCl (%33)	-	-	22,00	0,46	10,12
NaOH (%48)	-	-	13,33	0,88	11,70
Elektrik					1,20
Dolgu Malzemesi Maliyeti					4,27
TOPLAM					62,53

Çizelge 5.19'a göre renklendirme durulama banyoları gerçek ölçekli 2 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi kullanıldığında; rejenerasyon amaçlı 1,905 m³ şebeke suyu kullanımına bağlı 19,05 TL, rejenerasyon işlemi sonrası oluşan 1,905 m³ atıksuyun arıtımına bağlı olarak 16,19 TL, Katyonik Reçine'de %33'lük HCL kullanımına bağlı 10,12 TL, Anyonik Reçine'de %48'lik NaOH kullanımına bağlı 11,70 TL olmak üzere toplam 57,06 TL rejenerasyon amaçlı maliyet olmaktadır. Ünite de enerji amaçlı kullanılan elektriğe bağlı 1,20 TL(0,3 TL birim maliyetle, günde 10 saat çalışma ile ünite de kullanılan 0,4 kW gücündeki elektrik motorunda kullanılan elektriğin maliyeti) ve ünite de kullanılan filtre-reçine malzemesi maliyetine bağlı 4,27 TL olmak üzere günde toplam 62,53 TL'lık işletme maliyeti olacaktır.

Renklendirme Durulama Banyoları Geri Kazanımı için kullanılacak olan 2 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli bir AKD Ünitesi'nin kullanımı ile; renklendirme durulama banyosundan günde oluşan 20 m³ atıksuyun %92,2 verim ile geri kazanılan 18,44 m³ temizsu banyolarda tekrar kullanılabilir. 1 m³ temiz

suyu maliyetinin 10 TL olması nedeniyle günde 18,44 m³ geri kazanım suyunun renklendirme banyolarda tekrar kullanılmasıyla 18,44x10=184,4 TL'lık gelir sağlanacaktır. 1 m³ atıksuyun arıtma maliyeti 8,5 TL olan tesise ait Kimyasal Arıtma Tesisi'nde bu banyolardan günde oluşan 18,44 m³ atıksuyun arıtılmayışına bağlı olarak günde 18,44 x 8,5=156,74 TL'lık gelir sağlanacaktır. Bu durumda günde toplam 184,4+156,74=341,14 TL gelir sağlanacaktır. 2 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi'nin günlük toplam işletme maliyetinin 62,53 TL olması nedeniyle günde 341,14-62,53=278,61 TL kazanç sağlanacaktır. 300 gün çalışma üzerinden yılda 300x278,61=83.583 TL'lık kazanç sağlanıp 18,44x300=5.532 m³ atıksu renklendirme durulama banyolarda tekrar kullanılabilir. Renklendirme Durulama Banyosu için kullanılacak olan 2 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli bir AKD Ünitesi'nin maliyeti yaklaşık 60.000 TL dir. Ünite kendini yaklaşık 8,6 ayda amorti edecektir.

5.5 Tespit Durulama Banyoları İçin Gerçek Ölçekli AKD Ünitesi Çalışması

Tespit durulama banyoları için haftada 80 m³ olmak üzere günde 80 m³/6 gün = 13,33 m³su kullanılmaktadır. Tespit durulama banyosunda 450 L/h kapasiteli Pilot Anyonik-Katyonik Demineralize(AKD) pilot ünitesi ile uygulama yapılmış ve 850 µs/cm iletkenliğe sahip atıksular %77,1 giderim verimi ile 195 µs/cm iletkenliğe düşürülmüştür.

Pilot AKD ünitesi tespit durulama banyosundan alınan suyla üretilen temiz suyun tekrar banyoya verilmesi şeklinde kapalı çevrim içerisinde 450 L/h kapasitede çalıştırıldı. Sistem yaklaşık 4 saat süresince ortalama 500 µS/cm değerinde su üretti ve tespit durulama banyosuna verildi. Durulama banyosu iletkenlik değerini yaklaşık 200 µS/cm düşürdüğü görüldü. Tespit durulama banyosu özellikleri ve değerleri çizelge 5.20'de verilmiştir.

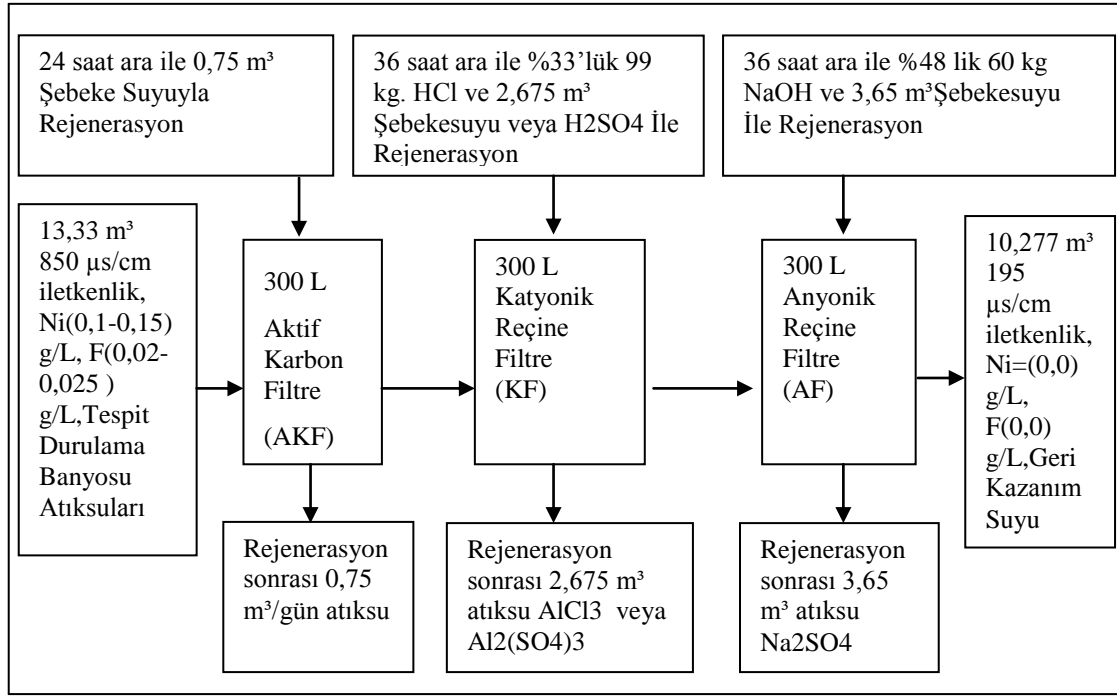
Çizelge 5.20:Tespit Durulama Banyosu Özellikleri Ve Değerleri

Tespit Durulama Banyosu Özellikleri	Birim	Banyo Değerleri
Banyo Hacmi	m ³	10
Banyo Boşaltım Periyodu	hafta	1
Günlük Çalışma Süresi	saat	20
Tespit Durulama Banyosu Seyrelme Suyu Miktarı	m ³ /saat	0,5 - 0,6
Tespit Durulama Banyosu Seyrelme Suyu Miktarı	m ³ /gün	10 - 12
Nikel	g/L	0,1 - 0,15
Florür	g/L	0,02 - 0,025
İletkenlik	µS/cm	600 - 2.000
pH	6 - 7	

Günlük 10-12 m³ su yaklaşık saatlik 0,5-0,6 m³ yumuşak su taşıması ile tespit durulama banyosu iletkenliği sabit tutulduğu göz önüne alınırsa, saatte 3 m³ AKD çevrim suyu bu banyonun iletkenliğini düşürecektir.

Tespit durulama banyosu için 3 m³/h kapasitede bir AKD ünitesi yapılırsa banyonun toplam suyunu 10/3= 3,3 saat sürede tamamen çevireceği için banyo iletkenliği < 500 µS/cm olacağı tespit edilmiştir. Bir saatlik çevrim süresince banyonun iletkenliği max 100-200 µS/cm artacaktır. Bu durumda sisteme gelecek olan kirlilik yükü düşeceğinden dolayı sistem daha uzun süre ile düşük iletkenlikte su üretecektir. Bu süre askılardan taşınan tespit banyosunun özelliğine, taşırılan su miktarına ve geçirilen askı miktarına göre değişkenlik gösterecektir. Tespit banyosu işletme kapasitesine göre yaklaşım yapıldığında, sistemin çalışma süresi 2-4 gün olacağı tespit edilmiştir. Ortalama 3 günde bir rejenerasyon yapılacaktır. Tespit durulama atıksuları için gerçek ölçekte yapılacak 3 m³/h kapasiteli AKD ünitesine ait akış şeması Şekil 5.5'te verilmiştir.

3 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD ünitesinde kullanılacak olan reçineler bu atıksuların nötr karaktere yakın olmaları nedeniyle anyon katyon oranları yaklaşık eşit kabul edilerek aynı hacimde olacaktır. Debi/Reçine Miktarı 10 alınarak 3 m³/h kapasite için reçine miktarı 300 L olacaktır.



Şekil 5.5: Tespit Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 3 m³/h Kapasiteli AKD Ünitesi Akış Şeması

Şekil 5.5'e göre; 13,33 m³(850 µs/cm iletkenlik, Ni= 0,1-0,15 g/L, F=0,02-0,025 g/L, değerlerine sahip) Tespit Durulama Banyosu Atıksuları 3 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD Ünitesi ile %77,1 verim ile 10,277 m³(195 µs/cm iletkenlik, Ni=0,0 g/L, F=0,0 g/L, değerine sahip)atıksu geri kazanılarak tespit durulama banyosunda tekrar kullanılacaktır. Gerçek ölçekli AKD Ünitesi için; AKF filtresi günde bir defa olmak üzere 0,75m³ şebeke suyu kullanılarak, Katyonik Reçine 3 günde bir olmak üzere içinde 99 kg %33'lük HCl ve 2,675 m³ şebeke suyu kullanılarak, Anyonik Reçine 3 günde bir olmak üzere 60 kg %48'lik NaOH ve 3,65m³ şebeke suyu kullanılarak rejenerasyon işlemi yapılacaktır. Rejenerasyon işlemi sonrasında; AKF'den 0,75 m³ atıksu, Katyonik Reçine'den 2,675 m³ atıksu ayrıca AlCl₃veya Al₂(SO₄)₃, Anyonik Reçine'den 3,65 m³ atıksu ayrıca Na₂SO₄ meydana gelecektir.

Tespit durulama banyoları gerçek ölçekli 3 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi AKF için rejenerasyon tablosu Çizelge 5.21'de verilmiştir.

Çizelge 5.21: Tespit Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 3 m³/saat Kapasiteli AKD Ünitesi Karbon Filtresi Yıkama Tablosu(Aktif Karbon Miktarı 300 litre)

AKF Filtre Yıkama Aşamaları	Süre (dakika)	Debi (L/saat)	Kullanılacak Su Miktarı (L)
Aşama (Geri yıkama)	10	3.000	500
Aşama (Durulama)	5	3.000	250
Toplam Süre ve Su Tüketimi	15		750

Çizelge 5.21'e göre AKF filtresi günde bir defa olmak üzere; 10 dakika süre ile 0,5 m³ şebeke suyu ile geri yıkama ve 5 dakika süre ile 0,25 m³ şebeke suyu ile durulama işlemi olmak üzere toplam 15 dakika süre ile 0,75 m³şebeke suyu kullanılarak rejenerasyon işlemi gerçekleştirilecektir.

Tespit durulama banyoları gerçek ölçekli 3 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi Katyonik Reçine için rejenerasyon tablosu Çizelge 5.22’de verilmiştir.

Çizelge 5.22: Tespit Durulama Atıksuları 3 m³/saat Kapasiteli AKD Ünitesi Katyonik Filtre Tablosu (Katyonik Reçine Miktarı 300 litre)

Katyonik Reçine Rejenerasyon Aşamaları	Süre (dakika)	Debi (L/saat)	Kullanılacak Su Miktarı (L)	Kullanılacak Kimyasal Miktarı (kg)
1. Aşama (Geri Yıkama)	10	3.000	500	
2. Aşama (Asit Alma)	30	300	150	% 33’ lük 99 kg HCl
3. Aşama(Asit Yavaş Durulama)	45	300	225	
4. Aşama (2. Ters Yıkama)	6	3.000	300	
5. Aşama (Hızlı Durulama)	30	3.000	1.500	
Toplam Süre ve Su Tüketimi	121		2.675	

Çizelge 5.22'ye göre Katyonik Reçine 3 günde bir olmak üzere; 10 dakika süre ile 0,5 m³ şebeke suyu ile geri yıkama, 30 dakika süre ile içinde 99 kg %33’lük HCl içeren 0,15 m³ asit çözeltisini filtreye alma, 45 dakika süre ile 0,225 m³ şebeke suyu ile yavaş durulama, 6 dakika süre ile 0,3 m³ şebeke suyu ile 2. geri yıkama ve 30 dakika süre ile 1,5 m³ şebeke suyu ile hızlı durulama işlemi olmak üzere toplam 121 dakika süre ile 2,675 m³şebeke suyu kullanılarak rejenerasyon işlemi gerçekleştirilecektir.

Tespit durulama banyoları gerçek ölçekli 3 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi Anyonik Reçine için rejenerasyon tablosu Çizelge 5.23’te verilmiştir.

Çizelge 5.23: Tespit Durulama Atıksuları 3 m³/saat Kapasiteli AKD Ünitesi Anyonik Filtre Rejenerasyon Tablosu(Anyonik Reçine Miktarı 300 litre)

Anyonik Reçine Rejenerasyon Aşamaları	Süre (dakika)	Debi (L/saat)	Kullanılacak Su Miktarı (L)	Kullanılacak Kimyasal Miktarı (kg)
1. Aşama (Geri Yıkama)	10	3.000	500	
2. Aşama (Kostik Alma)	30	300	150	% 48'lik 60 kg NaOH
3. Aşama (Kostik Yavaş Durulama)	120	300	450	
4. Aşama (2. Geri Yıkama)	6	3.000	300	
5. Aşama (Hızlı Durulama)	45	3.000	2.250	
Toplam Süre & Su Tüketimi	211		3.650	

Çizelge 5.23'e göre Anyonik Reçine 3 günde bir olmak üzere; 10 dakika süre ile 0,5 m³ şebeke suyu ile geri yıkama, 30 dakika süre ile içinde 60 kg %48'lik NaOH içeren 0,15 m³ baz çözeltisini filtreye alma, 120 dakika süre ile 0,45 m³ şebeke suyu ile yavaş durulama, 6 dakika süre ile 0,3 m³ şebeke suyu ile 2. geri yıkama ve 45 dakika süre ile 2,25 m³ şebeke suyu ile hızlı durulama işlemi olmak üzere toplam 211 dakika süre ile 3,65 m³ şebeke suyu kullanılarak rejenerasyon işlemi gerçekleştirilecektir.

Tespit durulama banyoları gerçek ölçekli 3 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi rejenerasyonu için günde gerekli olan şebeke suyu ve kimyasal miktarı Çizelge 5.24'te verilmiştir.

Çizelge 5.24: Tespit Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 3 m³/saat Kapasiteli AKD Ünitesi Rejenerasyon İşlemi İçin Gerekli Günlük Su Ve Kimyasal Miktarı

Malzemenin Cinsi	Su (m ³ /gün)	HCl (%33'lük) (kg/gün)	NaOH (%48'lik) (kg/gün)
Aktif Karbon Filtresi	0,75		
Katyonik Reçine	2,675/3 =0,891	99/3 =33	
Anyonik Reçine	3,65/3 =1,217		60/3 = 20
TOPLAM	2,858	33	20

Çizelge 5.24'e göre AKD Ünitesi rejenerasyonu için günde; Aktif Karbon Filtre için 0,75 m³, Katyonik Reçine için 0,891 m³, Anyonik Reçine için 1,217 m³ olmak üzere toplam 2,858 m³ şebeke suyuna ayrıca Katyonik Reçine için %33'lük 33 kg HCL, Anyonik Reçine için %48'lik 20 kg NaOH kullanılacaktır.

Tespit durulama banyoları gerçek ölçekli 3 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi'nde kullanılan filtre ve reçinelerden oluşan dolgu malzemelerine ait günlük işletme maliyetleri Çizelge 5.25'te verilmiştir.

Çizelge 5.25: Tespit Durulama Suları Gerçek Ölçekli 3 m³/saat Kapasiteli AKD Ünitesi Dolgu Malzemeleri Günlük Maliyetleri

Malzemenin Cinsi	Miktar (L)	Birim Fiyat(TL)	Toplam Fiyat(TL)	Değişim Zamanı (gün)	Günlük Maliyet (TL)
Granül Aktif Karbon(AKF)	300	3,30	990,00	365	2,71
Katyonik Reçine(KF)	300	6,60	1.990,00	1.825	1,09
Anyonik Reçine(AF)	300	20,00	5.385,00	1.825	2,95
TOPLAM					6,75

Çizelge 5.25'e göre AKD Ünitesi'nde kullanılan dolgu(filtre-reçine) malzemelerinin; Ünite'de kullanılacak olan 300 L hacmindeki AKF'nin 365 günde bir değiştirilmesine bağlı olarak günlük işletme maliyeti 2,71 TL, 300 L hacmindeki KF'nin 1.825 günde bir değiştirilmesine bağlı olarak günlük işletme maliyeti 1,09 TL ve 300 L hacmindeki AF'nin 1.825 günde bir değiştirilmesine bağlı olarak günlük işletme maliyeti 2,95 TL olmak üzere günlük toplam 6,75 TL'lık dolgu malzeme(işletme) maliyeti olacaktır.

Tespit durulama banyoları gerçek ölçekli 3 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi'ne ait günlük işletme maliyetleri Çizelge 5.26'da verilmiştir.

Çizelge 5.26: Tespit Durulama Atıksuları Gerçek Ölçekli 3 m³/saat AKD Ünitesi Günlük İşletme Maliyetleri

Maliyet Konusu	Harcanan Miktar (m ³)	Birim Maliyet (m ³ /TL)	Harcanan Miktar (kg)	Birim Maliyet (kg/TL)	Toplam Maliyet (TL)
Şebeke Suyu İle Rejenerasyon	2,858	10,00	-	-	28,58
Rejenerasyon Sonrası Atıksu Arıtımı	2,858	8,50	-	-	24,29
HCl (%33)	-	-	33,00	0,46	15,18
NaOH (%48)	-	-	20,00	0,88	17,60
Elektrik					0,75
Dolgu Malzemesi Maliyeti					6,75
TOPLAM					93,15

Çizelge 5.26'ya göre elokal durulama banyoları gerçek ölçekli 3 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi kullanıldığında; rejenerasyon amaçlı 2,858 m³ şebeke suyu

kullanımına bağı 28,58 TL, rejenerasyon işlemleri sonrası oluşan 2,858 m³ atıksuyun arıtımına bağı olarak 24,29 TL, Katyonik Reçine'de %33'lük HCL kullanımına bağı 15,18 TL, Anyonik Reçine'de %48'lik NaOH kullanımına bağı 17,60 TL olmak üzere toplam 85,65 TL rejenerasyon amaçlı maliyet olmaktadır. Ünite enerji amaçlı kullanılan elektriğe bağı 0,75 TL (0,3 TL birim fiyatla günde 5 saat çalışma ile ünite kullanılan 0,5 kW gücündeki elektrik motorunda kullanılan elektriğin maliyeti) ve ünite kullanılan filtre-reçine malzemesi maliyetine bağı 6,75 TL olmak üzere günde toplam 93,15 TL'lık işletme maliyeti olacaktır.

