

131331.1

**METAL İŞLEM SANAYİNDE
ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN
MEVCUT PERFORMANSI
VE REHABİLİTASYON PLANLAMASI**

SEMA ÜNAL
Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
ŞUBAT 1998

**METAL İŞLEM SANAYİNDE
ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN
MEVCUT PERFORMANSI
VE REHABİLİTASYON PLANLAMASI**

Sema Ünal /

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Çevre Teknolojileri Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ.
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU

Anadolu Üniversitesi
Merkez Kütüphane

Şubat-1998

Sema Ünal' ın Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığı Metal İşlem Sanayiinde Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Performansı ve Rehabilitasyon Planlaması başlıklı tez 11.3.1998 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Öğretim Yönetmeliği' nin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye (Tez Danışmanı): Y. Doç. Dr. Tuncay DÖĞERÖĞLU

Üye : Prof. Dr. Serap KARA

Üye : Prof. Dr. M. Ercengül Yıldırım

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetmeliği Kurulu'nun
13.3.1998. tarih ve ..5/2.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖNSÖZ

“Metal İşlem Sanayiinde Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Performansı ve Rehabilitasyon Planlaması” başlıklı bu çalışma, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmamın başlangıcından beri, sürekli bilgi, hoşgörü, anlayış ve yardımlarını esirgemeyerek beni her zaman destekleyen, bu çalışmanın oluşmasında çok önemli bir yere sahip olduğuna inandığım, bilimselliğe verdiği önemi ve iş disiplini her zaman kendime örnek olarak alacağım, önerileriyle çalışmamı yönlendiren, danışman hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU’ na,

Böyle bir çalışmanın başlaması için, ilk adımı atarak bizlere yolu açan ve beni yönlendirip bu günlere gelmemi sağlayan, değerli görüş ve önerileri ile çalışmama ışık tutan ve deneyimlerini sürekli bizlerle paylaşan, Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezinin (ANAÇEVREM) her türlü imkanlarından yararlanmamı sağlayan ANAÇEVREM Müdürü hocam Sn. Prof. Dr. Serap KARA’ ya,

Bu tür bir tez çalışmasının oluşması için, Uygulama ve Araştırma Merkezine sundukları proje teklifi ile, bilimselliğe ve Üniversite-Endüstri işbirliğine verdikleri önemi bir kez daha vurgulamış olan, kendimi geliştirmek adına birçok tecrübe kazanmamı sağlayan TEI’ nin kapılarını bana tereddütsüzce açan, çalışmam süresince tesisin bütün olanaklarından yararlanmama imkan veren ve desteklerini esirgemeyen TEI Genel Müdür V. Sn. Tayfun MUTLU ve İnsan Kaynakları ve Tesisler Müdürü Sn. Nazif EFE’ ye,

Tesisi tanımamda ve problemlerin çözümünde yoğun emekleri bulunan, çalışmalarımı yakından takip eden ve sonuna kadar destekleyen, ilgilerini daima hatırlayacağım Tesisler Şefi Sn. Coşkun HAMAT ve Bakım Uzmanı Sn. İdris KOCAER’ e,

TEI’ deki çalışmalarım sırasında, pekçok aşamada hiçbir karşılık beklemeden katkılarda bulunan, özellikle tesis bakım, mekanik ve elektronik bakım, özel prosesler, kimya laboratuvarı, eğitim ve bilgi işlem birimlerinde çalışan arkadaşlara, Üretim Metod Uzmanı Sn. Sacit ODABAŞI’ na ve tez çalışmama katkısı olan tüm TEI personeline,

Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi ve Çevre Mühendisliği Bölüm elemanlarına,

Çalışmalarımın her aşamasında yanımda olan, eşsiz sabır ve ilgisiyle, desteğini her zaman hatırlayacak olduğum Mak. Müh. Sn. Semih PLATİN’ e,

Bugüne değin, tüm yaşantımda maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen, kanımca elde ettiğim başarılardaki en büyük paya sahip, daima yanımda olacaklarına inandığım sevgili aileme

en içten teşekkürlerimi sunarım.

Sema Ünal
Şubat 1998

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

METAL İŞLEM SANAYİNDE ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN MEVCUT PERFORMANSI VE REHABİLİTASYON PLANLAMASI

SEMA ÜNAL

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU
1998, Sayfa 189

Bu çalışmada, metal işlem sanayiinin imalat süreci ve kirletici bileşenleri incelenmiş, atıksu artımı için kullanılan arıtım teknolojilerinin mevcut durumu, alternatif giderme sistemleri, sıvı atıkların geri kazanımı ve atık minimizasyon teknolojileri konularına yer verilmiştir.

Arıtma tesislerinde rehabilitasyon planlamasına yönelik olarak, TEI (Tusaş Motor San. A.Ş.) atıksu arıtma tesislerinin mevcut durumu ele alınmış, tesiste optimum çalışma koşullarını belirleyebilmek üzere 2^3 tam faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. Özellikle nikel içeriği yüksek olan atıksuların arıtıldığı kesikli arıtım biriminde tesis atıksuyundan nikel giderimi için optimum çalışma koşulları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Metal İşlem Sanayii, Atıksu Arıtımı, Geri Kazanım, Atık Minimizasyonu, Deney Tasarımı, Nikel Giderimi

ABSTRACT

Master of Science Thesis

EXISTING PERFORMANCE OF METAL FINISHING INDUSTRIES' WASTEWATER TREATMENT PLANTS AND THEIR REHABILITATION PLANNING

SEMA ÜNAL

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Environmental Engineering Program**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU
1998, Page 189**

In this study, manufacturing processes of metal finishing industries and the relevant pollutants, along with the existing situation of the wastewater treatment technologies, alternative treatment procedures, recovery of liquid wastes and waste minimization technologies have all been investigated.

Towards the rehabilitation planning for the wastewater treatment plant, existing situation of the treatment facility of TEI (Tusaş Engine Ind. Inc.) has been dealt with. Additionally, 2³ full factorial experimental design has been used for identification of the optimal process conditions for the plant. These optimal conditions have particularly, been identified for the batch treatment plant where high levels of nickel contents were treated.

Keywords: Metal Finishing Industry, Wastewater Treatment, Metal Recovery, Waste Minimization, Experimental Design, Nickel Removal.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
2. METAL İŞLEM SANAYİİ HAKKINDA GENEL BİLGİ.....	2
2.1. Cevher İşleme ve Metal Üretimi	2
2.2. Metal İşlem Sanayii.....	2
2.2.1. Kullanılan hammaddeler, yardımcı maddeler ve ürünler.....	2
2.2.2. Kullanılan prosesler.....	3
2.3. Metal İşlem Sanayiinde Su Kullanımı.....	3
2.4. Metal İşlem Sanayii Kirletici Bileşenleri.....	4
2.4.1. Metal işlem sanayiinde atıksu kaynakları ve atıksu karakterizasyonu..	8
2.4.1.1. Kaplama atıksularının özellikleri.....	8
2.4.1.2. Kimyasal proses atıksularının özellikleri.....	10
2.4.1.3. Yağlı atıksuların özellikleri.....	11
3. ATIKSU ARITIMI VE ARITIM TEKNOLOJİLERİ	13
3.1. Kesikli Arıtım Sistemleri	13
3.2. Sürekli Arıtım Sistemleri	14
3.3. Nötralizasyon	15
3.4. Kimyasal Oksidasyon ve Redüksiyon	16
3.4.1. Oksidasyon- Redüksiyon prosesleri	17
3.4.2. Oksidasyon için kullanılan kimyasallar.....	17
3.4.3. Redüksiyon için kullanılan kimyasallar.....	20
3.4.4. Siyanürün kimyasal oksidasyonu.....	21
3.4.5. Kimyasal redüksiyon ile krom indirgemesi.....	24
3.5. Kimyasal Çöktürme	28
3.5.1. Kimyasal çöktürme prosesleri	28
3.5.2. Çöktürme için kullanılan kimyasallar.....	30
3.5.3. Jar testi	33
3.5.4. Kimyasal çöktürme ile nikel giderimi	34
3.5.5. Kimyasal çöktürme ile krom giderim	38
3.6. Kimyasal Pıhtılaştırma Yumaklaştırma	41
3.6.1. Kimyasal pıhtılaştırma ve yumaklaştırma prosesleri	41
3.6.2. Pıhtılaştırma yumaklaştırma teorisi	42

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

3.6.3. Proseste kullanılan pıhtılaştırıcı (koagülant) ve yumaklaştırıcı (flokulant) türleri	43
3.7. Yağ İçerikli Atıksuların Arıtımı	45
3.7.1. Tesis içi azaltım ve yağın yeniden kullanılması (Oil recovery)	46
3.7.2. Yağlı atıksuların ön arıtımı	47
3.7.3. Fiziksel ve kimyasal yöntemlerle emülsiyon kırma	50
3.7.4. Biyolojik yöntemlerle yağlı bileşiklerin parçalanması	54
3.7.5. İleri arıtım yöntemleriyle yağ ve gres giderimi	56
3.7.6. Atık yağın depolanması, taşınması ve nihai bertarafı	58
3.8. Arıtma tesisi çamurları	60
3.8.1. Atık çamurun özellikleri	61
3.8.2. Atık çamuru susuzlaştırma ve bertaraf etme yöntemleri	62
4. METAL İŞLEM SANAYİNDE ATIK MİNİMİZASYONU	68
4.1. Atık Minimizasyonu Prosedürü	68
4.2. Metal İşlem Sanayinde Atık Minimizasyonu Opsiyonları	70
4.2.1. Hammadde hazırlanması ve depolanması	70
4.2.2. İmalat atıkları	70
4.2.3. Parça temizleme atıkları	71
4.2.4. Yüzey işlemleri ve kaplama atıkları	73
4.2.5. Boya atıkları	75
5. METAL İŞLEM SANAYİİ SIVI ATIKLARININ İLERİ ARITIM YÖNTEMLERİYLE GERİ KAZANIMI	76
5.1. Ters Osmoz Prosesi	76
5.2. Elektrolitik Geri Kazanım Üniteleri	80
5.3. Karbon Adsorpsiyonu Prosesi	82
5.4. Buharlaştırma (Evaporasyon) Prosesi	83
5.5. İyon Değişirme Prosesi	86
5.6. Kristalizasyon Prosesi	89
5.7. Elektrodializ Prosesi	90
6. ATIKSU YÖNETİMİ VE METAL İŞLEM SANAYİİ İLE İLGİLİ YASAL MEVZUAT	92
6.1. Türkiye' deki Durum	92
6.1.1. Kanalizasyon sistemlerine boşaltım esasları	92
6.1.2. Alıcı su ortamına doğrudan boşaltım esasları	92
6.1.3. Endüstriyel atıksu deşarj standartları	93
6.1.4. Boşaltım izni esasları	94
6.1.5. Deşarj izninin verilmesine ilişkin esaslar	94
6.1.6. Atık çamurların bertarafı konusunda yasal mevzuat	96
6.2. ABD' deki Durum	97