Tespit Durulama Banyosu geri kazanımı için kullanılacak olan 3 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli bir AKD Ünitesi'nin kullanımı ile; tespit durulama banyosundan haftada 80 m³ ve günde 80/6=13,33 m³ atıksuyun %77,1 verim ile 10,277 m³ geri kazanılarak tespit durulama banyosunda tekrar kullanılacaktır. 1 m³ temiz suyu maliyetinin 10 TL olması nedeniyle günde 10,277 m³ geri kazanım suyunun tespit durulama banyosunda tekrar kullanılmasıyla 10,277x10=102,77 TL'lık gelir sağlanacaktır. 1 m³ atıksuyun arıtma maliyeti 8,5 TL olan tesise ait Kimyasal Arıtma Tesisi'nde geri kazanılan günde 10,277 m³ atıksuyun arıtılmayışına bağı olarak günde yaklaşık 10,277 x 8,5=87,35 TL'lık gelir sağlanacaktır. Bu durumda günde toplam 102,77+87,35=190,12 TL'lık gelir sağlanacaktır. 3 m³/h kapasiteli AKD Ünitesi'nin günlük toplam işletme maliyetinin 93,15 TL olması nedeniyle günde 190,12-93,15=96,97 TL kazanç sağlanacaktır. 300 gün çalışma üzerinden yılda 300x96,97=29.091 TL'lık kazanç sağlanacaktır. Ayrıca yılda 10,277x300=3.083 m³ atıksu geri kazanılarak tespit durulama banyosunda tekrar kullanılacaktır. Tespit Durulama Banyosu için kullanılacak olan 3 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli bir AKD Ünitesi'nin maliyeti yaklaşık 80.000 TL dır. Ünite kendini yaklaşık 33 ayda amorti edecektir.

5.6 Çalışmanın Enerji Bakımından İncelenmesi

Bu kapsamda aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır;

a)Geçek ölçekte geri kazanım ünitelerinde kullanılacak elektrik enerjisinin maliyeti ile geri kazanım işleminden sonra arıtma tesisine giden daha az

atıksuyun arıtımıyla arıtma tesisinde kullanılan elektrik enerjisindeki azalmaya bağlı olarak değerlendirilmesi yapılmıştır.

b)Kaplama işleminde kullanılanbanyoların her birinin ısıtılması için gerekli enerji hesaplanarak banyoların ısıtılmasında kullanılan Buhar Kazanı'nın kapasitesinin yeterliliği değerlendirilmiştir. Ayrıca banyoların ısınma süreleri hesaplanmıştır.

c)Tesisin üretim artışında yeni ilave banyoların kaplama işleminde kullanılması durumunda bu banyoların ısıtılması için mevcut durumda kullanılan buhar kazanının kapasitesi yetersiz kalabilecektir. Bu durumda daha büyük bir buhar kazanı maliyetine katlanılacaktır. İlave banyolar için gereğinden daha fazla ısılgüç kullanılmasının önlenmesi için kaplama işleminde kullanılan yağalma banyosunun elektrikli olarak, kostik ve sıcak tespit banyosunun doğalgaz kullanılarak şaloma-bekli sistemle ısıtılması için gerekli hesaplar yapılarak alternatif sunulmuştur.

d)Eloksal banyosunda proses gereği oluşan ısının düşürülmesi için mevcut soğutma grubunun enerji açısından değerlendirilmesi yapılmıştır.

e)Banyolardan oluşan emisyonların ortamdan çekilerek bacadan atılması için gerekli motor güçleri, çekiş debi ve hızı hesaplanarak çekişi yapacak olan vantilatörün tasarımı yapılmıştır. Bu kapsamda tesiste emiş sisteminde kullanılan motorların gücü kıyaslanarak elektrik sarfiyatı bakımından değerlendirilmesi yapılmıştır.

Eloksal kaplama işleminde Kostik Durulama, Eloksal, Eloksal Durulama, Renklendirme Durulama ve Tespit Durulama Banyoları'ndaki geri kazanım üniteleri için kullanılacak enerjinin miktarı ve maliyeti Çizelge 5.27'de verilmiştir.

Çizelge 5.27:Eloksal Kaplama Banyoları Geri Kazanım Üniteleri Enerji Tablosu

Geri Kazanım Ünitesi	Ünite Kapasitesi (m ³ /h)	Elektrik Motor Gücü (kW/h)	Çalışma Süresi(h)	Birim Fiyat (TL/kW)	Günlük Maliyet (TL)
Kostik Durulama-NF	0,75	22	20	0,3	132,0
Eloksal-AİD	5	5	1	0,3	1,5
Eloksal Durulama-AKD	8	5,5	2	0,3	3,3
Renklendirme Durulama-AKD	2	0,4	10	0,3	1,20
Tespit Durulama-AKD	3	0,5	5	0,3	0,75
TOPLAM					138,75

Çizelge 5.27'ye göre; kostik durulama, eloksal, eloksal durulama, renklendirme durulama ve tespit durulama banyolarındagerçek ölçekli geri kazanım üniteleri için kullanılacak elektrik enerjisinin günlük toplam 138,75 TL'lık maliyeti olacaktır. Kostik durulama banyosunda kullanılan 0.75 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli NF Ünitesi'nde 22 kW'lık elektrik motorunun günde 20 saat çalışması ile 132 TL'lık maliyeti olacaktır. Bu elektrik maliyeti diğer ünitelerin yanında oldukça yüksek kalmaktadır. Buradan NF Ünitesi'nde kullanılan membranlar basınçlı çalıştıklarından dolayı ünite de kullanılan elektrik motor güçlerinin yüksek ve ünite çalışma sürelerinin fazla olması nedeniyle elektrik enerjisi maliyeti fazla olduğu sonucuna varılmaktadır.

Gerçek ölçekli geri kazanım üniteleri kullanıldığında; bu banyolardan geri kazanılan atıksuyun tesise ait Kimyasal Arıtma Tesisi'nde Çizelge 5.28'de gösterilen Üniteleri'ndeki elektrik motorlarının belirtilen süreler kadar çalıştırılmayışına bağlı olarak elektrik enerjisi maliyetleriazalacaktır.

Çizelge 5.28:Gerçek Ölçekli GeriKazanımÜnitelerinin Kullanılmasına Bağlı Olarak Kimyasal Arıtma Tesisi'nden Sağlanacak Enerji Tasarrufu Tablosu

Kimyasal Arıtma Tesisi Ünitesi	Ünite Kapasitesi (m ³ /h)	Elektrik Motor Gücü (kW/h)	Çalışma Süresindeki Azalma(h/gün)	Birim Fiyat (TL/kW)	Günlük Maliyet Azalması (TL)
Dengeleme Havuzundan Kimyasal Tanka Basma Pompası Motoru	5	5	20	0,3	30,0
Kimyasal Tank Karıştırma Motoru	-	3	5	0,3	4,5
Filtrepres Yıkama Pompası Motoru	10	10	10	0,3	30,0
TOPLAM					64,5

Çizelge 5.28'e göre; kostik durulama, eloksal, eloksal durulama, renklendirme durulama ve tespit durulama banyolarındagerçek ölçekli geri kazanım üniteleri ile kimyasal arıtma tesisine daha az atıksu gidecektir. Bu durumda arıtma tesisi ekipmanlarının çalışma sürelerinin azalmasına bağlı olarak elektrik enerjisinin maliyetinde azalma meydana gelecektir.

5 kW gücündeki Dengeleme Havuzu'ndan Kimyasal Tanka Basma Pompası Motoru 20 saat daha az çalışarak günde 30 TL'lık kazanç sağlayacaktır. 3 kW

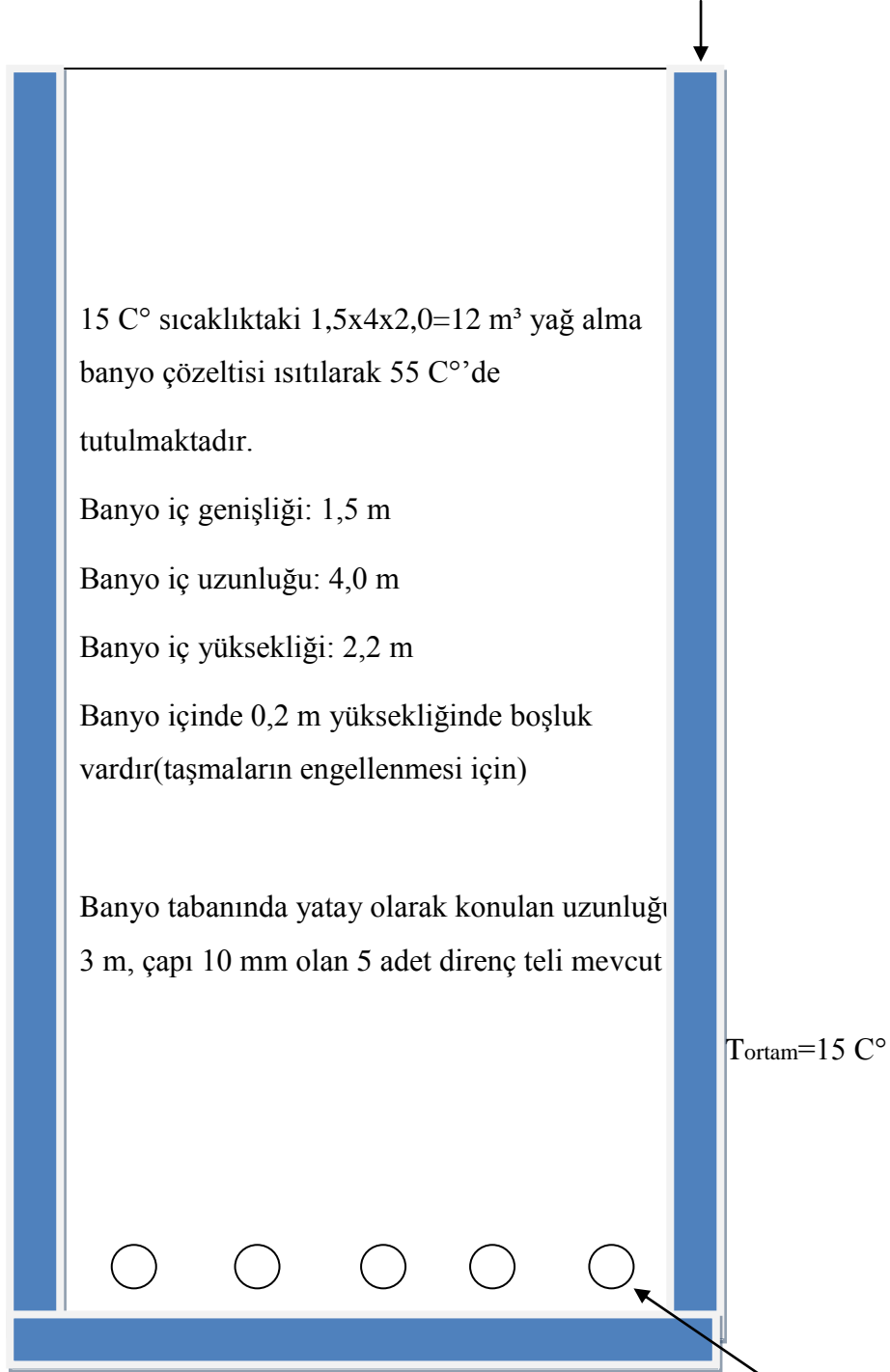
gücündeki Kimyasal Tank Karıştırma Motoru 5 saat daha az çalışarak günde 4,5TL'lık kazanç sağlayacaktır. 10 kW gücündeki Filtrepres Yıkama Pompası Motoru 10 saat daha az çalışarak günde 30 TL'lık kazanç sağlayacaktır. Bu durumda günde toplam $30 + 4,5 + 30=65$ TL'lık kazanç sağlanacaktır.

Sonuçta kostik durulama, eloksal, eloksal durulama, renklendirme durulama ve tespit durulama banyolarında gerçek ölçekli geri kazanım üniteleri kullanıldığında $138,75-64,5=74,25$ TL günde olmak üzere yılda 300 gün çalışma ile $74,25 \times 300=22.275$ TL'lık elektrik enerjisi maliyeti olacaktır.

5.6.1 Eloksal Kaplama Yağ Alma Banyosunun Isıtılması Hesabı

Eloksal kaplama yağ alma banyosu ve ısıtılması Şekil 5.6’da verilmiştir.

10 mm kalınlığında SAE 1010 Sac Malzeme



10 mm çapında ve 3 m uzunluğundaki 5 adet Paslanmaz Çelik 316 direnç teli

Şekil 5.6: Eloksal Kaplama Yağ Alma Banyosu Ve Isıtılması

Yağalma Banyosu soğuk havalarda banyo içindeki -3 C°'deki şebeke suyu 55 C°'ye ısıtılacaktır(içinde az miktarda bulunan yağalma kimyasalı ihmal edilerek); $(-3+55)/2=26$ C°'de renklendirme banyosu su yoğunluğu $\rho =996,8$ kg/m³, $c=4,180$ kJ/kg.C, alınarak [75];

Yağalma banyosu suyu yoğunluğu, $\rho=m/V$ ise $m=996,8.12=11.961,6$ kg olarak bulunur.

Banyonun ısıtılması için gerekli enerji miktarı formül (1)'de verilmiştir [76].

$$q=m.c.(T_{son}-T_{ilk}) \text{ formülü kullanılarak} \quad (1),$$

$q=m.c.(T_{son}-T_{ilk})=(11.961,6).(4,180).(55-(-3))=2.899.970,304$ kJ ısıya ihtiyaç vardır. Banyonun ideal olarak 1 saatte ısıtılması için gerekli güç formül (2) ile,

$$q=P.t, \quad (2),$$

$2.899.970,304 \text{ kJ}=P.3.600$, $P=2.899.970,304/3.600=805,55$ kW'lık ısıtıcı gücüne ihtiyaç vardır.

Uzunluğu 3 m, çapı 10 mm olan 5 adet direnç teli ile ısıtılan içinde 12 m³ sulu kimyasal bulunan eloksal yağalma banyosu 55 C°'de tutulmaktadır. SAE 1010 çelik malzemedен yapılan Yağ Alma Banyosu et kalınlığı 10 mm dir.

220 Volt elektrik gerilimi ile 800 Amper akımda çalıştırılacak olan 5 adet ısıtıcı direnç telinde olan ısı üretim hızı hesaplanırsa;

$E_{\text{üretilen}}=V.I=5.220.800=880.00$ W=880 kW olarak hesaplanır. Bu miktar ısıtıcı güç, banyonun ısıtılması için gerekli olan 805,92 kW için yeterli olacaktır.

5.6.2 Elokmal Kaplama Sökme Banyosunun Isıtılması Hesabı

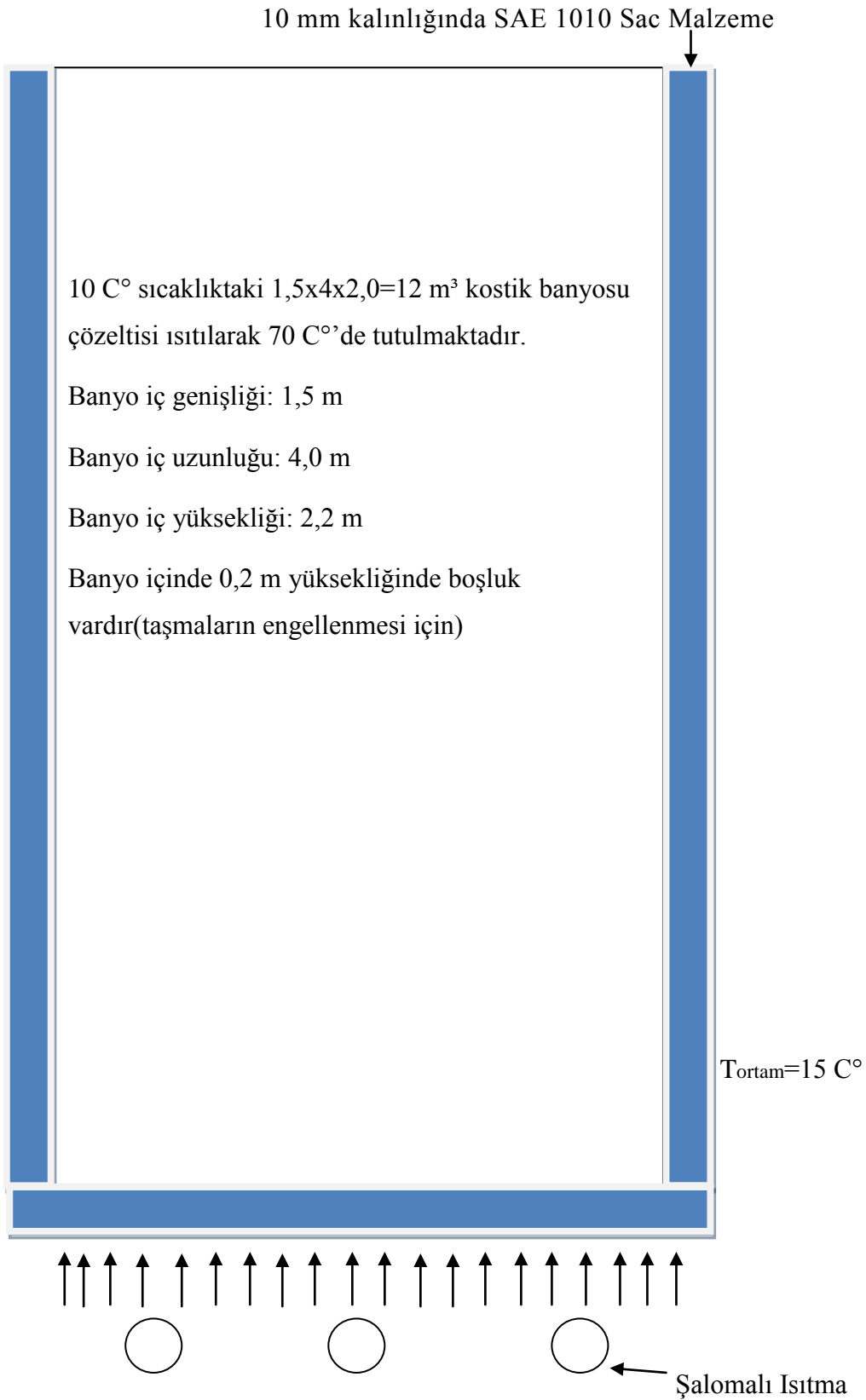
Sökme Banyosu soğuk havalarda banyo içindeki -3 C°'deki şebeke suyu 50 C°'ye ısıtılacaktır(içinde az miktarda bulunan sökme kimyasalı ihmal edilerek); $(-3+50)/2=23,5$ C°'de eloksal banyosu su yoğunluğu $\rho=997,5$ kg/m³, $c=4,1801$ kJ/kg.C, alınarak; sökme banyosu suyu yoğunluğu, $\rho=m/V$ ise $m=997,5.12=11.970$ kg olarak bulunur.