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

7. TEI-TUSAŞ MOTOR SANAYİ A.Ş.' DE SU KULLANIMI VE ATIKSU YÖNETİMİ	98
7.1. Tesisin Tanıtımı	98
7.2. Tesiste Su Tüketimi.....	99
7.3. Tesiste Atıksu Kaynakları ve Atıksu Karakterizasyonu.....	105
7.3.1. Atıksu kaynakları	105
7.3.2. Atıksu karakterizasyonu.....	109
7.4. Atıksu Arıtma Tesisi	113
7.4.1. Krom redüksiyon sürekli arıtma tesisi	115
7.4.2. Kesikli arıtma sistemi	116
7.4.3. Arıtma tesisinde kullanılan kimyasal maddeler.....	119
7.4.4. Arıtma tesisi çamurları	120
7.5. TEI' de Atıksu Yönetiminin Yasal Açından Değerlendirilmesi	123
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	126
8.1. Materyal ve Metod.....	126
8.1.1. Kullanılan alet/cihaz, ekipmanlar ve laboratuvar malzemeleri	129
8.1.2. Deneysel analiz metodları	130
8.1.3. Deney tasarımı prensipleri	131
8.2. Mevcut Sistem İçin Yapılan Deney Tasarımı Çalışması	135
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	150
10. KAYNAKLAR.....	154
EKLER	
EK 1. METAL İŞLEM SANAYİİNDE İMALATTA KULLANILAN İŞLEM ÇEŞİTLERİ	158
EK 2. TEI' DE ATIK YÖNETİMİ.....	165
EK 3. TEI' DE SU TÜKETİMİ BELİRLEME ÇALIŞMASI.....	170
EK 4. TEI ATIKSU ARITMA TESİSİNDE İŞLETME PRENSİPLERİ VE SÜREKLİ KONTROL İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	174
EK 5. DENEY TASARIMI VARYANS ANALİZİ VE F DAĞILIM TABLOSU	186

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Metal sanayiinin genel gruplandırılması ve temel işlemleri	2
Şekil 2.2. Metal işlem sanayiinde kullanılan prosesler	6
Şekil 2.3. Metal işlem sanayiinden kaynaklanan atıklar	7
Şekil 3.1. Kesikli reaktörün şematik gösterimi	13
Şekil 3.2. Sürekli reaktörün şematik gösterimi	15
Şekil 3.3. Atık asit ve kostiklerin birarada nötralizasyonu	16
Şekil 3.4. Siyanürün klorlama yoluyla oksidasyonu	22
Şekil 3.5. Sürekli artımla siyanür oksidasyonu	23
Şekil 3.6. Kesikli artımla siyanür oksidasyonu	23
Şekil 3.7. Kromun redüksiyonuna pH ve reaksiyon süresinin etkisi	25
Şekil 3.8. Kükürt dioksit ile krom redüksiyonu	26
Şekil 3.9. Kimyasal çöktürme prosesinin akış diyagramı	29
Şekil 3.10. Metal hidroksit ve sülfürlerin çözünürlük pH' ları	29
Şekil 3.11. Nikelin kimyasal yolla çöktürülme etkinliğinin kireç dozajına bağlı değişimi	36
Şekil 3.12. Metal kaplama atıksularında krom artımı yapan bir tesisin akım şeması	38
Şekil 3.13. Krom +3' ün çözünürlüğüne pH' ın etkisi	39
Şekil 3.14. Kromat indirgeme ve çöktürme tesisi akım şeması	40
Şekil 3.15. Elektrokaplama endüstrisi konvensiyonel atıksu arıtma tesisi	41
Şekil 3.16. Gravite ayırıcılarda bekleme süresinin yağ ayırma verimine etkisi	48
Şekil 3.17. API seperatör	48
Şekil 3.18. PPI seperatör	49
Şekil 3.19. Hava flotasyon sisteminin basitleştirilmiş şeması	50
Şekil 3.20. Atık yağ yönetim sistemi	57
Şekil 3.21. Atık yağ tehlike işaret etiketi örneği	58
Şekil 3.22. Tehlike işaret etiketlerine bazı örnekler	58
Şekil 3.23. Atık yağın transferi için taşıyıcı araçlara uygun yerleşimi	60
Şekil 3.24. Çamurdaki katı madde konsantrasyonu ve çamur hacmi arasındaki ilişki	63
Şekil 3.25. Düşük basınçta çalıştırılan plakalı filtre pres	64
Şekil 4.1. Atık minimizasyon değerlendirme prosedürü	69
Şekil 5.1. Ters osmoz prosesinin şematik gösterimi	76
Şekil 5.2. Ters osmoz sisteminin şematik gösterimi	77
Şekil 5.3. Ters osmoz prosesinde kullanılan membran türleri	78
Şekil 5.4. Ters osmozla geri kazanım prosesinin şematik gösterimi	79
Şekil 5.5. Elektrolitik geri kazanım prosesi	80
Şekil 5.6. Genel amaçlı ekstraktif hücre ile elektrolitik metal geri kazanımı	81
Şekil 5.7. Geniş yüzey alanlı hücre ile elektrolitik metal geri kazanımı	81
Şekil 5.8. Küçük yüzey alanlı hücre ile elektrolitik metal geri kazanımı	82
Şekil 5.9. Aktif karbon adsorbsiyon sistemi	83
Şekil 5.10. Tek etkili buharlaştırma sistemi	84