$q=m.c.(T_{son}-T_{ilk})=(11.970).(4,1801).(50-(-3))=2.651.897,241$ kJ ısıya ihtiyaç vardır. Banyonun ideal olarak 1 saatte ısıtılması için gerekli güç hesaplanırsa;

$q=P.t$ ise, $2.651.897,241 \text{ kJ}=P.3.600$, $P=2.651.897,241/3.600=736,64$ kW'lık ısıtıcı gücüne ihtiyaç vardır.

5.6.3 Eloksal Kaplama Mat(Kostik) Banyosunun Isıtma Hesabı

Eloksal kaplama kostik banyosu ve ısıtılması Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7: Eloksal Kaplama Kostik Banyosu Ve Isıtılması

Doğalgaz kullanılarak Şalomalı-Bek ile ısıtılan kostik banyosu yüzeyi 8.250 kcal/m³ alt yakıt ısı değerine sahip doğalgaz kullanılarak her biri 10 m³/h kapasiteli 3 sıra ve her sırada 3 adet olmak üzere toplam 9 adet şalomalı-bek ile tespit banyosu tabandan ısıtılacaktır.

10 C°'de içinde 12 m³ sulu kimyasal bulunan kostik banyosu ısıtılarak 70 C°'de tutulmaktadır. SAE 1010 çelik malzemeden yapılan sıcak tespit banyosu et kalınlığı 10 mm dir. Isı geçişi taban alanı 1,5x4=6 m² olan 10 mm kalınlığındaki SAE 1010 çelik malzemeden olmaktadır. Banyo içindeki 10 C°'deki şebeke suyu 70 C°'ye ısıtılmaktadır(içinde kullanılan kimyasal ihmal edilerek); $(10+70)/2=40$ C°'de sıcak tespit banyosu su yoğunluğu $d=992,1$ kg/m³, özgül ısı $c=4,179$ kJ/kg.C°,

Banyo'nun ısıtılması için gerekli ısı güç hesaplanırsa;

Kostik banyosu suyu yoğunluğu, $d=m/V$ ise $m=992,1.12=11.905,2$ kg olarak bulunur. SAE 1010 malzeme banyocidarının ısıtılması için gerekli ısı güç ihmal edilerek,

$q=m.c.(T_{son}-T_{ilk})=(11.905,2).(4,179).(70-10)=2.985.109,848$ kJ ısıya ihtiyaç vardır. Banyonun ideal olarak 1 saatte ısıtılması için gerekli güç hesaplanırsa;

$q=P.t$ ise, $2.985.109,848$ kJ= $P.3.600$, $P=2.985.109,848/3.600=829,2$ kW'lık ısıtıcı gücüne ihtiyaç vardır.

8.250 kcal/m³ alt yakıt ısı değerine sahip doğalgaz kullanılarak her biri 10 m³/h kapasiteli olmak üzere toplam 9 adet bek-şaloma ile toplam 90 m³/h debisindeki doğalgaz ile ısıtma yapılırsa,

Banyonun ısıtılması için gerekli ısı güç,

$P=(900$ m³/h). $(8.250$ kcal/m³)= $7.425.000$ kcal/h= $206,25$ kcal/s bulunur. 1 kW = 0.239 kcal/s alınarak, $P=206,25$ kcal/s= $206,25/0,239=862,97$ kW'lık bek-şalomalı ısıtıcı gücü kullanılacaktır

Banyo'nun ısıtılması için gerekli süre hesaplanırsa;

$q=P.t,$

$q=(2.985.109,848\text{kJ})=(862,97$ kJ/s). $t,$

$t=(2.985.109,848)/(862,97)=3.459,1$ s, $t =0,96$ saatte banyo ısıtılır.

Soğuk havalardan banyonun ısıtılması için;

Banyo içindeki -3 C°'deki şebeke suyu 70 C°'ye ısıtılmaktadır(içinde % 5-6 oranında kostik, % 10-20 çözünmüş alüminyum ve %3-5 oranında da katkı malzemesi ihmal edilerek); $(-3+70)/2=33,5$ C°'de sıcak tespit banyosu su yoğunluğu $d=994,9$ kg/m³, özgül ısı $c=4,178$ kJ/kg.C°,

Banyo'nun ısıtılması için gerekli ısı güç hesaplanırsa;

Kostik banyosu suyu yoğunluğu, $d=m/V$ ise $m=994,9 \times 12=11.938,8$ kg olarak bulunur.

SAE 1010 malzeme banyo cidarının ısıtılması için gerekli ısı güç ihmal edilerek,

$q=m.c.(T_{son}-T_{ilk})=(11.938,8).(4,178).(70-(-3))=3.641.262,367$ kJ'lük ısıya ihtiyaç vardır. Bu durumda 2.985.109,848 kJ'luk bek-şalomalı ısıtıcının enerjisi yeterli olmayacaktır. Banyonun ideal olarak 1 saatte ısıtılması için gerekli güç hesaplanırsa;

$q=P.t$ ise, $3.641.262,367$ kJ= $P.3.600$, $P=3.641.262,367/3.600=1.011,46$ kW'lık ısıtıcı gücüne ihtiyaç vardır.

Her biri 12 m³/h kapasiteli olmak üzere toplam 9 adet bek-şaloma ile toplam 144 m³/h debisindeki doğalgaz ile ısıtma yapılarak gerekli güç hesaplanırsa,

$P=(109$ m³/h). $(8.250$ kcal/m³)= 891.000 kcal/h= $247,5$ kcal/s bulunur. 1 kW= 0.239 kcal/s alınarak, $P=247,5/0,239=1.035,56$ kW'lık bek-şalomalı ısıtıcı gücü yeterli olacaktır.

Banyo'nun ısıtılması için gerekli süre hesaplanırsa;

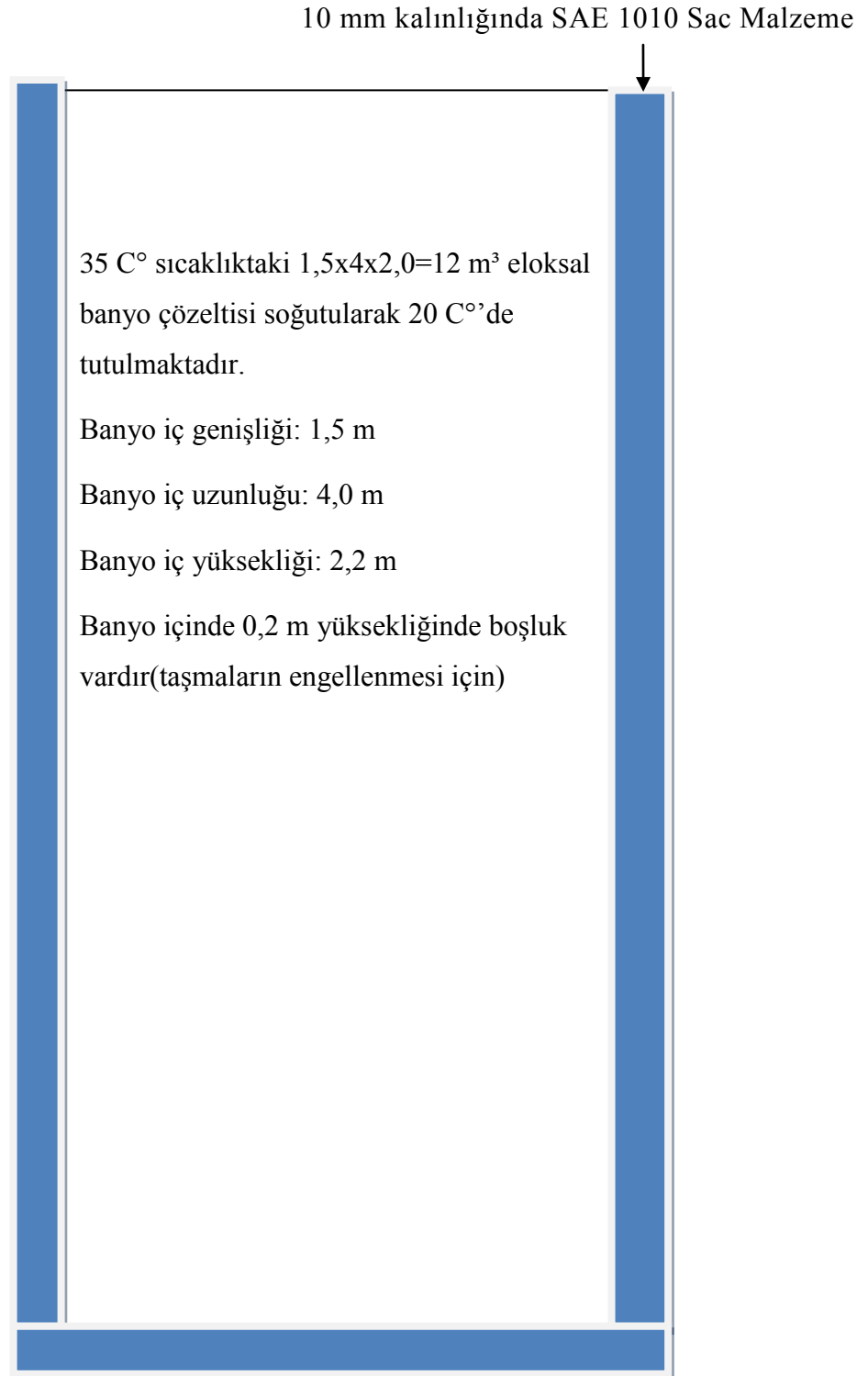
$q=P.t$,

$q=(3.641.262,367$ kJ)=($1.035,56$ kJ/s).t,

$t=(3.641.262,367)/(1.035,56)=3.516,22$ s, $t=0,98$ saatte banyo ısıtılır.

5.6.4 Eloksal Kaplama Eloksal Banyosunun Soğutulması Hesabı

Eloksal kaplama eloksal banyosu ve soğutulması Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8: Eloksal Kaplama Eloksal Banyosu Ve Soğutulması

İçinde 12 m³ eloksal kaplama çözeltisi olan eloksal kaplama banyosunda Redresör ile oluşan akım sonucunda banyo sıcaklığı en fazla 35 C°’ye

çıkılmaktadır. Kaplama işleri ortalama 20 C°'de yapılmaktadır. Soğutma makinesi kullanılarak banyo sıcaklığı 20 C°'ye düşürülmektedir.

$(20+35)/2=27,5$ C°'de eloksal banyosu su yoğunluğu $d=996,5$ kg/m³, özgül ısı $c=4,179$ kJ/kg.C°

Eloksal banyosu su yoğunluğu, $d=m/V$ ise $m=996,5.12=11.958$ kg olarak bulunur.

$q=m.c.(T_{son}-T_{ilk})=(11.959).(4,179).(35-20)=749.587,23$ kj'lük soğutma işine(enerjisine) ihtiyaç vardır. Banyonun 1 saati geçmeyecek şekilde soğutulması için gerekli soğutma gücü hesaplanırsa;

$q=P.t$ ise, $749.587,23$ kj= $P.3.600$, $P=998.709,12/3.600=208,22$ kW'lık soğutucu gücüne ihtiyaç vardır.

Eloksal kaplama işleminde 3 adet eloksal banyosu kullanıldığı için toplam $P=3x278,22=624,65$ kW'lık soğutma gücüne ihtiyaç vardır.

3 adet eloksal banyosu 35 C°'den soğutulurak 20 C°'ye düşürülmesi için soğutma makine hesabı yapılırsa;

Soğutma makinesinin kompresöre soğutucu -134a, 0.14 MP ve -10 C° $m=5$ kg/s kütleli debide girmesi 0,8 MPa ve 50 C°'de çıkmaktadır. Soğutkan yoğuşturucuda 26 C°'de ve 0,72 MPa'da soğutulmakta ve Kısmi Vanası'nda 0,15 MPa'a kısılmaktadır.

$P_1=0,14$ MPa, $T_1= -10$ C°, $h_1=246,36$ kJ/kg,

$P_2=0,8$ MPa, $T_2= 50$ C°, $h_2=286,69$ kJ/kg,

$P_3=0,72$ MPa, $T_3= 26$ C°, $h_3=h_4=87,83$ kJ/kg,

Soğutucu ortamdan çekilecek ısı miktarı formül (1)'e göre hesaplanırsa [77];

$$Q_L=m(h_1 - h_4) \quad (1)$$

$$Q_L=m(h_1 - h_4)=5(246,36 - 87,83)=792,65$$
 kW

Yoğuşturucuda soğutucu akışkandan çevreye olan ısı geçişi hesaplanırsa;

$$Q_L=m(h_2 - h_3)=5(286,69 - 87,83)=994,3$$
 kW

Yada $Q_L + W=792,65 + 201,65=994,3$ kW olarak bulunur.

Kompresörü çalıştırmak için gerekli güç hesaplanırsa;

$$W=m(h_2-h_1)=5(286,69-246,36)=201,65 \text{ kW}$$

Kompresörün izentropik verimi formül (2)'ye göre hesaplanırsa;

$s_{2s}=s=0,9724 \text{ kJ/kg}$, $h_{2s}=284,21 \text{ kJ/kg}$ alınarak

$$\eta_k=(h_{2s}-h_1)/(h_2-h_1), \quad (2)$$

$$\eta_k=(284,21-246,36)/(286,69-246,36)=0,935, \text{ \%}93,5$$

Soğutma makinesi etkinlik katsayısı formül (3)'e göre hesaplanırsa;

$$\text{COP}_{sm}=Q_L/W, \quad (3)$$

$$\text{COP}_{sm}=792,65/201,65=3,93$$

Uygulama yapılan tesiste eloksal banyosunun soğutulması için kullanılacak soğutma makinesi-grubundaki gerekli kompresör gücü 201,65 kW olarak hesaplanmıştır. Soğutma grubunda kullanılan mevcut kompresörün gücü 250 kW tır. Ayrıca eloksal banyolarının soğutulması için gerekli soğutma gücünün 624,65 kW olarak hesaplanmıştır. Soğutma grubunun soğutma gücü 792,65 kW olarak belirlenmiştir. Bu nedenle eloksal banyolarının soğutulmasında kullanılan soğutma grubunun enerji açısından değerlendirilmesi uygun bulunmuştur. Alternatif olarak kule tipi soğutma ile prosesin enerji açısından verimliliğinin değerlendirilmesi üzerinde çalışılması gereken konudur.

5.6.5 Elokmal Kaplama Renklendirme Banyosunun Isıtılması Hesabı

Soğuk havalarda banyo içindeki -3 C° 'deki şebeke suyu 24 C° 'ye ısıtılacaktır(içinde az miktarda bulunan renklendirme kimyasalı ihmal edilerek); $(-3+24)/2=10,5 \text{ C}^\circ$ 'de renklendirme banyosu su yoğunluğu $\rho=999,7 \text{ kg/m}^3$, $c=4,193 \text{ kJ/kg.C}$, alınarak;

Renklendirme banyosu suyu yoğunluğu, $\rho=m/V$ ise $m=999,7.12=11.991,6 \text{ kg}$ olarak bulunur. $q=m.c.(T_{son}-T_{ilk})=(11.991,6).(4,193).(24-(-3))=1.357.581,028 \text{ kJ}$ ısıya ihtiyaç vardır. Banyonun ideal olarak 1 saatte ısıtılması için gerekli güç hesaplanırsa;

$$q=P.t \text{ ise,}$$

$1.357.581,028 \text{ kJ}=P.3.600$, $P=1.357.581,028/3.600=377,1 \text{ kW}$ 'lık ısıtıcı gücüne ihtiyaç vardır.

5.6.6 Eloksal Kaplama Soğuk Tespit Banyosunun Isıtılması Hesabı

Banyo içindeki -3 C°'deki şebeke suyu 30 C°'ye ısıtılmaktadır. Banyo sıcaklığı -3 C° sıcaklıklarda ısıtılması için gerekli ısı gücü; $(-3+30)/2=13,5$ C°'de soğuk tespit banyosu su yoğunluğu $\rho=998,3$ kg/m³, $c=4,188$ kJ/kg.C,

Soğuk tespit banyosu suyu yoğunluğu, $\rho=m/V$ ise $m=998,3 \times 12=11.980$ kg olarak bulunur.

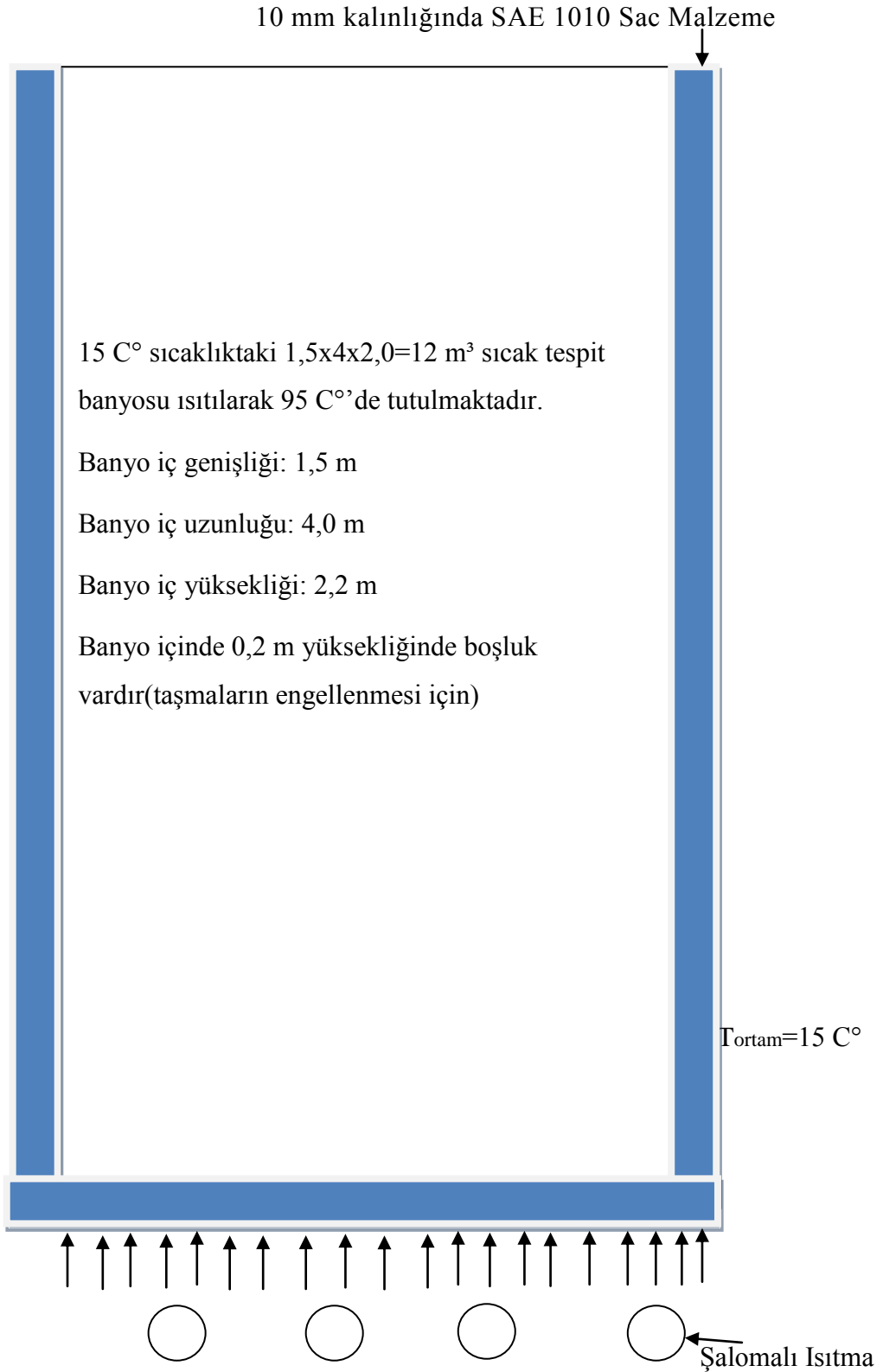
$q=m.c.(T_{son}-T_{ilk})=(11.980).(4,188).(30-(-3))=1.655.683,92$ kJ ısıya ihtiyaç vardır. Banyonun ideal olarak 1 saatte ısıtılması için gerekli güç hesaplanırsa;

$q=P.t$ ise,

$1.655.683,92$ kJ= $P.3.600$, $P=1.655.683,92/3.600=459,91$ kW'lık ısıtıcı gücüne ihtiyaç vardır.

5.6.7 Eloksoal Kaplama Sıcak Tespit Banyosunun Isıtılması Hesabı

Eloksoal kaplama sıcak tespit banyosu ve ısıtılması Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.9: Eloksoal Kaplama Sıcak Tespit Banyosu Ve Isıtılması

Doğalgaz kullanılarak Şalomalı-Bek ile ısıtılan sıcak tespit banyosu yüzeyi 8.250 kcal/m³ alt yakıt ısıl değerine sahip doğalgaz kullanılarak her biri 10 m³/h kapasiteli 3 sıra ve her sırada 4 adet olmak üzere toplam 12 adet şalomalı-bek ile tespit banyosu tabandan ısıtılacaktır.

15 C°'de içinde 12 m³ sulu kimyasal bulunan sıcak tespit banyosu ısıtılarak 95 C°'de tutulmaktadır. SAE 1010 çelik malzemedan yapılan sıcak tespit banyosu et kalınlığı 10 mm dir. Isı geçişi taban alanı 1,5x4=6 m² olan 10 mm kalınlığındaki SAE 1010 çelik malzemedan olmaktadır. Banyo içindeki 15 C°'deki şebeke suyu 95 C°'ye ısıtılmaktadır(banyo içinde bulunan tespit çözeltisi ihmal edilerek); $(15+95)/2=55$ C°'de sıcak tespit banyosu su yoğunluğu $d=985,2$ kg/m³, özgül ısı $c=4,183$ kJ/kg.C°,

Banyo'nun ısıtılması için gerekli ısıl güç hesaplanırsa;

Sıcak tespit banyosu suyu yoğunluğu, $d=m/V$ ise $m=985,2 \times 12=11.822,4$ kg olarak bulunur.

SAE 1010 malzeme banyocidarınının ısıtılması için gerekli ısıl güç ihmal edilerek,

$q=m.c.(T_{son}-T_{ilk})=(11822,4).(4,183).(95-15)=3.956.247,936$ kJ ısıya ihtiyaç vardır. Banyonun ideal olarak 1 saatte ısıtılması için gerekli güç hesaplanırsa;

$q=P.t$ ise,

$3.956.247,936$ kJ= $P.3.600$, $P=3.956.247,936/3.600=1.098,96$ kW'lık ısıtıcı gücüne ihtiyaç vardır.

8.250 kcal/m³ alt yakıt ısıl değerine sahip doğalgaz kullanılarak her biri 10 m³/h kapasiteli olmak üzere toplam 12 adet bek-şaloma ile toplam 120 m³/h debisindeki doğalgaz ile ısıtma yapılırsa Banyonun ısıtılması için,

$P=(120 \text{ m}^3/\text{h}).(8.250 \text{ kcal}/\text{m}^3)=990.000 \text{ kcal}/\text{h}=275 \text{ kcal}/\text{s}$ bulunur. $1 \text{ kW}=0.239 \text{ kcal}/\text{s}$ alınarak, $P=275/0,239=1.150,62$ kW'lık bek-şalomalı ısıtıcı gücü kullanılacaktır.

Banyo'nun ısıtılması için gerekli süre hesaplanırsa;

$q=(1.150,38 \text{ kJ}/\text{s}).t$, $t=(3.956.247,936)/(1.1150,62)=3.439,08$ s, $t=0,96$ saatte banyo ısıtılır.

Soğuk havalar için hesaplamalar yapılırsa;

Banyo içindeki -3 C°'deki şebeke suyu 95 C°'ye ısıtılmaktadır(içinde 0,001 g/L bulunan tespit çözültisi ihmal edilerek); $(-3+95)/2=46$ C°'de sıcak tespit banyosu su yoğunluğu $d=990,5$ kg/m³, özgül ısı $c=4,1802$ kJ/kg.C°,

Banyo'nun ısıtılması için gerekli ısı güç hesaplanırsa;

Sıcak tespit banyosu suyu yoğunluğu, $d=m/V$ ise $m=990,5 \times 12=11.886$ kg olarak bulunur.

Banyo içindeki 11.886 kg suyun ısıtılması için;

$q=m.c.(T_{son}-T_{ilk})=(11.886).(4,1802).(95-(-3))=4.869.214,006$ kJ ısıya ihtiyaç vardır. 3.956.247,936 kJ'lık ısı yeterli olmayacaktır. Banyonun ideal olarak 1 saatte ısıtılması için gerekli güç hesaplanırsa;

$q=P.t$ ise,

$4.869.214,006$ kJ= $P.3.600$, $P=4.869.214,006/3.600=1.352,56$ kW'lık ısıtıcı gücüne ihtiyaç vardır.

Her biri 13 m³/h kapasiteli olmak üzere toplam 12 adet bek-şaloma ile toplam 156 m³/h debisindeki doğalgaz ile ısıtma yapılarak meydana gelecek olan ısı güç,

$P=(156 \text{ m}^3/\text{h}).(8.250 \text{ kcal}/\text{m}^3)=1.287.000 \text{ kcal}/\text{h}=357,5 \text{ kcal}/\text{s}$ hesaplanır.

1 j=0,239 kalori alınarak $P=357,5/0,239=1.495,81$ kW'lık bek-şalomalı ısıtıcı gücü kullanılacaktır.

Banyo'nun ısıtılması için gerekli süre hesaplanırsa;

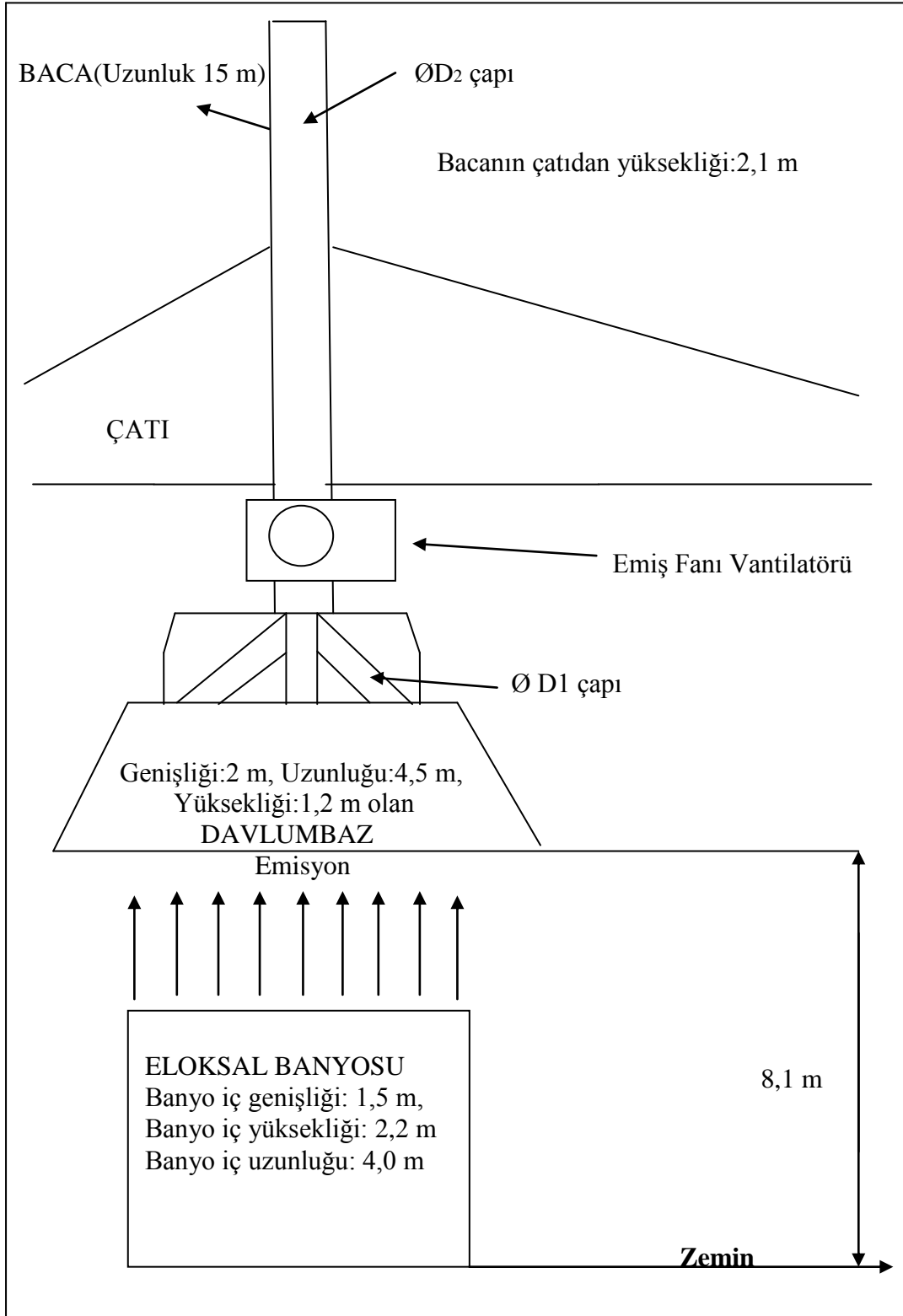
$q=P.t$,

$q=(4.869.214,006 \text{ kJ})=(1.495,81 \text{ kJ}/\text{s}).t$,

$t=(4.869.214,006)/(1.495,81)=3.255,2$ s, $t=0,9$ saatte banyo ısıtılır.

5.6.8 Eloksal Kaplama Eloksal Banyosu Hava Emiş Sistemi Hesabı

Eloksal kaplama eloksal banyosu emisyon emiş sistemi Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10: Eloksal Kaplama Eloksal Banyosu Emisyon Emiş Sistemi

Eloksal Banyo yüksekliği 2,2 m, davlumbaz ile banyo üst yüksekliği arasındaki mesafe 5,9 m dir. Eloksal Banyosu'ndan oluşan emisyonun ve kokunun dağılmaması için davlumbaz ölçüleri banyodan taşacak şekilde 2x4,5 m olarak büyük tutulmuştur.

Emiş yapılacak olan havanın debisinin hesabı;

Davlumbaz alt yüzeyindeki emiş hızı 0,3-1 m/s olmalıdır. Bu hız tasarım için 0,5 m/s alınarak, Davlumbaz alt yüzey emiş kesit alanı, $A=2.4,5=9 \text{ m}^2$ dir.

Emiş debisi (1) formülü kullanarak hesaplanırsa [75];

$$Q=V.A, \quad (1)$$

$$Q=0,5.9=2,7 \text{ m}^3/\text{s}=16.200 \text{ m}^3/\text{h}$$

Emiş hava debisi $16.200 \text{ m}^3/\text{h}$ alınarak Davlumbaz'dan homojen emiş yapılması için 3 yerden emiş yapılması uygun olacaktır. Bir adet emiş ile $16.200=5.400 \text{ m}^3/\text{h}$ debisindeki hava ortamdan çekilecektir.

Bu miktar debide emisyon havasının çekileceği bacanın kesiti(iç çapı) ve baca gazı hızı hesaplanırsa;

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği(SKHKKY)'ne göre; banyolardan emilerek çatının en yüksek noktasından en az 1,5 m yüksekliğindeki bacadan(ayrıca baca yüksekliği yerden en az 10 m olacak şekilde) en az 4 m/s hızla atmosfere atılması istenmektedir [78].

Emisyon ölçümleri SKHKKY'ne göre çatıdan ve baca çıkışına yerden ölçüm yapılması istenmektedir. Bu nedenle yerel akış ve sürtünme kayıpları da dikkate alınarak davlumbaz üzerindeki 3 lü çeliş sistemindeki kesitten hızın 9 m/s ve bu sistemin bağlandığı tekli emiş sistemindeki emiş hızı 10 m/s alınarak

Davlumbaz üzeri 3'lü emiş sistemindeki kesit alanı hesaplanırsa;

$$5.400 \text{ m}^3/\text{h}=1,5 \text{ m}^3/\text{s}, Q=1,5=9.A, A=0,16666 \text{ m}^2 \text{ hesaplanır.}$$

Yerel ve sürtünme kayıplarınının daha az olması için dikdörtgen kesit yerine dairesel kesitli emiş sistemi kullanılarak emiş alanı iç çapı aşığıdaki gibi hesaplanır;

$$A= \pi.D_1^2/4= 0,16666=\pi.(D_1^2)/4, D_1 \text{ çapı} = \emptyset=0,46 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Davlumbaz üzeri 3'lü emişin bağlandığı tekli ana emiş sistemindeki kesit alanı hesaplanırsa;

$$5.400 \text{ m}^3/\text{h}=1,5 \text{ m}^3/\text{s},$$

Yerel ve sürtünme kayıplarınının daha az olması için dikdörtgen kesit yerine dairesel kesitli emiş sistemi kullanılarak emiş alanı iç çapı hesaplanırsa;

$$16.200 \text{ m}^3/\text{h}=4,5 \text{ m}^3/\text{s},$$

$$Q=4,5=10.A, A=0,45 \text{ m}^2 \text{ hesaplanır.}$$

$$A= \pi.D_2^2/4= 0,45=\pi.(D_2^2)/4, D_2 \text{ çapı} = \varnothing=0,75 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Emiş motoru gücüformül (2)ile hesaplanırsa;

Emiş hat boyu yaklaşık 20 m, basınç kaybı yüksekliği 50 mmSS alınarak, verim %80 alınarak,

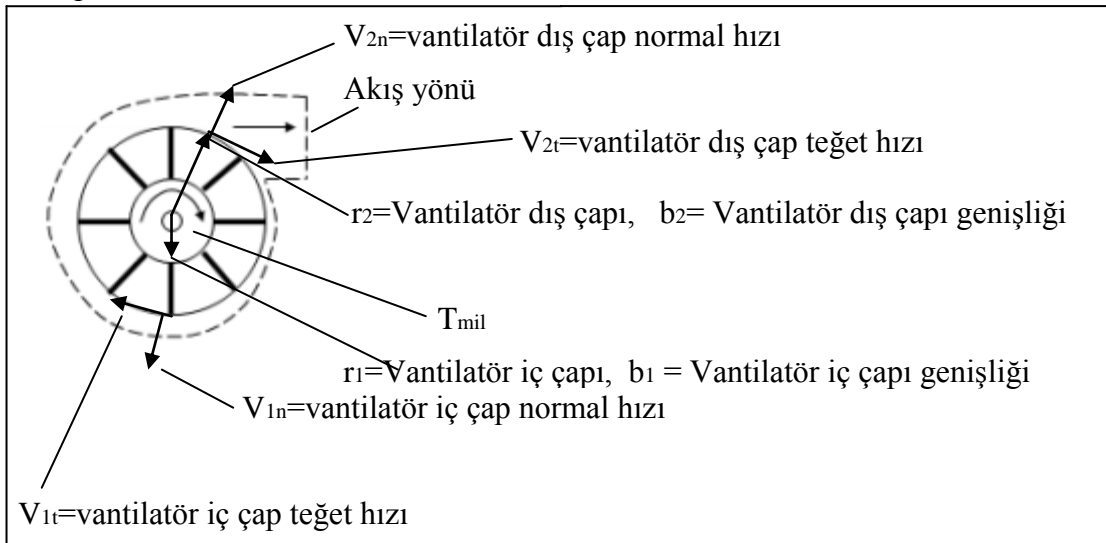
$$N_e=Q.h/102.\eta_m \quad (2)$$

$$N_e=16.200.50/102.3600.0,8=2,72 \text{ kW},$$

Motor gücü %20 fazla alınarak $2,72.1,2=3,264 \text{ kW}$ hesaplanır Motor standartı 4 kW dır. Uygulama için 4 kW'lık standart vantilatör seçilir. Banyonun kurulu olduğu korozif ortamdan dolayı sac kalınlığı 0,5 mm ve AISI 314 olan baca malzemesi kullanılmaktadır.

Vantilatörü döndüren milin torku hesaplanırsa;

Emiş Fanı VantilatörüŞekil 5.11'de verilmiştir. Mili çeviren Tork formül (3) ile hesaplanırsa



Şekil 5.11: Emiş Fanı Vantilatörü

$$T_{mil}=m_{kütlesel}(r_2.V_{2t} - r_1.V_{1t})=m_{kütlesel}.\omega(V_{2t}^2-V_{1t}^2), \quad (3)$$

$$V_{1n}=Q/2\pi.r_1.b_1, V_{2n}=Q/2\pi.r_2.b_2,$$

V_{1n} ile V_{1t} , V_{2n} ile V_{2t} birbirine diktir.

$$r_1=250 \text{ mm}, b_1=150 \text{ mm} \text{ alınarak}, V_{1n}=4,5/2\pi.0,25.0,15=19,09 \text{ m/s},$$

$$r_2=500 \text{ mm}, b_2=150 \text{ mm} \text{ alınarak}, V_{2n}=4,5/2\pi.0,5.0,15=9,55 \text{ m/s},$$

$$V_1=Q/2\pi.r_1.b_1, V_2=Q/2\pi.r_2.b_2,$$

101,33 kPa basıçta ortalama 15 C°'deki çalışma koşullarında havanın yoğunluğu 1.225 kg/m³ alınarak kütlesel debi formül (4)'e göre hesaplanırsa;

$$m_{kütlesel} = \rho .A_1. V_{1n}, \quad (4)$$

$$m_{kütlesel} = \rho .2\pi.r_1.b_1.Q/2\pi.r_1.b_1 = \rho .Q = 1.225.4,5 = 5.512,5 \text{ kg/s}$$

$$Tork = T_{mil} = m_{kütlesel}(r_2.V_2 - r_1.V_1) = 5.512,5(0,5.9,55 - 0,25.19,09) = 5.512,5(4,775 - 4,7725) = 13,78 \text{ Nm} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Uygulama yapılan tesiste yağalma, sökme, kostik, 3 adet eloksal ve renklendirme banyosunda SKHKKY gereğinceemiş sisteminde her birinde 5,5 kW olmak üzere toplam 7x5,5=38,5 5,5 kW'lık motor gücü kullanılmıştır. Vantilatör motor gücünü bir adet banyo için 4 kW'lık olmasını hesaplamıştık. Bu durumda 7 adet banyo için toplam 7x4=28 kW'lık motor gücü yeterli olmasına rağmen 38,5-28=10,5 kW'lık motor gücü fazlalığı mevcuttur. Günde ortalama 20 saat çalışma ile toplam 10,5x20=210 kWh'lık fazla elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Bunun maliyeti de günde 210 kWhx0,3TL/kWh=63 TL olmak üzere 300 gün çalışma ile yılda 300x63=18.900 TL maliyet oluşturmaktadır. Ayrıca eloksal kaplama işleminden oluşan emisyonların kaplama işlemi yapılan alanda kaplama uzunluğu boyunca 2 hat olarak menfezli emiş sisteminin tasarlanması alternatif olarak önerilmektedir. Tesiste üretim bölümü hariç eloksal kaplama işleminde 1 adet Buhar kazanı ve 7 adet banyo emişlerinin bağlandığı baca olmak üzere toplam 8 baca mevcuttur. 2 adet emiş sisteminin yapılması durumunda bu bacaların sayısı 3'e duiőecek ve 30 m³ ve üzeri kaplama banyosuna sahip tesislerin emisyonu bağlı Çevre İzni aldıktan sonra SKHKKY gereğince 2 yılda bir emisyon teyit ölçümlerini yaptırmaları gerekmektedir. Bugünkü Şartlarda 1 adet bacanın emisyon ölçüm maliyeti yaklaşık 1.500 TL'dir. Baca sayısının azaltılması emisyon ölçüm maliyetlerini azaltacaktır.