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

Şekil 5.11.	Üç etkili bir buharlaştırma sistemi	85
Şekil 5.12.	Buhar sıkıştırma uygulamalı buharlaştırıcı	85
Şekil 5.13.	Buharlaştırma yöntemiyle geri kazanım sistemi	86
Şekil 5.14.	İyon değiştirme sistemi	87
Şekil 5.15.	Metal geri dönüşümlü iyon değiştirme sistemi	87
Şekil 5.16.	Metal geri dönüşümsüz iyon değiştirme sistemi	88
Şekil 5.17.	Kostik sodanın kristalizasyon yöntemi ile geri kazanımı prosesi	90
Şekil 5.18.	Elektrodiyaliz sistemi	91
Şekil 7.1.	TEI' deki kullanma suyu hatları akım şeması	101
Şekil 7.2.	TEI' de özel proseslerdeki su tüketiminin aylar bazında dağılımı	102
Şekil 7.3.	TEI' de özel proseslerdeki yıllık su tüketim miktarları	103
Şekil 7.4.	TEI' de özel proseslerdeki su tüketiminin dağılımı	104
Şekil 7.5.	Kimyasal aşındırma prosesinin şematik gösterimi	105
Şekil 7.6.	Alkali temizleme prosesinin şematik gösterimi	106
Şekil 7.7.	Krom kaplama prosesinin şematik gösterimi	107
Şekil 7.8.	Nikel kaplama prosesinin şematik gösterimi	108
Şekil 7.9.	Makro aşındırma prosesinin şematik gösterimi	109
Şekil 7.10.	TEI atıksu arıtma tesisine gelen su hatlarının şematik gösterimi	114
Şekil 7.11.	TEI atıksu arıtma tesisi kesikli ve sürekli arıtım hatlarının genel görünümü	113
Şekil 7.12.	TEI atıksu arıtma tesisine ait krom redüksiyon sürekli arıtma sistemi	115
Şekil 7.13.	TEI atıksu arıtma tesisi otomatik kontrol ünitesi	116
Şekil 7.14.	TEI atıksu arıtma tesisine ait bor yağı emülsiyonları yağ/su fazı ayırma sistemi	117
Şekil 7.15.	TEI atıksu arıtma tesisi nötralizasyon ünitesi	118
Şekil 7.16.	TEI atıksu arıtma tesisi kimyasal depolama tanklarının görünümü	119
Şekil 7.17.	TEI' deki arıtma çamuru depolama alanının görüntüsü	120
Şekil 7.18.	TEI' de arıtma çamurunun suyunu almak üzere kullanılan filtrepress	121
Şekil 8.1.	Demir 3 klorür ile yapılan çöktürme: Yavaş karıştırma anında görüntü	127
Şekil 8.2.	Alüminyum sülfat ile yapılan çöktürme: Yavaş karıştırma anında görüntü	127
Şekil 8.3.	Demir 3 klorür ile yapılan çöktürme: Çöktürme sonrasındaki görüntü	128
Şekil 8.4.	Alüminyum sülfat ile yapılan çöktürme: Çöktürme sonrasındaki görüntü	128
Şekil 8.5.	Kesikli arıtım ünitesinde arıtma performansına etki eden parametrelerin gösterildiği balık kılçığı diyagramı	137
Şekil 8.6.	Bulanıklık parametresi için faktörlerin etki ve etkileşim grafikleri	145
Şekil 8.7.	AKM parametresi için faktörlerin etki ve etkileşim grafikleri	146
Şekil 8.8.	KOI parametresi için faktörlerin etki ve etkileşim grafikleri	147
Şekil 8.9.	Krom parametresi için faktörlerin etki ve etkileşim grafikleri	148
Şekil 8.10.	Nikel parametresi için faktörlerin etki ve etkileşim grafikleri	149

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Metal işlem sanayiinden kaynaklanan kirletici bileşenler ve olumsuz etkileri	5
Çizelge 2.2. Yaygın olarak kullanılan kaplama banyolarına ait özellikler	9
Çizelge 2.3. Metal kaplama işlemlerinden kaynaklanan atıksuların konsantrasyon düzeyleri	10
Çizelge 2.4. Kimyasal proseslerden kaynaklanan sıvı atıklar ve bileşimleri	11
Çizelge 3.1. İndirgen maddelerin kromlu atıksular için kullanılan miktarları	20
Çizelge 3.2. Sodyum borohidrit tarafından indirgenebilen metaller ve ağırlık oranları	21
Çizelge 3.3. 45.4 kg (100 lb) kromik asitin indirgenmesi için kullanılacak kimyasal madde miktarları ile arıtım sonrası oluşacak çamur miktarları	25
Çizelge 3.4. Kimyasal çöktürmede kullanılan çöktürücüler ve arıtım sonrası sudaki metal konsantrasyonları	30
Çizelge 3.5. Kireç ve kostik çöktürmesinin avantajları ve dezavantajları	31
Çizelge 3.6. Metallerin hidroksit ve sülfürlerinin pH 8.0' de çözünürlüklerinin karşılaştırılması	32
Çizelge 3.7. pH' in nikel arıtılabilirliğine etkisi	35
Çizelge 3.8. Farklı tür endüstriyel atıksularda nikel arıtılabilirlik çalışmalarının sonuçları	36
Çizelge 3.9. Bakır ve nikel sülfat atıksuyunda kireç ve kostikle arıtılabilirlik çalışmaları ile ilgili veriler	37
Çizelge 3.10. Elektrokaplama atıksularında kireç ve sülfürle yapılan arıtımın karşılaştırılması	37
Çizelge 3.11. Arıtılmış sudaki nikel konsantrasyonunu 0.5mg /L' nin altına indirebilmek üzere kullanılan karbonat ve sülfür çöktürmesinin maliyet açısından kıyaslanması	37
Çizelge 3.12. Bazı endüstriyel atıksuların krom (+3) ve toplam krom derişim seviyeleri	38
Çizelge 3.13. Yağlı atıksuların endüstriyel kaynakları	46
Çizelge 3.14. Yağ ve gres gideriminde filtrasyon prosesinin performansı	51
Çizelge 3.15. Kimyasal koagülasyon ve gravite ayırma ile yağ giderim çalışmalarına ait sonuçlar	53
Çizelge 3.16. Koagülant ilavesinin emülsifiye yağ giderimindeki etkinliği	53
Çizelge 3.17. Hava flotasyonu ile koagülasyonun birarada kullanıldığı endüstrilerdeki yağ giderme verimlilikleri	54
Çizelge 3.18. Yağ ve gres gideriminde biyolojik sistemlerin performansı	55
Çizelge 3.19. Evsel/Endüstriyel atıksuların birlikte arıtıldığı kombine sistemlerin yağ/gres giderim performansı	55