6 BULGULAR VE TARTIŞMA

120 L/h kapasiteli Pilot NF, 25 L hacminde 500 L/h kapasiteli Pilot AİD ve 450 L/h kapasiteli Pilot AKD ünitesi kullanılarak eloksal kaplama işleminde kullanılan ve uygulama yapılan kostik durulama, eloksal, eloksal durulama, renklendirme durulama, tespit durulama banyolarına ait geri kazanım işlemlerinin özeti Çizelge 6.1’de verilmiştir.

120 L/h kapasiteli Pilot NF Ünitesi’nde kullanılan 4 farklı membran aşağıda verilmiştir;

NFa= Pilot NF Ünitesi(KOCH SELRO34 AMS Membran)

NFb= Pilot NF Ünitesi(B4022 4040 Membran)

NFc= Pilot NF Ünitesi(FILMTEC NF 270-4040 Membran)

NFd= Pilot NF Ünitesi(AMS S3012 4040)

25 L hacminde 500 L/h kapasiteli Pilot AİD Ünitesi’nde kullanılan 2 farklı aşağıda verilmiştir;

RFa=25 L hacminde 500 L/h kapasiteli Pilot AİD Ünitesi(A870 Reçine)

RFb=25 L hacminde 500 L/h kapasiteli Pilot AİD Ünitesi(Selion AR850 Reçine)

450 L/h kapasiteli Pilot AKD Ünitesi’nde kullanılan 50 L Aktif Karbon Filtre, 50 L Katyonik Reçine, 50 L Zayıf Anyonik Reçine, 50 L Kuvvetli Anyonik Reçine ile banyonun düşük ve yüksek kirlilik-iletkenlik şartlarına ayrıca üniteye yapılan rejenerasyon durumuna göre 3 farklı uygulama şekli aşağıda verilmiştir;

AKD1= Düşük iletkenliğe sahip eloksal durulama atıksuları için Ünite;(50 L Aktif Karbon Filtre) + (50 L Katyonik Reçine) + (50 L Zayıf Anyonik Reçine) + (50 L Kuvvetli Anyonik Reçine) kullanılarak ve Katyonik Filtre HCl ile Anyonik Filtre NaOH ile geri yıkanarak

AKD2= Düşük iletkenliğe sahip eloksal durulama atıksuları için Ünite; (50 L Aktif Karbon Filtre) + (50 L Katyonik Reçine) + (50 L Zayıf Anyonik Reçine) + (50 L Kuvvetli Anyonik Reçine) kullanılarak ve Katyonik Filtre HCl ile

Anyonik filtreler NaOH yerine NF ünitelerinden geçirilen mat-kostik durulama geri kazanım suları ile geri yıkanarak

AKD3=Yüksek iletkenliğe sahip eloksal durulama atıksuları için Ünite; (50 L Aktif Karbon Filtre) + (50 L Katyonik Reçine) + (50 L Zayıf Anyonik Reçine) + (50 L Kuvvetli Anyonik Reçine) kullanılarak ve Katyonik Filtre HCl ile Anyonik filtreler NaOH yerine NF ünitelerinden geçirilen mat-kostik durulama geri kazanım suları ile geri yıkanarak

Çizelge 6.1:Eloksal Kaplama Banyoları Pilot Ölçekli Ünitelerle Geri Kazanım Tablosu

BANYO ADI	İLETKENLİK GİDERİMİ (µS/cm)				KOSTİK GERİ KAZANIM (g/L)				SÜFÜRİK ASİT GERİ KAZANIM (g/L)				ALÜMİNYUM GERİ KAZANIM (g/L)			
	Ünite	Giriş	Çıkış	Giderim	Ünite	Giriş	Çıkış	Gerikaz.	Ünite	Giriş	Çıkış	Gerikaz.	Ünite	Giriş	Çıkış	Gerikaz.
Kostik Durulama	NFa	19100	2250	%88,2	NFa	3,2	0,26	%91,2	-	-	-	-	NFa	9,6	0,84	%91,2
	NFb	37000	21600	%41,62	NFb	7,0	4,75	%32,1	-	-	-	-	NFb	10,2	4,83	%52,7
	NFc	41500	36020	%13,2	NFc	7,8	5,15	%33,9	-	-	-	-	NFc	10,9	4,82	%55,8
Eloksal									Ünite	Giriş	Çıkış	Gerikaz.	Ünite	Giriş	Çıkış	Gerikaz.
									RFa	198,7	17,6	%91,1	RFa	9,1	3,3	%63,7
									RFb	198,7	15,0	%77,4	RFb	9,1	3,8	%58,2
Eloksal Durulama	Ünite	Giriş	Çıkış	Giderim					Ünite	Giriş	Çıkış	Gerikaz.	Ünite	Giriş	Çıkış	Gerikaz.
	NFa	43800	26500	%60,5					NFa	10,65	2,86	%73,1	NFa	0,9	0,52	%42,2
	NFd	51700	43400	%16,1					NFd	15,2	12,95	%14,8	NFd	1,3	0,97	%25,3
	NFc	49200	41500	%15,7					NFc	14,5	12,66	%12,7	NFc	1,15	0,56	%51,3
Eloksal Durulama	Ünite	Giriş	Çıkış	Giderim												
	AKD1	17600	2900	%83,5												
	AKD2	12350	3500	%71,7												
	AKD3	51400	4000	%92,2												
Renklendirme Durulama	Ünite	Giriş	Çıkış	Giderim												
	AKD1	600	45	%92,2												
Tespit Durulama	Ünite	Giriş	Çıkış	Giderim												
	AKD1	850	195	%77,1												

Çizelge 6.1'e göre; NFa, NFb ve NFc Pilot Ünitesi kullanılarak Kostik Durulama Banyosu'ndan; en yüksek verime sahip NFa Pilot Ünitesi kullanılarak %91,2 verim ile kostik, %91,3 verim ile iyon halindeki alüminyum geri kazanılarak banyo iletkenliğinin %88,2 verim ile giderimi yapılarak atıksuyun tekrar Kostik Durulama Banyosu'nda kullanılabileceği tespit edilmiştir. Geri kazanılan Kostik, NF Ünitesi'ndeki Alüminyum ile bağ oluşturup Sodyum Alüminat(NaAlO_2) formunda olduğundan kostik olarak kullanılamaması nedeniyle Sodyum Alüminat'ın (NaAlO_2) kristalizasyon yöntemi ile alüminyumdan ayrılması ve daha sonra evaporatörde konsantre hale getirilmesi için çalışma yapılması önerilmektedir.

RFa ve RFb Pilot Ünitesi kullanılarak Eloksal Banyosu'ndan; en yüksek verime sahip RFa Pilot Ünitesi kullanılarak %91,1 verim ile sülfürik asit, %63,7 verim ile iyon halindeki alüminyum geri kazanılabileceği tespit edilmiştir. %91,1 verim ile geri kazanılan sülfürik asit eloksal banyosunda tekrar kullanılabilir.

NFa, NFc ve Nfd Pilot Ünitesi kullanılarak Eloksal Durulama Banyosu'ndan; Pilot NF ünitesinde geri kazanılan atıksuyun kalitesi eloksal durulama banyosunda kullanılacak kalitede olmadığı için eloksal durulama atıksularının geri kazanımı için NF ünitesinin verimli olmadığı tespit edilmiştir.

AKD Pilot Ünitesi kullanılarak Eloksal Durulama Banyosu'ndan; banyo başlangıç koşullarından yaklaşık 2 vardiya sonunda banyoda oluşan düşük kirlilik yükünde(şartlarında) AKD1 uygulaması ile %83,5'lük, yaklaşık 12 vardiya sonunda banyoda oluşan yüksek kirlilik yükünde AKD3 uygulaması ile %92,2'lik atıksu geri kazanımı yapıldığı görülmektedir. Banyonun yüksek iletkenlik-kirlilik değerlerine ulaşılmadan geri kazanım işleminin daha düşük banyo kirliliğinde yapılması gerekçesi ile %83,5'lük giderim verimi dikkate alınacaktır.

AKD1 Pilot Ünitesi kullanılarak proses verimliliği gereği düşük banyo kirlilik şartlarında uygulama yapılarak Renklendirme Durulama Banyosu'ndan %92,2, Tespit Durulama Banyosu'ndan %77,1'lik atıksu geri kazanımı yapıldığı görülmektedir.

Eloksal durulama, renklendirme durulama ve tespit durulama banyolarında kullanılan AKD Ünitesi'nin rejenerasyonunda Katyonik Filtre HCl ile rejenerasyonundan yan ürün olarak oluşan alüminyum klorür kimyasal arıtma tesislerinde koagülant olarak kullanılabilir. Uygulama esnasında yapılan laboratuvar çalışmalarında tespit edilmiştir. Katyonik filtrenin sülfürik asit rejenerasyonun yan ürün olarak oluşan alüminyum sülfat, atıksulardan bor giderimi için kimyasal arıtma tesislerinde koagülant olarak kullanılmaktadır [79]. AKD Ünitesi Katyonik Filtre'in H₂SO₄ ile rejenerasyonu sonucunda yan ürün olarak oluşan alüminyum sülfatın bu kapsamda değerlendirilmesi için çalışmanın yapılması önerilmektedir.

Sodyum Sülfat; cam sektöründe erimiş cam prosesinde hava kabarcıklarını uzaklaştırmak ve cam hamurunun oluşumu için, tekstil boyama proseslerinde boyanın tekstil yüzeyine düzgün bir şekilde nüfuz etmesi için bir düzenleyici olarak, toz deterjanlarda proses yardımcısı olarak, kâğıt sanayinde selüloz yapımında elyafın pişirilmesinde, deterjan üretiminde proses yardımcısı olarak, kimya endüstrisinde potasyum sülfat, alüminyum sülfat, sodyum silikat, sodyum sülfür gibi kimyasalların eldesinde kullanılmaktadır [80], [81]. AKD Ünitesi Anyonik Filtre'nin NaOH ile rejenasyonu sonucunda yan ürün olarak oluşan Sodyum Sülfat'ın farklı sektörlerdeki çeşitli kullanım amaçları için uygunluğunun tespiti çalışmasının yapılması önerilmektedir.

Eloksal kaplama banyolarının verimliliğinin belirlenmesinde ve geri kazanım işlemlerinin tasarımında; banyolarda kullanılan kimyasalların cins ve miktarına göre oluşan banyo kirlilik yükünün, kaplama banyosu atıksu debisinin, kaplama tesisinde kullanılan banyo özelliklerinin ve geri kazanım işleminde kullanılan ünite-ekipmanın özelliğinin etkili olduğu ayrıca kaplama kalitesinin kaplanacak malzemenin yüzey kirliliğine ve banyo kirlilik yüküne göre değişmekte olduğu tespit edilmiştir.

Eloksal kaplama işleminde kullanılan hangi banyodan sonra hangi arıtma veya geridönüşüm sisteminin kullanılmasına yönelik bir ön çalışma yoktur. Bu ön çalışma aynı özellikteki eloksal kaplama tesislerinde atıksu ve hammadde geri kazanımının ayrıca kaplama verimliliğinin değerlendirilmesi konusunda yardımcı olacaktır.

Banyo özelliği ve kirlilik yüküne göre banyodan atıksu ve hammadde geri kazanımını sağlayacak membranın seçimi için laboratuvar çalışmaları sonucuna göre en uygun tiplerinin seçilerek bunlar arasından amaca uygun olan membranın pilot uygulama ile tespiti yapılarak gerçek ölçekli geri kazanım ünitelerinin tasarımının yapılmasına imkan sağlanmıştır. Aynı kimyasalları kullanan farklı tesisler için bu tesislerin atıksu debileri ve banyo kirlilik yükleri belirlendikten sonra gerçek ölçekli geri kazanım ünitelerinin tasarlanması hızlı bir şekilde yapılmasına kolaylık ayrıca gerçek ölçekli geri kazanım ünitelerinin verimli bir şekilde işletmesine imkan sağlanacaktır. Ayrıca geri kazanım uygulamalarının maliyet ve kazançları da önceden hesaplanabilecektir.

Diğer taraftan geri kazanım ünitesinin tasarlanmasında kullanılan kıstaslara bu tesislerde bugüne kadar hiç değinilmemiş veya tasarımda kullanılacak gerekli olan bilgiler kullanılmamıştır. Bu çalışmada bu konuya da aşağıdaki bilgiler verilerek açıklık getirilmiştir;

Mat(Kostik) Durulama Banyosu Gerçek Ölçekli Geri Kazanım Ünitesi Tasarımı

Mat(Kostik) durulama banyosundan atıksu ve hammadde geri kazanımı için banyo atıksuyu özelliğine göre belirlenen en verimli membran kullanılarak gerçek ölçekli NF Ünitesi'nin; bu banyoda kullanılan pilot ünitenin kapasitesi ve ünite de kullanılan filtrenin alan bazındaki miktarı kıstas alınarak akı değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan akı değeri kullanılarak banyodan günde oluşan atıksu miktarına(debisine) göre gerçek ölçekli tasarımı aşağıdaki gibi yapılmıştır;

Banyo için gerçek ölçekli NF Ünitesi'nin tasarımı %88,2 ile en yüksek iletkenlik giderim verimine sahip sahip $N_{Fa}=120$ L/h kapasiteli Pilot NF Ünitesi KOCH SELRO 34 AMS Membran'a göre yapılmıştır.

Uygulama yapılan tesiste günlük olarak atılan mat banyosu durulama atıksuyu 15 m^3 tür. Geri kazanım amacıyla kullanılacak membran alanı Çizelge 3.1'e göre $5,6 \text{ m}^2$ dir. Pilot NF ünite den geçirilen debi ortalama 120 L/saat 'a göre akı değeri; $120 \text{ (litre/saat)}/5,6 \text{ (m}^2\text{)} = 21,43 \text{ (litre/m}^2\text{xsaat)}$ tir. 15 m^3 durulama banyosu atıksuyu günlük 20 saat çalışma sonunda oluşması nedeniyle bu banyodan oluşan atıksu debisi; $15 \text{ m}^3/20 \text{ saat} = 0,75 \text{ m}^3/\text{saat} = 750 \text{ L/saat}$ olmaktadır. Gerekli Membran alanı $750 \text{ (L/saat)}/21,43 \text{ (litre/m}^2\text{xsaat)} = 35 \text{ m}^2$ membran alanına ihtiyaç duyulacaktır. 35 m^2 yüzey alanına sahip 1 adet KOCH SELRO MPS-34 Nanofiltrasyon Membranı kullanılacaktır. $750 \text{ L/h} = 0,75 \text{ m}^3/\text{h}$ kapasiteli gerçek ölçekli NF Ünitesi'nin rejenerasyonunda günde $0,3 \text{ m}^3$ su kullanılacaktır.

Eloksal Banyosu Gerçek Ölçekli Geri Kazanım Ünitesi Tasarımı

Eloksal banyosundan asit geri kazanımı için banyo atıksuyu özelliğine göre belirlenen en verimli iyon değiştirici reçine kullanılarak gerçek ölçekli AİD Ünitesi'nin; reçine üzerinde tutulan iyonların saf su ile geri yıkanmasıyla

oluşan(geri kazanılan) asidin geri kazanımı için banyodan günde atılan atıksu debisi ve pilot ünite kapasitesine göre tasarımı aşağıdaki gibi yapılmıştır;

Banyo için gerçek ölçekli AİD Ünitesi'nin tasarımı%91,1 ile en yüksek asit ve %63,7 ile alüminyum geri kazanım verimine sahip sahip R_{Fa}=25 25 L hacimde 500 L/h kapasiteli Pilot AİD Ünitesi(A870 Reçine)'ye göre yapılmıştır.

Eloksal banyolarında istenen asit konsantrasyonunun sağlayabilmesi için banyolardaki H₂SO₄ konsantrasyonunun 200,0 g/L, alüminyum konsantrasyonunun 11,0 g/L değerine yaklaştığı zaman haftada bir banyoların yarısının boşaltılıp atılması gerekmektedir.

25 L hacimde 500 L/h kapasiteli Pilot AİD'nin hacmi ve kapasitesi 10 kat artırıldığında banyodan günde atılan 3 m³ atıksu için 250 L hacimde 5 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AİD Ünitesi amaca uygun olacaktır.

Eloksal banyosundan asit geri kazanımı için kullanılan AİD Ünitesi'ndeki reçineye eloksal banyosu atıksuyun basılması ile reçine üst kısımlarındaki saf-yumuşak suyun ayrı tanka alınarak en az %50 verim ile geri kazanılarak proste kullanılması önerilmektedir.

Banyo içeriğinde iyon halinde bulunan Sülfat ve Alüminyum'un reaksiyonu sonucunda(AİD Ünitesi çıkışından sonra) hammadde olarak üniteden yan ürün olarak atılan Al₂(SO₄)₃oluşmaktadır.

Eloksal Durulama Banyosu Gerçek Ölçekli Geri Kazanım Ünitesi Tasarımı

Eloksal durulama banyosundan atıksu geri kazanımı için; pilot ölçekte kullanılan AKD Ünitesi'ne giren banyo atıksu miktarı ve bu miktardaki atıksuyun banyo kirlilik yüküne göre banyodaki çözünmüş madde miktarı tespit edilmiştir. Pilot geri kazanım ünitesinde kullanılan atıksu miktarındaki çözünmüş madde miktarını gideren ve pilot ünite de kullanılan filtre-reçine miktarı baz alınarak banyodan oluşan atıksu debisine göre gerçek ölçekli AKD Ünitesi'nin kapasitesi ve bu ünite de kullanılacak olan Anyonik Katyonik Filtre(AKF), Katyonik Filtre(KF) ve Anyonik Filtre(AF)'nin miktarı litre bazında hesaplanarak ünite tasarımı aşağıdaki gibi yapılmıştır;

450 L/h debi ile 7 saat çalıştırılan Pilot AKD Ünitesi'nden(Anyonik Filtre'den) geçen 3.300 litre eloksal durulama banyosunda 17.600 µS/cm iletkenlik

değerinde banyo $8.800 \text{ mg/L} = 8.8 \text{ g/L}$ toplam çözünmüş madde bulunmaktadır. Buna göre Pilot AKD Ünitesi'nden geçen 3.300 litre eloksal durulama banyosu atıksuyunda toplam $3.300 \times 8,8 \text{ g/L} = 29.040 \text{ g}$ çözünmüş madde vardır. Elokسال durulama banyolarından günde atılan $13,667 \text{ m}^3$ atıksu içerisinde $13.667 \times 8,8 = 120.269,6 \text{ g}$ toplam çözünmüş madde bulunmaktadır.

Pilot AKD Ünitesi'nde kullanılan ve ünite çıkışını oluşturan 50 L anyonik reçine 29.040 g giderim yaptığına göre 1 L reçine 580,8 gr toplam çözünmüş madde giderimi yapmaktadır. Buna göre $120.269,6 \text{ g} / 580,8 \text{ g/L} = 207,08 \text{ L}$ Anyonik Reçine'ye ihtiyaç vardır. Sistemin üç günde bir geri yıkaması yapılması nedeniyle $207,08 \times 3 = 621,23 \text{ L}$ reçineye ihtiyaç vardır.

Gerçek ölçekli sistem debisinin hesaplanmasında belirleyici etken anyonik reçine miktarıdır. Debi/Reçine Oranı-Miktarı=8-40 olmalıdır. Debi/Reçine Oranı=12 alınarak Anyonik Reçine dolayısı ile AKD Ünitesi için $\text{Debi} = 12 \times 621,23 = 7.454,76 \text{ L/h}$ olarak hesaplanır. Bu durumda yapılacak gerçek ölçekli AKD Ünitesi'nin debisi yani kapasitesi $8 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak belirlenir.

Aktif karbon filtresi boyutlandırma temas süresi 3,5 dakika seçildiğinde filtre çapı 750 mm ve dolgu miktarı ise 475 L bulunmaktadır.

Katyonik ve anyonik filtre dizaynında ise geçirilecek olan su yapısındaki çözünmüş katyon - anyon iyonlarının miktarı ve birbirlerine oranı belirleyici olmaktadır. Elokسال durulama banyoları büyük bir kısmını sülfürik asit oluşturduğu kabul edilirse anyonik reçinenin katyonik reçineden daha fazla olması gerekmektedir.

$8 \text{ m}^3/\text{h}$ debili bir sistemde katyonik reçine için Debi/Reçine Oranı=20 alırsak(bu oran 8-40 olarak değişmektedir.) Buna göre $7.454,76 \text{ L/saat} / 20 = 372,74 \text{ L}$ katyonik reçine miktarı olarak belirlenir. Bu miktar anyonik reçinenin yaklaşık yarısı kadardır. Bu durumda su yapısındaki iyonların 1/3 katyon, 2/3 anyon olarak değerlendirilmiştir. AKD Ünitesi'nde kullanılacak Katyonik Reçine 400 L, Anyonik Reçine Katyonik Reçine'nin iki katı hacimde 800 L olarak tasarlanacaktır.

Renklendirme Durulama Banyosu Gerçek Ölçekli Geri Kazanım Ünitesi Tasarımı

Renklendirme durulama ve tespit durulama banyolarından atıksu geri kazanımı için; banyo atıksu geri kazanımında pilot ölçekte kullanılan AKD Ünitesi tarafından geri kazanılan temizsuyun bu banyolara verilmesi ile tekrar geri kazanım işlemi yapılana kadar banyolardaki kirlilik yükünün artışına bağlı iletkenlik değeri tespit edilerek ve seyrelme suyu miktarına göre gerçek ölçekli AKD Ünitesinin kapasitesi ve üniteye kullanılacak AKF, KF ve AF'nin miktarı litre bazında hesaplanarak tasarımı aşağıdaki gibi yapılmıştır;

Renklendirme durulama banyosu için günde 20 m³ olmak üzere haftada toplam 120 m³ su kullanılmaktadır. 12 m³ hacimli Renklendirme Durulama Banyosu günlük 20 m³ su yaklaşık saatlik 1 m³ yumuşak su taşıması ile renklendirme durulama banyosu iletkenliği sabit tutulduğu göz önüne alındığında saatte 2 m³ geri kazanım kapasiteli AKD ünitesin çevrim suyu bu banyonun iletkenliğini düşürecektir. Aynı bir hesaplama ile Debi/Reçine Oranı=10 alınarak 20 m³ banyo atıksuyu için 2 m³/h kapasitede gerçek ölçekli AKD ünitesi gerekecektir. Renklendirme durulama banyosu için 2 m³/h kapasitede gerçek ölçekli AKD ünitesi yapılırsa banyonun toplam suyunu 6 saat sürede tamamen çevireceği için banyo iletkenliğinin 100 - 200 µs/cm olacağı belirlenmiştir. Bir saatlik çevrim süresince banyonun iletkenliği max 100 µs/cm artacaktır.

2 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD ünitesinde kullanılacak olan reçineler bu atıksuların nötr karaktere yakın olmaları nedeniyle anyon katyon oranları yaklaşık eşit kabul edilerek aynı hacimde olacaktır. Debi/Reçine Miktarı 10 alınarak 2 m³/h kapasite için reçine miktarı 200 L olacaktır.

Tespit Durulama Banyosu Gerçek Ölçekli Geri Kazanım Ünitesi Tasarımı

Renklendirme durulama ve tespit durulama banyolarından atıksu geri kazanımı için; banyo atıksu geri kazanımında pilot ölçekte kullanılan AKD Ünitesi tarafından geri kazanılan temizsuyun bu banyolara verilmesi ile tekrar geri kazanım işlemi yapılana kadar banyolardaki kirlilik yükünün artışına bağlı iletkenlik değeri tespit edilerek ve seyrelme suyu miktarına göre gerçek ölçekli AKD Ünitesinin kapasitesi ve üniteye kullanılacak AKF, KF ve AF'nin miktarı litre bazında hesaplanarak tasarımı aşağıdaki gibi yapılmıştır;

Tespit durulama banyoları için haftada 80 m³ olmak üzere günde 80 m³/6 gün = 13,33 m³ su kullanılmaktadır. Günlük 10-12 m³ su yaklaşık saatlik 0,5-0,6 m³ yumuşak su taşıması ile tespit durulama banyosu iletkenliği sabit tutulduğu göz önüne alınır, saatte 3 m³ AKD çevrim suyu bu banyonun iletkenliğini düşürecektir.

Tespit durulama banyosu için 3 m³/h kapasitede bir AKD ünitesi yapılırsa banyonun toplam suyunu 10/3= 3,3 saat sürede tamamen çevireceği için banyo iletkenliği < 500 µS/cm olacağı tespit edilmiştir. Bir saatlik çevrim süresince banyonun iletkenliği max 100-200 µS/cm artacaktır. Bu durumda sisteme gelecek olan kirlilik yükü düşeceğinden dolayı sistem daha uzun süre ile düşük iletkenlikte su üretecektir. Bu süre askılardan taşınan tespit banyosunun özelliğine, taşırılan su miktarına ve geçirilen askı miktarına göre değişkenlik gösterecektir.

3 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD ünitesinde kullanılacak olan reçineler bu atıksuların nötr karaktere yakın olmaları nedeniyle anyon katyon oranları yaklaşık eşit kabul edilerek aynı hacimde olacaktır. Debi/Reçine Miktarı 10 alınarak 3 m³/h kapasite için reçine miktarı 300 L olacaktır.

Yapılan çalışmalardaki geri kazanım verimlerindeki azalmanın nedeninin, geri kazanım ünitesinde kullanılan membran veya reçinenin kapasitesinin dolmasına bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Geri kazanım veriminin artırılması(yenilenmesi) için rejenerasyon işlemi yapılmaktadır.

Prosesin Enerji Açısından İncelenmesi

Kaplama banyolarında gerçek ölçekli geri kazanım ünitelerinin kullanılmasıyla bu ünitelerin çalıştırılmasında kullanılan elektrik enerjisinin maliyeti ile bu ünitelerin kullanılmasından sonra kimyasal arıtma tesisinde kullanılan ekipmanların daha az çalışmasına bağlı olarak meydana gelecek olan elektrik tasarrufunun getirisine göre değerlendirme aşağıdaki gibi yapılmıştır;

Gerçek ölçekli geri kazanım üniteleri için kullanılacak elektrik enerjisinin günlük toplam 138,75 TL'lık maliyeti olacaktır. Kostik durulama banyosunda kullanılan 0.75 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli NF Ünitesi'nde 22 kW'lık elektrik motorunun günde 20 saat çalışması ile 132 TL'lık maliyeti olacaktır. Bu elektrik

maliyeti diğer ünitelerin yanında oldukça yüksek kalmaktadır. Buradan NF Ünitesi'nde kullanılan membranlar basınçlı çalıştıklarından dolayı ünite de kullanılan elektrik motor güçlerinin yüksek ve ünite çalışma sürelerinin fazla olması nedeniyle elektrik enerjisi maliyeti fazla olduğu sonucuna varılmaktadır.

Gerçek ölçekli geri kazanım üniteleri ile kimyasal arıtma tesisine daha az atıksu gidecektir. Bu durumda arıtma tesisi ekipmanlarının çalışma sürelerinin azalmasına bağlı olarak elektrik enerjisinin maliyetinde günlük 64,5 TL'lık azalma meydana gelecektir. Buna rağmen gerçek ölçekli geri kazanım üniteleri kullanıldığında $138,75 - 64,5 = 74,25$ TL günde olmak üzere yılda 300 gün çalışma ile $74,25 \times 300 = 22.275$ TL'lık elektrik enerjisi maliyeti olacaktır.

Yağalma Banyosu, Sökme Banyosu, Kostik Banyosu, Renklendirme Banyosu, Soğuk Tespit Banyosu ve Sıcak Tespit Banyosu'nun proses gereği ısıtılması gerekmektedir. Bu banyoların özellikle soğuk havalarda (eloksal kaplama tesislerinde genellikle çalışma ortamı ısıtılmaması nedeniyle -3 C° banyo sıcaklığında) çalıştırılması (kullanılması) dikkate alınarak -3 C°'deki banyo sıcaklığının proses sıcaklığına çıkarılması için gerekli ısı güçleri banyoların ortalama 1 saatte ısıtılması koşuluyla aşağıdaki verildiği gibi hesaplanmıştır;

Yağlama Banyosu'nun soğuk hava koşullarındaki -3 C°'deki banyo sıcaklığının banyo çalışma sıcaklığı olan 55 C°'ye ısıtılması için $805,55$ kW'lık ısıtıcı gücüne,

Sökme Banyosu'nun soğuk hava koşullarındaki -3 C°'deki banyo sıcaklığının banyo çalışma sıcaklığı olan 50 C°'ye ısıtılması için $736,64$ kW'lık ısıtıcı gücüne,

Mat(Kostik) Banyosu'nun soğuk hava koşullarındaki -3 C°'deki banyo sıcaklığının banyo çalışma sıcaklığı olan 70 C°'ye ısıtılması için $1.011,46$ kW'lık ısıtıcı gücüne,

Renklendirme Banyosu'nun soğuk hava koşullarındaki -3 C°'deki banyo sıcaklığının banyo çalışma sıcaklığı olan 24 C°'ye ısıtılması için $377,1$ kW'lık ısıtıcı gücüne,

Soğuk Tespit Banyosu'nun soğuk hava koşullarındaki -3 C°'deki banyo sıcaklığının banyo çalışma sıcaklığı olan 30 C°'ye ısıtılması için 459,91 kW'lık ısıtıcı gücüne,

Sıcak Tespit Banyosu'nun soğuk hava koşullarındaki -3 C°'deki banyo sıcaklığının banyo çalışma sıcaklığı olan 95 C°'ye ısıtılması için 1.352,56 kW'lık ısıtıcı gücüne ihtiyaç olmak üzere,

Yağalma, sökme, mat(kostik), renklendirme, soğuk tespit ve sıcak tespit banyolarının ısıtılması için toplam 805,55 kW + 736,64 kW + 1.011,46 kW + 377,1 kW + 459,91 kW + 1.352,56 kW= 4.743,2 kW'lık ısıl güce ihtiyaç vardır.

Eloksal kaplama işlemlerinde 8.250 kcal/m³ alt ısıl değerine sahip 584,6 m³/h yakıt debisi ile çalışan doğalgazlı Buhar Kazanı'nın ısıl gücü hesaplanırsa,

$P=(584,6 \text{ m}^3/\text{h}).(8.250 \text{ kcal}/\text{m}^3)=4.822.950 \text{ kcal}/\text{h}=4.822.950/3.600=1.339.7 \text{ kcal}/\text{s}$ olarak hesaplanır. $1 \text{ j}=0,239 \text{ kalori}$ alınarak $P=1.339,7/0,239=5.605,47 \text{ kW}$ olarak bulunur. Buhar kazanından %93 verim ile $5.605,47 \times 0,93=5.213 \text{ kW}'lık$ ısıl güç alınmakta ve bu ısıl güç banyoların ısıtılması için gerekli olan 4.743,2 kW'lık ısıl gücü yeterli olmaktadır.

Banyoların ısıtılması için gerekli toplam süre hesaplanırsa;

Yağalma, sökme, mat(kostik), renklendirme, soğuk tespit ve sıcak tespit banyolarının ısıtılması için toplam 2.899.970,304 kj +2.651.897,241 kj + 3.641.262,367 kj + 1.357.581,028 kj + 1.655.683,92 kj + 4.869.214,006 kj=17.075.608,87 kj'lük ısıl güce ihtiyaç vardır.

$q=P.t,$

$q=(17.075.608,87 \text{ kj})=(5.213 \text{ kj}/\text{s}).t,$

$t=(17.075.608,87)/(5.213)=3.275,58 \text{ s}, t=0,9 \text{ saatte}$ banyolar ısıtılır.

Eloksal Banyosu'nun soğutulması değerlendirilirse;

Uygulama yapılan tesiste eloksal banyosunun soğutulması için kullanılacak soğutma makinesi-grubundaki gerekli kompresör gücü 201,65 kW olarak hesaplanmıştır. Soğutma grubunda kullanılan mevcut kompresörün gücü 250 kW tır. Ayrıca eloksal banyolarının soğutulması için gerekli soğutma gücünün

624,65 kW olarak hesaplanmıştır. Soğutma grubunun soğutma gücü 792,65 kW olarak belirlenmiştir. Bu nedenle eloksal banyolarının soğutulmasında kullanılan soğutma grubunun enerji açısından değerlendirilmesi uygun bulunmuştur. Alternatif olarak kule tipi soğutma ile prosesin enerji açısından verimliliğinin değerlendirilmesi üzerinde çalışılması gereken konudur.

Banyolardan oluşan emisyonların ortamdan çekilerek bacadan atılması değerlendirilirse;

Uygulama yapılan tesiste yağalma, sökme, kostik, 3 adet eloksal ve renklendirme banyosunda SKHKKY gereğince yapılan emiş sisteminde 28 kw'lık motor gücü yeterli olmasına rağmen 38,5 kW'lık motor gücü kullanılmıştır. Bu durum günde 63 TL olmak üzere yılda 18.900 TL ilave maliyet oluşturmaktadır. Prosesten oluşan emisyonların kaplama uzunluğu boyunca 2 hat olarak menfezli emiş sisteminin tasarlanması alternatif olarak önerilmektedir.

Gerçek ölçekli geri kazanım ünitelerin kullanılmasıyla prosesin maliyet açısından değerlendirmesi yapılırsa;

Eloksal kaplama banyoları gerçek ölçekli ünitelerle geri kazanım işlemlerine ait maliyet Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2:Eloksal Kaplama Banyoları Geri Kazanım Maliyet Tablosu

Banyo Adı Ve Banyodan Oluşan Atıksu Miktarı	Gerçek Ölçekli Ünite Ve Kapasitesi	Elektrik Maliyeti (TL/gün)	Membran/ Reçine Maliyeti (TL/gün)	Rejenerasyon Maliyeti (TL/gün)	Yumuşak su Kullanım Maliyeti (TL/gün)	Toplam Maliyet (TL/gün)
Kostik Durulama (15 m ³ /gün)	NF (0.75 m ³ /h)	132,0	12,79	5,55	-	150,34
Eloksal Banyosu (3 m ³ /gün)	AİD (5 m ³ /h)	1,5	6,85	-	50,0	58,35
Eloksal Durulama (13,667 m ³ /gün)	AKD (8 m ³ /h)	3,3	13,05	184,89	-	201,24
Renklendirme Durulama (20 m ³ /gün)	AKD (2 m ³ /h)	1,2	4,27	57,06	-	62,53
Tespit Durulama (13,33 m ³ /gün)	AKD (3 m ³ /h)	0,75	6,75	85,65	-	93,15
TOPLAM		138,75	43,71	330,6	50,0	565,61

Çizelge 6.2'ye göre;

Kostik durulama banyosundan 0.75 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli NF ünitesi kullanılarak günde oluşan 15 m³ atıksuyun geri kazanılması için 132 TL elektrik, 12,79 TL membran kullanım maliyeti ve 5,55 TL rejenerasyon maliyeti olmak üzere günde toplam 150,34 TL maliyeti olacaktır.

Eloksal banyosundan 5 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AİD ünitesi kullanılarak günde oluşan 3 m³ atıksuyun geri kazanılması için 1,5 TL elektrik, 6,85 TL

reçine kullanım maliyeti ve 50 TL yumuşaksu kullanım maliyeti olmak üzere günde toplam 58,35 TL maliyeti olacaktır.

Eloksal durulama banyosundan 8 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD ünitesi kullanılarak günde oluşan 13,667 m³ atıksuyun geri kazanılması için 3,3 TL elektrik, 13,05 TL reçine kullanım maliyeti ve 184,89 TL rejenerasyon maliyeti olmak üzere günde toplam 201,24 TL maliyeti olacaktır.

Renklendirme durulama banyosundan 2 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD ünitesi kullanılarak günde oluşan 20 m³ atıksuyun geri kazanılması için 1,2 TL elektrik, 4,27 TL reçine kullanım maliyeti ve 57,06 TL rejenerasyon maliyeti olmak üzere günde toplam 62,53 TL maliyeti olacaktır.

Tespit durulama banyosundan 3 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD ünitesi kullanılarak günde oluşan 13,33 m³ atıksuyun geri kazanılması için 0,75 TL elektrik, 6,75 TL reçine kullanım maliyeti ve 85,65 TL rejenerasyon maliyeti olmak üzere günde toplam 93,15 TL maliyeti olacaktır.

Kostik durulama banyosundan 15 m³, eloksal banyosundan 3 m³, eloksal durulama banyosundan 13,667 m³, renklendirme durulama banyosundan 20 m³ ve tespit durulama banyosundan 13,33 m³ olmak üzere günde toplam 64,997 m³ atıksuyun arıtılarak geri kazanılmasının günde toplam 565,61 TL'lık maliyeti olacaktır.