ÇİZELGELER DİZİNİ (DEVAM)

Çizelge 3.20.	Elektrokoagülasyon ve diğer yağ giderim proseslerinin maliyet kıyaslaması	56
Çizelge 3.21.	Metal işlem sanayii arıtma çamurlarında bulunan tipik ağır metaller ve konsantrasyonları	62
Çizelge 5.1.	Ters osmoz prosesinin ağır metallerin giderimi için laboratuvar ölçekli uygulama sonuçları	79
Çizelge 5.2.	Metal işlem sanayii atıksularından iyon değiştirme yoluyla metalleri geri kazanım sistem performansını gösteren veriler	89
Çizelge 6.1.	Genelde metal hazırlama ve işleme tesisleri için alıcı ortama deşarj standartları	94
Çizelge 6.2.	Atıksuların altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartları	95
Çizelge 6.3.	ABD' de uygulanan alıcı ortama deşarj limitleri	97
Çizelge 7.1.	TEI' de imal edilen parçalardan bazı örnekler	98
Çizelge 7.2.	Motor tipleri ve kullanım yerleri	98
Çizelge 7.3.	TEI' de kullanılan özel prosesler ve muayene teknikleri	99
Çizelge 7.4.	Kimyasal aşındırma prosesi tank içerikleri	105
Çizelge 7.5.	Krom kaplama prosesi tank içerikleri	107
Çizelge 7.6.	Nikel kaplama prosesi tank içerikleri	108
Çizelge 7.7.	Makro aşındırma prosesi tank içerikleri	109
Çizelge 7.8.	TEI' deki parça yıkama tanklarının atıksu karakteristikleri	110
Çizelge 7.9.	TEI' de atıksu arıtma tesisine gelen ham ve arıtılmış atıksu analiz sonuçları	111
Çizelge 7.10.	TEI atıksu arıtma tesisinde kullanılan kimyasallar ve yıllık tüketim miktarları	119
Çizelge 7.11.	TEI atıksu arıtma tesisi atık çamurunun kimyasal analiz sonuçları	123
Çizelge 7.12.	ANAÇEVREM tarafından Haziran-Aralık 1996 döneminde yapılan TEI' nin kanalizasyona deşarj suyu analiz sonuçları	124
Çizelge 7.13.	Farklı kuruluşlarca değişik dönemlerde gerçekleştirilen TEI' nin kanalizasyona deşarj suyu analiz sonuçları	125
Çizelge 8.1.	Deney tasarımında seçilen faktörlerin düzeyleri	137
Çizelge 8.2.	Uygulanan deney tasarımı matrisi	138
Çizelge 8.3.	Ham atıksuyun karakteristik özellikleri	138
Çizelge 8.4.	Deneysel analiz sonuçları	138
Çizelge 8.5.	TEI atıksu arıtma tesisi kesikli arıtma biriminde kirletici bileşenler için deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen giderme verimleri	141
Çizelge 8.6.	Doğrulama deneyleri sonuçları ve hesaplanan giderme verimleri	144

KISALTMALAR DİZİNİ

- AKM** : Askıda Katı Madde
AL : Aerated Lagoon (Havalandırılmalı Lagün)
ANAÇEVREM : Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi
API : American Petroleum Institute
AS : Activated Sludge (Aktif Çamur)
BOI : Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol)
CPI : Corrugated Plate Interceptor (Oluklu Plaka Kesicisi)
CVD : Chemical Vapour Deposition
ÇKM : Çökebilir Katı Madde
DAF : Dissolved Air Flotation (Çözünmüş Hava Flotasyonu)
DIN : Deutsche Industrie Normen
DT : Destructive Testing (Tahribatlı Muayene Teknikleri)
EMR : Electrolytic Metal Recovery (Elektrolitik Metal Geri Kazanımı)
EPA : Environmental Protection Agency
ESKİ : Eskişehir Su ve Kanalizasyon İdaresi
FOG : Fats, oil and grease
FPI : Florescent Penetrant Inspection (Floresan Penetran Kontrol)
GAC : Granule Active Carbon (Granül Aktif Karbon)
GE : General Electric
HAS : High Surface Area
IAF : Induced Air Flotation (Hızlandırılmış Hava Flotasyonu)
ISO : International Standart Organization
İZAYDAŞ : İzmit Atık ve Artıkları Yakma ve Değerlendirme A.Ş.
KOI : Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LAB : Lineer Alkali Sülfanik Asit
LSA : Low Surface Area
NDT : Non-Destructive Testing (Tahribatsız Muayene Teknikleri)
NTM : Non Traditional Methods (Geleneksel Olmayan İmalat Yöntemleri)
NTU : Nephelometric Turbidity Units
O&G : Oil and Grease
ORP : Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli
PCE : Perkloretilen
PPI : Parallel Plate Interceptor (Paralel Plaka Kesicisi)
RO : Reverse Osmosis (Ters Osmoz)
RPM : Revolution Per Minute
S.K.K.Y. : Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği
SM : Standart Methods
T.A.K.Y. : Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
TCE : Triklöretilen