Eloksal durulama, renklendirme durulama ve tespit durulama banyolarında kullanılan AKD Ünitesi'nin renklendirme durulama ve tespit durulama banyoları için maliyetinin eloksal durulama banyosu maliyetinden çok daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni renklendirme ve tespit durulama banyolarında daha düşük iletkenlik değerlerinde yani daha temiz banyolarda geri kazanım işleminde kullanılacak olan geri kazanım ünitesinin kapasitesinin eloksal durulama banyosu geri kazanım ünitesine göre daha düşük olmasıdır. Buradan geri kazanım ünitesinin kapasitesinin ve maliyetinin belirlenmesinde banyo kirlilik miktarının etkili olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Eloksal kaplama banyoları gerçek ölçekli ünitelerle geri kazanım işlemlerine ait kazançlar Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3:Eloksal Kaplama Banyoları Geri Kazanım Kazanç Tablosu

Banyo Adı Ve Banyodan Geri Kazanılan Atıksu Miktarı	Gerçek Ölçekli Ünite Ve Kapasitesi	Atıksu Geri Kazanım Kazancı (TL/gün)	Atıksu Arıtılmayışına Bağlı Kazanç (TL/gün)	Hammadde (Asit) Geri Kazanım Kazancı (TL/gün)	Toplam Geri Kazanım Kazancı (TL/gün)
Kostik Durulama (13,23 m ³ /gün)	NF (0.75 m ³ /h)	132,3	112,46	-	244,76
Eloksal Banyosu (2,85 m ³ /gün)	AİD (5 m ³ /h)	28,5	24,225	328	380,725
Eloksal Durulama (11,412 m ³ /gün)	AKD (8 m ³ /h)	114,12	97,002	-	211,12
Renklendirme Durulama (18,44 m ³ /gün)	AKD (2 m ³ /h)	184,4	156,74	-	341,14
Tespit Durulama (10,277 m ³ /gün)	AKD (3 m ³ /h)	102,77	87,35	-	190,12
TOPLAM		562,09	477,775	328	1.367,865

Çizelge 6.3'e göre;

Kostik durulama banyosundan 0.75 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli NF ünitesi kullanılarak 13,23 m³ atıksuyun geri kazanılmasıyla 132,3 TL'lık atıksu geri kazanım kazancı ve 112,46 TL'lık atıksuyun arıtılmayışına bağlı kazanç olmak üzeregünde toplam 244,76 TL'lık kazanç sağlanacaktır.

Eloksal banyosundan 5 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AİD ünitesi kullanılarak 3 m³ atıksuyun geri kazanılmasıyla 28,5 TL'lık atıksu geri kazanım kazancı,

24,225 TL'lık atıksuyun arıtılmayışına bağlı kazanç ve 328 TL'lık hammadde(sülfürik asit) olmak üzere günde toplam 380,725 TL'lık kazanç sağlanacaktır.

Eloksal durulama banyosundan 8 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD ünitesi kullanılarak 11,412 m³ atıksuyun geri kazanılmasıyla 114,12 TL'lık atıksu geri kazanım kazancı ve 97,002 TL'lık atıksuyun arıtılmayışına bağlı kazanç olmak üzere günde toplam 211,12 TL'lık kazanç sağlanacaktır.

Renklendirme durulama banyosundan 2 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD ünitesi kullanılarak 18,44 m³ atıksuyun geri kazanılmasıyla 184,4 TL'lık atıksu geri kazanım kazancı ve 156,74 TL'lık atıksuyun arıtılmayışına bağlı kazanç olmak üzere günde toplam 341,14 TL'lık kazanç sağlanacaktır.

Tespit durulama banyosundan 3 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD ünitesi kullanılarak 10,277 m³ atıksuyun geri kazanılmasıyla 102,77 TL'lık atıksu geri kazanım kazancı ve 87,35 TL'lık atıksuyun arıtılmayışına bağlı kazanç olmak üzere günde toplam 190,12 TL'lık kazanç sağlanacaktır.

Kostik durulama banyosundan 13,23 m³, eloksal banyosundan 2,85 m³, eloksal durulama banyosundan 11,412 m³, renklendirme durulama banyosundan 18,44 m³ ve tespit durulama banyosundan 10,277 m³ olmak üzere günde toplam 56,209 m³ atıksuyun geri kazanılarak banyolarda kullanılmasıyla 1.367,865 TL'lık kazanç sağlanacaktır.

Uygulama yapılan tesiste pilot ölçekte yapılan çalışmada elde edilen geri kazanım oranlarına göre geri kazanım işlemi yapılan banyolardan oluşan atıksu miktarına göre geri kazanılarak banyoda kullanılacak olan atıksu miktarları Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4:Eloksal Kaplama Banyoları Atıksu Geri Kazanım Miktar Tablosu

Banyo Adı	Gerçek Ölçekli Ünite ve Kapasitesi	Atıksu Miktarı (m ³ /gün)	Geri Kazanılan Atıksu Miktarı (m ³ /gün)	Geri KazanımOranı(%)
Kostik Durulama	NF (0.75 m ³ /h)	15,00	13,23	88,2
Eloksal	AİD (5 m ³ /h)	3	2,85	95
Eloksal Durulama	AKD (8 m ³ /h)	13,667	11,412	83,5
Renklendirme Durulama	AKD (2 m ³ /h)	20,00	18,44	92,2
Tespit Durulama	AKD (3 m ³ /h)	13,33	10,277	77,1
TOPLAM		64,997	56,209	86,48

Çizelge 6.4'e göre; gerçek ölçekli geri kazanım işlemi yapılacak olan kostik durulama, eloksal, eloksal durulama, renklendirme durulama ve tespit durulama banyolarından günde oluşan 64,997 m³ atıksuyun toplam %86,48 verim ile 56,209 m³'ü geri kazanılarak banyolarda tekrar kullanılacaktır.

Çizelge 6.2, Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4'e göre kostik durulama, eloksal, eloksal durulama, renklendirme durulama ve tespit durulama banyolarından günde oluşan toplam 64,997 m³ atıksuyun %86,48 verim ile 56,209 m³ atıksuyun geri kazanılarak banyolarda kullanılmasıyla günde toplam 565,61 TL'lık maliyet ve 1.367,865 TL'lık kazanç sağlanacaktır. Bu durumda 1.367,865 - 565,61=802,255 TL olmak üzere 300 gün çalışma ile yılda 300x802,255=240.676,5 TL kazanç ayrıca günde 56,209 m³ olmak üzere yılda 300x56,209=16.867 m³ atıksu geri kazanılarak banyolarda tekrar

kullanılacaktır. Bunun yanında AİD Ünitesi ile günde 410 kg olmak üzere yılda 300 gün çalışma ile $410 \times 300 = 123.000$ kg Sülfürik Asit banyoda tekrar kullanılacaktır.

Kostik Durulama banyolarında KOCH SELRO MPS-34 membran kullanılarak yapılacak $0,75 \text{ m}^3/\text{saat}$ kapasiteli gerçek ölçekli NF Ünitesi ile ünitenin günde 244,76 TL'lık geliri ve 150,34 TL'lık maliyeti olacaktır. Bu durumda günde $244,76 - 150,34 = 94,42$ TL, 300 gün çalışma ile yılda $300 \times (94,42) = 28.326$ TL kazanç sağlanacaktır. Gerçek ölçekli NF Ünitesi'nin maliyeti yaklaşık 80.000 TL dir. Ünite kendisini ortalama 34 ayda amorti edecektir.

Eloksal banyolarında gerçek ölçekli 500 L hacimde $5 \text{ m}^3/\text{h}$ kapasiteli gerçek ölçekli AİD Ünitesi kullanılarak ünitenin günde 380,725 TL'lık geliri ve 58,35 TL'lık maliyeti olacaktır. Bu durumda günde $380,725 - 58,35 = 322,375$ TL, ortalama 300 gün çalışma ile yılda $300 \times (322,375) = 96.712,5$ TL kazanç sağlanacaktır. Gerçek ölçekli AİD Ünitesi'nin maliyeti 85.000 TL dir. Ünite kendisini yaklaşık 11 ayda amorti edecektir.

Eloksal durulama banyolarında $8 \text{ m}^3/\text{h}$ kapasiteli gerçek ölçekli AKD Ünitesi kullanıldığında ünitenin günde 211,122 TL'lık geliri ve 201,24 TL'lık maliyeti olacaktır. Bu durumda günde $211,122 - 201,24 = 9,88$ TL'lık kazanç sağlanacaktır. Ünitenin rejenerasyonunda NF ünitesi ile kostik durulama banyolarının geri kazanım suları kullanıldığında günde 233,1 TL'lık gelir ve 170,66 TL'lık maliyet olacaktır. Bu durumda günde $233,1 - 170,66 = 62,44$ TL, 300 gün çalışma üzerinden yılda $300 \times 62,44 = 18.732$ TL kazanç sağlanacaktır. Gerçek ölçekli AKD Ünitesi'nin maliyeti yaklaşık 90.000 TL dir. Ünite kendini yaklaşık 4,8 yılda amorti edecektir.

Renklendirme durulama banyolarında $2 \text{ m}^3/\text{h}$ kapasiteli gerçek ölçekli AKD Ünitesi ile ünitenin günde 341,14 TL'lık geliri ve 62,53 TL'lık maliyeti olacaktır. Bu durumda günde $341,14 - 62,53 = 278,61$ TL, 300 gün çalışma üzerinden yılda $300 \times 278,61 = 83.583$ TL kazanç sağlanacaktır. Gerçek ölçekli bir AKD Ünitesi'nin maliyeti yaklaşık 60.000 TL dir. Ünite kendini yaklaşık 8,6 ayda amorti edecektir.

Tespit durulama banyolarında $3 \text{ m}^3/\text{h}$ kapasiteli gerçek ölçekli AKD Ünitesi ile ünitenin günde 190,12 TL'lık geliri ve 93,15 TL'lık maliyeti olacaktır. Bu durumda günde $190,12 - 93,15 = 96,97$ TL, 300 gün çalışma üzerinden yılda

$300 \times 96,97 = 29.091$ TL kazanç sağlanacaktır. Gerçek ölçekli bir AKD Ünitesi'nin maliyeti yaklaşık 80.000 TL dir. Ünite kendini yaklaşık 33 ayda amorti edecektir.

Kaplama işleminden günde oluşan toplam $64,997 \text{ m}^3$ atıksuyun geri kazanılmasında kullanılacak gerçekli ölçekli ünitelerin toplam maliyeti 395.000 TL dir. Gerçek ölçekli ünitelerle günde $56,209 \text{ m}^3$ atıksuyun geri kazanımıyla yılda 240.676,5 TL kazanç sağlanarak gerçek ölçekli üniteler kendini yaklaşık 20 ayda amorti edecektir.

Uygulama yapılan tesiste eloksal kaplama işleminde kullanılan ve günde $7,67 \text{ m}^3$ atıksu oluşan yağ alma durulama banyosundan, $5,67 \text{ m}^3$ atıksu oluşan nötralizasyon durulama banyosundan ve $1,67 \text{ m}^3$ atıksu oluşan son durulama banyosundan atıksu miktarlarının az oluşuna bağlı olarak geri kazanım kazançlarının az olacağı düşünülerek pilot ölçekte çalışma ve bunların gerçek ölçekli tasarımları yapılmamıştır.

Genel anlamda tüm geri kazanım üniteleri için geri kazanılacak olan atıksuyun miktarı arttıkça atıksu geri kazanım, geri kazanılan atıksuyun arıtılmayışına ve geri kazanılan hammadde miktarının artışına bağlı olarak gerikazanım maliyetlerinin azalacağı ayrıca AKD Ünitesi kullanılarak geri kazanım işlemleri yapılmasında ünitenin rejenerasyon maliyetlerinin yüksekliği ön plana çıkması nedeniyle rejenerasyon maliyetlerinin düşürülmesi için alternatif uygulamaların yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

7 SONUÇ VE ÖNERİLER

Eloksal kaplama banyolarından atıksu ve hammaddenin verimli bir şekilde geri kazanımında; banyo kirlilik yükünün, atıksu debisinin, banyo özelliklerinin, geri kazanım ünite-ekipman kapasitesinin ve ünite de kullanılan geri kazanım malzemesinin etkili olduğu ayrıca kaplanacak malzemenin kaplama kalitesinde de malzemenin yüzey kirliliğinin ve banyo kirlilik yükünün etken olduğu tespit edilmiştir.

Uygulamanın yapıldığı banyolar için aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır;

Kostik Durulama Banyosu Atıksu Geri Kazanımı Kapsamında;

Pilot NF Ünitesi kostik durulama banyosu atıksularının ortalama %88,2 verim ile geri kazanılarak banyoda verimli bir şekilde kullanılabilceği ayrıca geri kazanım suyunun AKD Ünitesi Anyonik Filtre'nin rejenerasyonunda kullanılabilceği tespit edilmiştir. Banyo'dan ortalama %91,2 verim ile geri kazanılan Kostik, NF Ünitesi'ndeki Alüminyum ile bağ oluşturup Sodyum Aluminat(NaAlO_2) formunda olduğundan kostik olarak kullanılamaması nedeniyle Sodyum Aluminat'ın kristalizasyon yöntemi ile alüminyumdan ayrılması ve daha sonra evaporatörde konsantre hale getirilmesi için çalışma yapılması önerilmektedir.

Pilot NF Ünitesi'nin yükünü hafifletmek için NF Ünitesi öncesinde kullanılan Pilot UF Ünitesi ile atıksudaki askıdaki katı maddenin %99 verim ile giderildiği tespit edilmiştir.

NF ünitesinde kullanılan elektrik motoru gücü ve çalışma süresi miktarının fazla olmasına bağlı elektrik maliyetinin ön plana çıktığı tespit edilmiştir.

Kostik Durulama banyolarında KOCH SELRO MPS-34 membran kullanılarak yapılacak $0,75 \text{ m}^3/\text{saat}$ kapasiteli gerçek ölçekli NF Ünitesi kullanılarak günde 94,42 TL, 300 gün çalışma ile yılda 28.326 TL kazanç sağlanacaktır. Geri, kazanım ünitesi kendisini ortalama 34 ayda amorti edecektir. Banyodan günde

oluşan 15 m³ atıksuyun 13,23 m³'ü geri kazanılarak banyoda tekrar kullanılacaktır.

Eloksal Banyosu Atıksu Geri Kazanımı Kapsamında;

Pilot AİD Ünitesi kullanılarak Eloksal Banyosu'ndan ortalama %91,1 verim ile Sülfürik Asit'in ve %95 verim ile geri kazanılan atıksuyun geri kazanılarak banyoda verimli bir şekilde kullanılabilceği tespit edilmiştir. Eloksal banyosundan asit geri kazanımı için kullanılan AİD Ünitesi'ndeki reçineye eloksal banyosu atıksuyun basılması ile reçine üst kısımlarındaki saf suyun ayrı tanka alınarak en az %50 verim ile geri kazanılarak proseste kullanılması önerilmektedir.

Eloksal banyosundan atılan asit, arıtma tesisine gönderilmektedir. Arıtma tesisinde asidi nötr hale getirmek için baz kullanmak gerekmektedir. Asit geri kazanımı yapıldığı zaman asit atılmadığı için arıtma tesisinin hem yükü hafifleyecek hem de asidi nötr hale getirmek için fazladan baz kullanımına gerek kalmayacaktır.

Eloksal banyolarında gerçek ölçekli 500 L hacimde 5 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AİD Ünitesi kullanılarak günde 322,375 TL olmak üzere ortalama 300 gün çalışma ile yılda 96.712,5 TL kazanç sağlanacaktır. Gerçek ölçekli AİD Ünitesi kendisini yaklaşık 11 ayda amorti edecektir. Günde banyodan oluşan 3 m³ atıksuyun 2,85 m³'ü ayrıca banyoda günde kullanılan 450 kg sülfürik asidin 410 kg.'ı geri kazanılarak banyoda kullanılacaktır.

Eloksal Durulama Banyosu Atıksu Geri Kazanımı Kapsamında;

Pilot NF Ünitesi ile geri kazanılan atıksu eloksal durulama banyosunda kullanılabilcek kalitede olmadığı için NF Ünitesi'nin banyoda verimli olmadığı tespit edilmiştir.

Pilot AKD Ünitesi kullanılarak eloksal durulama banyosu atıksularının ortalama %83,5 verim ile geri kazanılarak banyoda verimli bir şekilde kullanılabilceği tespit edilmiştir.

Eloksal durulama banyolarında 8 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD Ünitesi kullanıldığında günde 9,88 TL'lık kazanç sağlanacaktır. Ünitenin rejenerasyonunda NF ünitesi ile kostik durulama banyolarının geri kazanım

suları kullanıldığında günde 62,44 TL olmak üzere 300 gün çalışma üzerinden yılda 18.732 TL'lık kazanç sağlanacaktır. Gerçek ölçekli AKD Ünitesi kendini yaklaşık 4,8 yılda amorti edecektir. Günde banyodan oluşan 13,667 m³ atıksuyun 11,412 m³'ü geri kazanılarak banyoda kullanılacaktır.

Renklendirme Durulama Banyosu Atıksu Geri Kazanımı Kapsamında;

Pilot AKD Ünitesi kullanılarak renklendirme durulama banyosu atıksularının ortalama %92,2 verim ile geri kazanılarak banyoda verimli bir şekilde kullanılabilceği tespit edilmiştir.

Renklendirme durulama banyolarında 2 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD Ünitesi ile günde 278,61 TL olmak üzere 300 gün çalışma üzerinden yılda 83.583 TL'lık kazanç sağlanacaktır. Gerçek ölçekli bir AKD Ünitesi kendini yaklaşık 8,6 ayda amorti edecektir. Günde banyodan oluşan 20 m³ atıksuyun 18,44 m³'ü geri kazanılarak banyoda kullanılacaktır.

Tespit Durulama Banyosu Atıksu Geri Kazanımı Kapsamında;

Pilot AKD Ünitesi kullanılarak tespit durulama banyosu atıksularının ortalama %77,1 verim ile atıksuyun geri kazanılarak tekrar banyoda verimli bir şekilde kullanılabilceği tespit edilmiştir.

Tespit durulama banyolarında 3 m³/h kapasiteli gerçek ölçekli AKD Ünitesi ile günde 96,97 TL olmak üzere 300 gün çalışma üzerinden yılda 29.091 TL'lık kazanç sağlanacaktır. Gerçek ölçekli bir AKD Ünitesi kendini yaklaşık 33 ayda amorti edecektir. Günde banyodan oluşan 13,33 m³ atıksuyun 10,277 m³'ü geri kazanılarak banyoda kullanılacaktır.

Eloksal durulama, renklendirme durulama ve tespit durulama banyolarında kullanılan AKD Ünitesi'nin rejenerasyonunda Katyonik Filtre HCl ile yıkanıp yan ürün olarak oluşan alüminyum klorür kimyasal arıtma tesislerinde koagülant olarak kullanılabilceği uygulama esnasında yapılan laboratuvar çalışmalarında tespit edilmiştir.

AKD Ünitesi Katyonik Filtre'in H₂SO₄ ile rejenerasyonu sonucunda ayrıca NF Ünitesi'nde yan ürün olarak oluşan Alüminyum Sülfat'ın atıksulardan bor giderimi için kimyasal arıtma tesislerinde koagülant olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi önerilmektedir.

AKD Ünitesi Anyonik Filtre'nin NaOH ile rejenerasyonu sonucunda yan ürün olarak oluşan Sodyum Sülfat'ın farklı sektörlerdeki çeşitli kullanım amaçları için uygunluğunun tespiti çalışmasının yapılması önerilmektedir.

Gerçek ölçekli geri kazanım üniteleri kullanıldığında günde 74,25 TL olmak üzere yılda 22.275 TL'lık elektrik enerjisi maliyeti olacaktır.