KISALTMALAR DİZİNİ (DEVAM)

TEI : Tusaş Engine Industry (Tusaş Motor Sanayi)

TSE : Türk Standartları Enstitüsü

WMOA: Waste Minimization Opportunity Assessment

V₁ : Serbestlik derecesi

V₂ : Toplam serbestlik derecesi

Q : Debi

Q₀ : Giriş debisi

C : Konsantrasyon

psi : Lbf/inch²

α : Güven aralığı

Not: Bu tez çalışmasında, ondalık sayıların yazılımlında nokta kullanılmıştır.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu, ilk çağlardan bu yana, yerleşim ve endüstri alanlarını su kaynakları etrafında kurmuştur. Ancak, hızlı nüfus artışı, düzensiz kentleşme, endüstriyel faaliyetler, tüketim faaliyetleri, kimyasal gübre ve zirai mücadele ilaçlarının kullanılmasının bir sonucu olarak meydana gelen çeşitli atıklarla su kaynakları kirletilmiş ve alıcı su ortamlarının kalitesi gün geçtikçe azalarak, bir süre sonra kendi kendisini temizleme kabiliyetini tamamen kaybetmeye başlamıştır. Sularımız artık, hayat kaynağı olmaktan çıkarak, giderek büyüyen birer toksisite kaynağı haline gelme aşamasındadır.

Alıcı su ortamlarının kalitesinin bozulmasındaki en büyük etkenlerden birisi, evsel ve endüstriyel kaynaklı atıksuların arıtılmadan ya da yeterli bir arıtım sağlanmadan alıcı ortamlara deşarj edilmesidir. Özellikle endüstrilerden kaynaklanan atıksuların miktar ve çeşitliliğindeki artış, alıcı su ortamlarında aşırı bir azot, fosfor, KOI, BOI, ağır metal, anyon, kation ve yüzey aktif madde yükünü de beraberinde getirmiştir.

Bu aşamada, endüstrilerin çevre ile uyumlu bir işletme anlayışına sahip olması, atıksu arıtım tesislerinin kurulması ve bu tesislerin en etkin performansda işletilmesi, kirliliğın, kayıp ve kaçakların kaynağında önlenmesi için atık minimizasyonu yöntemlerinin uygulanması ve atıksuların evrensel, ulusal ve/veya yöresel yasal kısıtlamalar sağlandıktan sonra alıcı ortamlara deşarj edilmesi zorunludur.

Metal işlem sanayii, imalat proseslerinden kaynaklanan katı, sıvı, gaz şeklindeki tehlikeli toksik atıkları ile çevreyi kirletme potansiyeli yüksek olan bir endüstri koludur. Özellikle proseslerden kaynaklanan ağır metal içeriğı yüksek atıksular, alıcı ortamlarda toksik özellikler yaratan ve canlı yaşamını tehdit eden önemli kirleticilerdir.

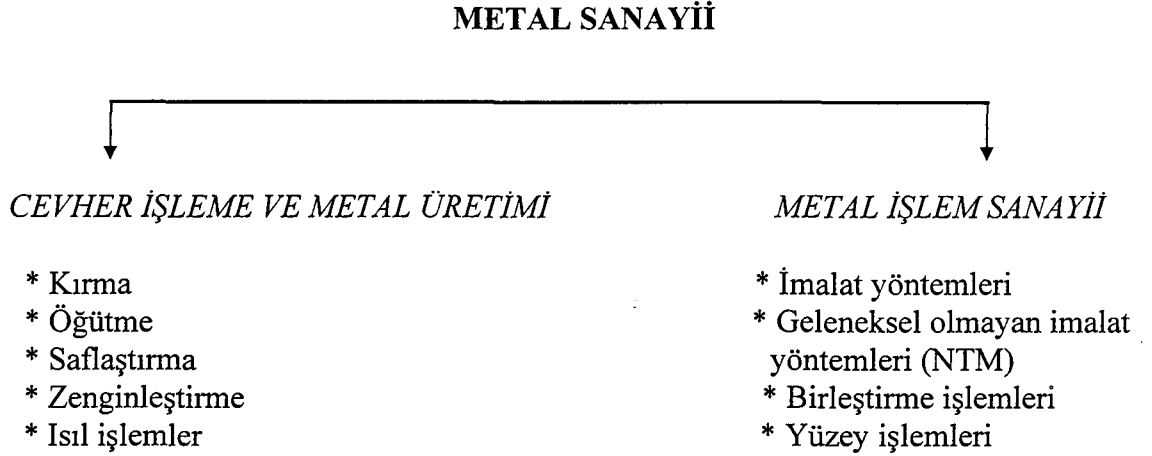
Bu tez çalışmasında, alıcı su ortamları için potansiyel tehlike riski büyük olan metal işlem sanayiinin imalat süreci ve kirletici bileşenleri incelenmiş, atıksu arıtımı için kullanılan arıtım teknolojilerinin mevcut durumu ve alternatif giderme sistemlerine yer verilmiştir. Bunun yanı sıra, sıvı atıkların geri kazanımı ve atık minimizasyon teknolojileri de, üzerinde önemle durulması gereken bir konu olarak, çalışmada yer almıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, uçak motor sanayi alanında metal işleme faaliyetlerini sürdüren TEI' deki (Tusaş Motor San.A.Ş.) atıksu arıtma tesislerinin mevcut durumu ve bu tesiste imalat programı ile entegre olacak şekilde optimum performansı sağlayacak arıtma ve işletme koşullarının sağlanmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Arıtım performansının iyileştirilmesi ve atıksuların Su Kirliliğının Kontrolü Yönetmeliğı standartlarına uygun bir şekilde deşarj edilmesine imkan vermek üzere deney tasarımı çalışmalarının önemi vurgulanmış ve örnek bir deney tasarımı uygulaması ile tesisin farklı nitelikteki atıksularının arıtıldığı kesikli arıtım biriminde optimum koşulların belirlenmesi çalışması da yapılmıştır.