Yağalma, sökme, mat(kostik), renklendirme, soğuk tespit ve sıcak tespit banyolarının ısıtılması için toplam 4.743,2 kW'lık ısı güce ihtiyaç olduğu hesaplanarak tesiste kullanılan doğalgazlı 5.605,47 kW ısı gücündeki Buhar Kazanı'nın yeterli olduğu ayrıca en soğuk hava şartlarında dahi banyoların makul sürede(ortalama 0,9 saatte) ısıtıldığı tespit edilmiştir.

Eloksal banyosunda kaplama işleminde oluşan sıcaklık artışının banyo çalışma koşullarına soğutulması için kullanılan soğutma grubunun soğutma gücünün yeterli olduğu tespit edilmiştir.

SKHKKY gereğince kaplama işleminden oluşan emisyonların ortamdaki çekilerek bacadan atılması için yapılan emiş sisteminde 28 kW'lık motor gücü yeterli olmasına rağmen 38,5 kW'lık motor gücü kullanılmıştır. Bu durum günde 63 TL olmak üzere yılda 18.900 TL ilave maliyet oluşturmaktadır. Prosesten oluşan emisyonların kaplama uzunluğu boyunca 2 hat olarak menfezli emiş sisteminin tasarlanması alternatif olarak önerilmektedir.

Geri kazanım üniteleri için geri kazanılacak olan atıksuyun miktarı arttıkça atıksu geri kazanım, geri kazanılan atıksuyun arıtılmayışına ve geri kazanılan hammadde miktarının artışına bağlı olarak gerikazanım maliyetlerinin azalacağı ayrıca AKD Ünitesi kullanılarak geri kazanım işlemleri yapılmasında ünitenin rejenerasyon maliyetlerinin yüksekliği ön plana çıkması nedeniyle rejenerasyon maliyetlerinin düşürülmesi için alternatif uygulamaların yapılmasının faydalı olacağı sonucuna varılmıştır.

Gerçek ölçekli ünitelerle geri kazanım işlemi yapılacak olan kostik durulama, eloksal, eloksal durulama, renklendirme durulama ve tespit durulama banyolarından günde oluşan 64,997 m³ atıksuyun toplam %86,48 verim ile 56,209 m³'ü geri kazanılarak banyolarda tekrar kullanılacaktır. Geri kazanım işlemleriyle 300 gün çalışma ile yılda 16.862 m³ atıksu geri kazanılarak banyolarda kullanılacak ve 240.676,5 TL kazanç sağlanacaktır. Gerçek ölçekli

unitelerin toplam maliyeti 395.000 TL olması nedeniyle uniteler kendini yaklaşık 20 ayda amorti edecektir.

Bunun yanısıra daha az hammadde ve su kullanılarak doğal kaynakların korunması sayesinde ülke ekonomisine de katkı sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Üstün, G.E., Solmaz, S.K.A, Kestioğlu, K.** (2004). Organize Sanayi Bölgelerinde Atıksu Arıtımı, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi (s.1-9), Bursa
- [2] **Özbay İsmail, Kavaklı Mustafa,** 14-17 Mayıs 2008, Çevre Sorunları Sempozyumu Türkiye’de ve Diğer Ülkelerde Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanım Uygulamalarının İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli
- [3] **Eren Dolay, 2009,** Emaye Kaplama Endüstrisi Atıksularının Fenton Prosesiyle Arıtılması Selçuk Üniv. Fen Bil. Ens. Çevre Müh. Bölümü Y. Lisans Tezi, s.1,2, Konya
- [4] **Sağlam Necdet, Cihangir Nilüfer,** 1995, Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi 11: 157-161 (1995), Ağır Metallerin Biyolojik Süreçlerle Biyosorbsiyonu Çalışmaları s.157, Ankara
- [5] **Uludağ-Demirer Sibel, Fatih** Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Ders Notları, İstanbul
- [6] **Bali Ulusoy,** Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği 2013 Endüstriyel Kirlilik Kontrolü Ders Notları, Sivas
- [7] **Kavaklı, M., Civan Z.,** 2-5 Haziran 1997, Türkiye’de Su Kullanımı, Atıksuları Geri Kazanma ve Yeniden Kullanma Uygulamaları, Su ve Çevre Sempozyumu 97, İstanbul
- [8] **Miller G.W.,** 2006, İntegrated Concepts in Water Reuse: Managing Global Water Needs, Deselination 187, s. 65-75,
- [9] **Polat Ayben,** 2013, Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 6 (1): 58-62, ISSN: 1308-0040, E-ISSN: 2146-0132
- [10] **Büyükkamacı, N. ve Onbaşı A. N.** 2007, Endüstriyel Atıksuların Yeniden Kullanımının Değerlendirilmesi: Entegre Et Tesisi Atıksuları. 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İzmir, s;363-377, s.502-510,
- [11] **Lubello, C., Gori, R., Nicese, F. P. ve Ferrini, F.,** 2004, Municipal-Treated Wastewater Reuse For Plant Nurseries Irrigation. Water Research 38 (2004), s.2939-2947
- [12] **Ayşegül Tanık, İzzet Öztürk, Gökhan Cüceloğlu,** 2016, Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri, Türkiye Belediyeler Birliği, Ankara,
- [13] **Candela, L., Fabregat, S., Josa, A., Suriol, J., Vignes, N. ve Mas, J.,** 2007. Assesment of Soil and Groundwater Impacts by Treated Urban Wastewater Reuse. A Case Study: Application in A Golf Course

(Girona, Spain). Science of The Total Environment 374 (2007), s.26-35

- [14] **Massoud, M. ve El- Fadel, M.**,2002, Economic Feasibility of Wastewater Reuse in Agriculture: A Case Study. Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management, Tunis (EPCOWM'2002), s.598-607
- [15] **Alobaidy, A. H. M. J., Al-Sameraiy, M. A., Kadhem, A. J. ve Majeed, A.**, 2010, Evaluation of Treated Municipal Wastewater Quality for Irrigation Journal of Environmental Protection, s.1, s.216-225
- [16] **Hamilton, A. J., Stagnitti, F., Premier, R., Boland, A-M. ve Hale, G.**, 2006, Quantitative Microbial Risk Assesment Models For Consumption of Raw Vegetables Irrigated With Reclaimed Water. Applied and Environmental Microbiology, s.3284-3290
- [17] **İleri, R., Sümer, B., Gezbul, H. ve Şenol, E.**, 1996, Atık Kağıt İşleme Endüstrisinde Atıksu Miktarının Azaltılması ve Geri Kazanımıyla Çevrenin Korunması. Ekoloji Dergisi, Sayı: 21, s.16-22
- [18] **EPA, 2004, Guidelines for Water Reuse**, EPA/625/R-04/108, September, U.S. Agency for International Development, Washington, DC, s.450
- [19] **Metcalf and Eddy**, 2004, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Mc Graw Hill, New York, s.1820
- [20] **Kav Mehmet Fahri**, 2011, Adana OSB Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının İleri Arıtma Yöntemleri(Fiziko Kimyasal Yömtemler: Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma + Perlit Filtrasyonu) Kullanılarak Tekstil Endüstrisinde Proses Suyu Olarak Geri Kazanılabilirliğinin Araştırılması
- Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, s.14, Adana
- [21] **Asano, T. ve Cotruvo, J. A.**,2004, Groundwater Recharge With Reclaimed Municipal Wastewater: Health and Regulatory Considerations. Water Research, Volume 38, Issue 8, s.1941-1951
- [22] **Dillon, P., Pavelic, P., Toze, S., Rinck- Pfeiffer, S., Martin, R., Knapton, A. Pidsley, D.** ,2006, Role of Aquifer Storage in Water Reuse. Desalination s.123-134
- [23] **Üstün, G.E., Solmaz S.K.A.**, 2007, Bir Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinden Çıkan Atıksuların Tarımsal Amaçlı Sulama Suyu Olarak Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Ekoloji Dergisi, No: 62, s.55-72
- [24] **Çapar, G., Yetiş, Ü., Yılmaz, L.**, 2004, Halı Boyama Atıksularının Membran Prosesleri İle Arıtımı, Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi ISSN 1301-1588, , Cilt 14, Sayı 2, s.9-15
- [25] **Arslan-Alaton, Tanık İ., Ovez, A., İskender S., Gürel G., Orhon D.**, 2007, Reuse Potential of Urban Wastewater Treatment Plant Effluents In Turkey : A Case Study on Selected Plants,Deselination, s. 159-165

- [26] **20.03.2010 Tarih ve 27527 Sayılı Resmi Gazetede** Yayınlanan Arıtma Tesisi Teknik Usuller Tebliği, s:79
- [27] **Çevre Merkezi Dergisi**, Nisan 2004, Metal İşleme Endüstrisi Atıksularının Arıtılması, Arıtma Sisteminin İşletilmesi Bursa s;2,3
- [28] **www.egeeloksal.com**, Ege Eloksal Metal Kaplama San. Ve Tic. Ltd. Şti., Kataforez Kaplama
- [29] **www.hulgametal.com**, HÜL-GA Metal Ltd. Şti. Web Sitesi Galvanizlemede Flaks Kullanımı
- [30] **www.noktametal.com**, Eloksal İşlemleri
- [31] **Alüminyum Yüzey İşleme Derneği**, 2002, Alüminyum Yüzey İşlemleri-1, s.67
- [32] **Viguri, J., AndresA., Ibanez R., Ruiz Puente, C., Irabien, A.**, 2000, Characterization of Metal Finishing Sludges : Influence of the pH. Journal of Hazardous Materials, s.63-75
- [33] **Jorgensen, S. E.**, 1979, Industrial Wastewater Management. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Netherlands. ISBN: 0-444-41795-8. s.388
- [34] **Tünay, Olcay**,1996, Endüstriyel Kirlenme Kontrolü. İ. T. Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, s. 128, İstanbul,
- [35] **Defrawy N. M.**, 2002, Technoeconomic Indicators Pertinent to Environmental Management in Metal Forging Industry. Environ. Studies, s.229,242
- [36] **Sarı Bülent**, 2005, Çukurova Üniv, Fen Bil. Enstitüsü Doktora Tezi, Metal Sanayi Atık Çamurlarından Ağır Metal Gideriminde Biyoliç Yönteminin Kullanılması, Adana
- [37] **Curi Kriton**, 1980, Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Teknoloji ve Sistem Araştırmaları Enstitüsü Çevre Sorunları Çalışma Grubu, Arıtma Sistemlerinin Tasarımı III. Atıksu Tanımlama ve Arıtma Kursu, Atıksu Arıtma Tesislerine Genel Bir Bakış, s.1,2,10, İstanbul
- [38] **Eroğlu Veysel**, 1988, İstanbul Teknik Üniversitesi, Atıksuların Arıtılması Dersi Ders Notları
- [39] **MEGEP Kimya Teknolojisi Su Arıtma**, 2008, s.13,14,18,19,20,21,22,24,25
- [40] **Eroğlu Veysel**, Su Tasfiyesi İTÜ Yayını, 1999 s.15,138,179, 184,249,268,273
- [41] **Muslu Yılmaz**, 1996, Atıksuların Arıtılması, İTÜ Yayını, 1996, s.118,119 179,181,222,223,371, İstanbul
- [42] **Veliöğlu S. Giray**, 1980, Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Teknoloji ve Sistem Araştırmaları Enstitüsü Çevre Sorunları Çalışma Grubu, Arıtma Sistemlerinin Tasarımı III. Atıksu Tanımlama ve Arıtma Kursu, Oksidasyon Hendeği Sisteminin Projelendirilmesi, s.27,37, İstanbul
- [43] **Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği**, 2010, s.13,16,27,37,39,53,62,97

- [44] **Akarsu C.**, 2014, Kompleks Olarak Bağlı Metal İçeren Atıksuların Elektrokoagülasyon Prosesi İle Arıtımı / ISITES Karabük
- [45] **Atalay Timur**, 1980, Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Teknoloji ve Sistem Araştırmaları Enstitüsü Çevre Sorunları Çalışma Grubu, Arıtma Sistemlerinin Tasarımı III. Atıksu Tanımlama ve Arıtma Kursu, Atıkların Arıtılmasında Flotasyon Tanım ve Tasarımı, s.137, İstanbul
- [46] **Coşkun Tamer**, 2013, s.2,3, Yıldız Teknik Üniversitesi, İyon Değiştirici Dizayn Notları
- [47] **Gazi Üniversitesi** Kimya Mühendisliği Laboratuvar Ders Notları
- [48] **Zeki Ömer**, 2012, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü, Dimetil Terefalat Üretim Endüstrisi Atıksularından Asetik Asit İyon Değiştirme Yöntemiyle Gideriminin Araştırılması, Adana
- [49] **Turkman Ayşen**, Endüstriyel Atıksuların Arıtılmasında İleri Arıtma Yöntemleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, s,20,26
- [50] **Tünay Olcaç**, 1980, Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Teknoloji ve Sistem Araştırmaları Enstitüsü Çevre Sorunları Çalışma Grubu, Arıtma Sistemlerinin Tasarımı III. Atıksu Tanımlama ve Arıtma Kursu, Damlatmalı Filtre Tasarım Esasları, s;57
- [51] **R.G.14.12.2011 Tarih Ve 28142 Sayı** İle Yayınlanan Tekstil Sektöründe Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği Eki(Ek 2)
- [52] **Kitiş Mehmet**, 2009, Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Su ve Atıksu Arıtımında İleri Arıtma Teknolojileri-Arıtılmış Suların Geri Kazanımı Dersi Notları s.6,19, Isparta
- [53] **Filiz Nuran Acar, Malkoç Emine**, 2002, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sıvı Membranların Mekanizması ve Uygulama Alanları, Pamukkale Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi, Sayı:2, s;256, Denizli
- [54] **Mackenzie L. Davis**, 2015, Çeviri Toröz İsmail, Su ve Atıksu Mühendisliği Tasarım Esasları ve Uygulamaları, s;12-2,12,6,26-2,
- [55] **Çakmakçı Mehmet, Özkaya Bestamin, Yetilmezsoy Kaan, Demir Selami**, 2013, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Su Arıtma Tesislerinin Tasarım ve İşletme Esasları, s.315, 317,318, 345, İstanbul
- [56] **www.ultramembrane.com**, 2015, Membran Filtrasyon
- [57] **Kural, E.**, 2000, Tekstil Boyahane Atıksularının Nanofiltrasyon Membranları İle Geri Kazanımı Ve Renk Giderimi., İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- [58] **Koyuncu İ.**, 2001, Nanofiltrasyon Membranları İle Tuz Gideriminde Organik İyon Etkisi., İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s.72, İstanbul

- [59] **Barlas, H.**, 2002, Suların Arıtımında İleri Teknolojiler Ders Notları. İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul
- [60] **Kitiş Mehmet**, Yiğit Nevzat Özgü, 2009, Çevre Ve Orman Bakanlığı Çevre Görevlisi Eğitimi Ders Notları, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği, Isparta
- [61] **Aslan Mustafa**, 2016, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Membran Teknolojileri, TUÇEV, Ankara
- [62] **Loraine, G.A., Glaze, W.H.**, 1992, Destruction of Vapour Phase Halogenated Methanes by Means of Ultraviolet Photolysis. 47th Purdue Industrial Waste Conference Proceedings, Lewis Publishers, Inc.,s.367,376, Michigan,
- [63] **Şengül, F.**, 1991, Endüstriyel Atıksuların Özellikleri ve Arıtılması. D. E. Ü. Müh. Mim. Fak. Basım Ünitesi, s.476, İzmir
- [64] **Kılıç M. Y., Kestioğlu K.**, 2008, Endüstriyel Atıksuların Arıtımında İleri Oksidasyon Prosesleri, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 13, Sayı 1, s;77, Bursa
- [65] **İnan H., Şimşek H., Karpuzcu M., Dimoglo, A.**, 2002, Elektrokimyasal Yöntemler ile Zeytinyağı Endüstrisi Karasuyunun Arıtılabilirliği. 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Çalıştayı, Bildiriler Kitabı, s.97-107
- [66] **İkizoğlu, E., Haskök.**, 2005, Zeytin Karasuyunun Fiziksel, Kimyasal Ve İleri Oksidasyon Yöntemleri İle Arıtımı, Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi Sayı 4, s;36-40
- [67] **İlhan Fatih, Kurt Uğur, Apaydın Ömer, Arslankaya Ertan, Gönüllü Türkay M. Talha**, 2007, AB Sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Müh. Bölümü, Elektrokimyasal Arıtım ve Uygulamaları: Katı Atık Sızıntı Suyu
- [68] **Holt P.K., Barton, G.W., Wark, M., Mitchell, C.A.**, 2002, A Quantitative Comparison Between Chemical Dosing And Electrocoagulation, Colloids Surf, s.211, 233
- [69] **Mollah M.Y.A., Schennach R., Parga J.P., Cocke D.L.**, 2001, Electrocoagulation (EC)-Science and applications, Journal of Hazardous Materials, s.29,41
- [70] **Akarsu Ceyhun**, Mühendislik Fakültesi, Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Akademik Platform
- [71] **Yiğitarıslan Sibel**, Süleyman Demirel Üniversitesi Kimya Mühendisliği Laboratuvarı Çözeltilerde Adsorbsiyon Ders Notları, Isparta
- [72] **Meriç Bütün**, 2006, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2006, Sulardaki Kurşun İyonunun Dolgulu Kolonda Atkestanesi İle Adsorbsiyonu
- [73] **31.12.2004 Tarih ve 25687 Sayılı R.G.Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği(SKKY)**

- [74] **Doküzevlül Üniversitesi** Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Ders Notları
- [75] **Çengel A.Yunus**, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları Ders Kitabı, s.216,239,255,888
- [76] **Çengel A.Yunus**, Isı ve Kütle Transferi, Üçüncü Baskı Ders Kitabı, 2011, s.14,473
- [77] **Pınarbaşı, Ali** Termodinamik(Soğutma Çevrimleri) Ders Notları
- [78] **03.07.2009 Tarih ve 27277 Sayılı R.G**, Sanayi Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
- [79] **Karcioğlu Karakaş Zeynep, Yılmaz Murat Tolga, Yılmaz Alper Erdem**, 2012, Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Dergisi,2(1):15-22, Endüstriyel Atıksulardan Alüminyum Sülfat Koagülantı Kullanılarak Kimyasal Koagülasyon Yöntemi İle Bor Giderimi
- [80] **www.akbelkimya.com.tr**, Sodyum Sülfat
- [81] **www.askimya.com**, Sodyum Sülfat

ÖZGEÇMİŞ

Kemal TÖTÜN

1969 yılında Lüleburgaz-KIRKLARELİ'nde doğdu.Lüleburgaz Endüstri Meslek Lisesi Tesviye Bölümü'nden, MARMARA ÜNİVERSİTESİ Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü'nden, MARMARA ÜNİVERSİTESİ Sosyal Bilimler Enstitüsü Üretim Yönetimi ve Pazrlama Bölümü'nden, TRAKYA ÜNİVERSİTESİ Çorlu Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden, BOZOK ÜNİVERSİTESİ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur.Halen İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans öğrencisidir.

Konveyör imalatı yapan işletmede üretim sorumlusu, asfalt makineleri imalatı yapan fabrikada üretim sorumlusu, otomotiv sektörü yedek parça yapan fabrikada kalite sorumlusu, basınçlı gaz ekipmanları üreten fabrikada kalite müdürü olarak çalışmıştır.Halen çevre danışmanlık mühendislik şirketinde ÇED raporlarının hazırlaması,çevre yönetimi danışmanlık hizmetleri ve arıtma tesislerinin işletilmesi üzerine çalışmaktadır.