Çalışmanın TEI (Tusaş Motor San. A.Ş.) başta olmak üzere, tüm metal işlem sanayilerine, atıksu arıtımında çevre dostu teknolojilerin seçilmesi ve optimum şekilde işletilmesi konularında fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

2. METAL İŞLEM SANAYİİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

Metal endüstrileri demir, çelik, alüminyum, bakır gibi metallerin doğadan çıkartılıp hammadde haline dönüştürüldüğü ve değişik imalat ve yüzey işlemleri ile, son ürün haline getirildiği, birçok sektöre hizmet veren tesislerden oluşur. Metal sanayiini genel olarak “Cevher İşleme ve Metal Üretimi” ve “Metal İşlem Sanayii” şeklinde iki ana gruba ayırmak mümkündür (Bkz. Şekil 2.1)



Şekil 2.1. Metal sanayiinin genel gruplandırılması ve temel işlemleri [1]

2.1. Cevher İşleme ve Metal Üretimi

Cevher işleme ve metal üretimi, birincil üretim şeklinde olup, bu yolla metal işleme tesislerine hammadde hazırlanmaktadır. Hammadde olarak demir, bakır, nikel, kalay, krom, kurşun, alüminyum, çinko, platin, titanyum gibi metal cevherleri ve minerallerinin kullanıldığı bu endüstrilerde doğadan maden cevheri şeklinde alınan metaller, kırma, öğütme, zenginleştirme ve ısıl işlemlerden geçirilerek son ürün haline getirilir.

2.2. Metal İşlem Sanayii

Metal İşlem Sanayii, cevher hazırlama tesislerinde hammadde haline getirilen metallerin, çeşitli mekanik imalat yöntemleri, birleştirme işlemleri, geleneksel olmayan işleme yöntemleri ve yüzey işlemleri yardımıyla son ürüne dönüştürüldüğü tesisleri kapsar. Söz konusu metal işlemlerinin otomotiv, elektronik, savunma, havacılık, ev eşyaları imalatı gibi farklı sektörlerde kullanıldığı bilinmektedir [2].

2.2.1. Kullanılan hammaddeler, yardımcı maddeler ve ürünler

Metal işlem sanayinde demir, çelik gibi demir alaşımları ve bakır, alüminyum, magnezyum, çinko, titanyum, nikel, kurşun, kalay, platin ve krom gibi demir dışı metallerin alaşımları ana hammadde olarak kullanılır [3].

Demir veya çeliğe göre daha yüksek maliyete sahip demir dışı metaller ve alaşımlar özellikle, modern teknoloji uygulamaları olan elektrik elektronik, otomotiv parçaları, havacılık sektöründe kullanılan parçalar, makine ve makine parçaları,

soğutucular, iletişim araçları, metal eşya ve aksesuar imalatında hammadde olarak kullanılır. Bu tür metallerin demir alaşımlarına kıyasla korozyona ve yüksek ısıya dayanıklılık, fabrikasyon kolaylığı, elektriksel ve ısıl iletkenlik, hafiflik ve renk seçeneği gibi üstünlükleri vardır [3].

Değişik metal alaşımlarının baz alınarak yapıldığı, farklı elementel kompozizyonlara sahip süper alaşımlar (süper alloylar) ise jet motorları, gaz türbinleri, roket imalatı ve nükleer uygulamalar gibi yüksek teknoloji araçlarının imalatında kullanılır. Bu hammaddeler, hafif fakat dayanıklılığı yüksek, oksidasyon, korozyon, yüksek sıcaklık ve metal yoğunluklarına dayanıklı alaşımlardır. Bu alaşımlara nikel bazlı hastelloy, inconel, rene, udimet, waspaloy, demir-nikel bazlı illium, incoloy ve kobalt bazlı haynes 150, MAR-M22 alaşımları örnek olarak verilebilir [3].

Metal işlem sanayiinde çoğunlukla döküm, dövme, haddelenmiş çubuk, tüp, levha, tel formunda imalata giren metal alaşımları fabrikasyon ve makine tezgahlarında işlenerek ve farklı kimyasal/elektrokimyasal yüzey işlemlerinden geçerek son ürün halini alır [4].

Metal işlem sanayiinde metalik hammaddelerin yanı sıra, değişik amaçlara yönelik olarak plastik, tahta, sentetik kauçuk, cam, seramik gibi yardımcı maddeler de kullanılmaktadır [3].

Mekanik işlemlerde kullanılan kesme ve soğutma sıvıları, hidrolik yağlar, kesici uçları, yüzey işlemleri ve kalite kontrol işlemlerinde kullanılan temizleme sıvıları, asitler, bazlar, aşındırıcılar, yüzey kaplama sıvıları, plastik kaplama malzemeleri, boyalar, çözücüler ve amaca yönelik olarak kullanılan organik ve inorganik kimyasallar geniş kullanım alanına sahip yardımcı maddeler olarak sayılabilir.

Ayrıca, somun, civata, elektrot, çivi, şerit, yay, vida vb. metal formları da yarı işlenmiş halde olup, metalik ürünlerin imalatı ve montajında değişik amaçlara yönelik olarak kullanılan maddelerdir [4].

2.2.2. Kullanılan prosesler

Metal işlem sanayiinde kullanılan prosesler; metal ham malzemeden parça imalatını amaçlayan talaşlı ve talaşsız imalat yöntemleri, birleştirme işlemleri, metalin işlenmesini amaçlayan geleneksel olmayan imalat yöntemleri ve metal yüzeyinin işlenip son ürüne dönüştürülmesini hedefleyen yüzey işlemleri olarak ayrılır (Bkz. Şekil 2.2). Bu proses ve yöntemlerle ilgili olarak detaylı bilgiler Ek 1' de verilmiştir.

2.3. Metal İşlem Sanayiinde Su Kullanımı

Metal işleme tesislerinde, su tüketimi, diğer bazı endüstrilere (tekstil, yiyecek, kağıt vb.) kıyasla düşük miktarlardadır. İmalata yönelik olarak metal işlem sanayiinde, en fazla su tüketilen prosesler aşağıda sıralanmıştır:

- Mekanik işlemler sırasında kullanılan, kesme ve soğutma yağlarının belli oranlarda su ile karıştırılarak yağ / su emülsiyonları oluşturulması
- Kaplama, aşındırma, kimyasal temizleme banyolarının hazırlanması
- Metal parçaların yıkama banyolarının hazırlanması
- Parçaların, yüzey işlemlerin öncesinde ve sonrasında basınçlı su ile yıkanması
- Kalite kontrol işlemleri ve laboratuvar faaliyetleri

İmalat faaliyetleri dışında, enerji ve ısı elde etme amaçlı kazanlarda, soğutma kulelerinde ve yangın hatlarında su tüketimi gerçekleşir. Ayrıca, bazı tesislerde bulunan hava ve su kirliliğini önleme amacına yönelik olarak işletilen atıksu arıtma sistemleri ve hava kalitesi kontrol üniteleri de su tüketimine katkıda bulunan kaynaklar arasındadır.

2.4. Metal İşlem Sanayii Kirletici Bileşenleri

Metal işlem sanayiinde; mekanik, kimyasal ve elektrokimyasal imalat ve yüzey işleme faaliyetleri sonucunda katı, sıvı ve gaz şeklinde (kompozisyonları işlemin özelliğine ve işlemde kullanılan kimyasallara göre değişen) çeşitli atıklar oluşur (Bkz.Şekil 2.3).

Mekanik işlemlerden kaynaklanan atıklar, kimyasal ve elektrokimyasal işlemler sonucunda oluşan atıklara kıyasla miktar ve toksisite özellikleri açısından çok daha azdır [5]. Bu işlemlerde oluşan en önemli atık kaynağı, tezgahlarda kesme ve soğutma amacıyla kullanılan; bazı durumlarda klor, sülfür, fosfor bileşikleri, fenol, aerosol ve alkaliler gibi kimyasallar eklenmiş yağ / su emülsiyonları ve tezgah yağlama amacıyla kullanılan hidrolik yağlardır. Tezgahlarda metal parçaların işlenmesi suretiyle meydana gelen metal talaşları, katı atık kategorisine ayrılabilir. Ancak, metal talaşları üzerine yağlı bileşikler bulaşmışsa bu atıklar, tehlikeli atık olarak nitelendirilir. Yine, birçok endüstride oluşan kullanılmış kesici uçları ve hatalı metal parçalar da diğer bir atık kaynağıdır. Tezgahlardan kaynaklanan hava kirleticiler ise parçanın işlenmesi sırasında açığa çıkan metal buharları, yağ buharları ve kaynak gazlarıdır (NO_x , O_3 , CO, florürler) [2].

Metal işlem sanayiinin tehlikeli ve toksik atık olarak nitelendirilen temel atık kaynağı, kimyasal ve elektrokimyasal işlemler sonucunda oluşan atıklardır. Bu atıkların büyük bir kısmı sıvı atık niteliğindedir. Temel kirleticiler; ağır metal içeren kullanılmış çözeltiler ve diğer toksik/ zararlı kimyasallardır [5].

Parça temizleme işlemleri sonucunda oluşan kirlenmiş çözücüler, aşındırıcılar, asitler, alkaliler ve yıkama suları, çevreye zararlı bileşenler içeren sıvı atıklardır. Diğer bir sıvı atık kaynağı da, kullanılmış yüzey kaplama banyoları ve kaplama/yıkama sularıdır [2].

Kimyasal/elektrokimyasal işlemler sonucunda oluşan asidik ve bazik metal buharları ve çözücü buharları, hava kirletici bileşenler olarak sayılabilir.

Kirlenmiş boş boya kapları, asit, baz, çözücü ve yağ bulaşmış variller, üstübüler, eldivenler ve kaplama, aşındırma işlemleri sırasında kullanılıp daha sonra parça yüzeyinden sıyrılan plastik bazlı maskeler, metal işlem sanayiinde oluşan katı atıklardır.

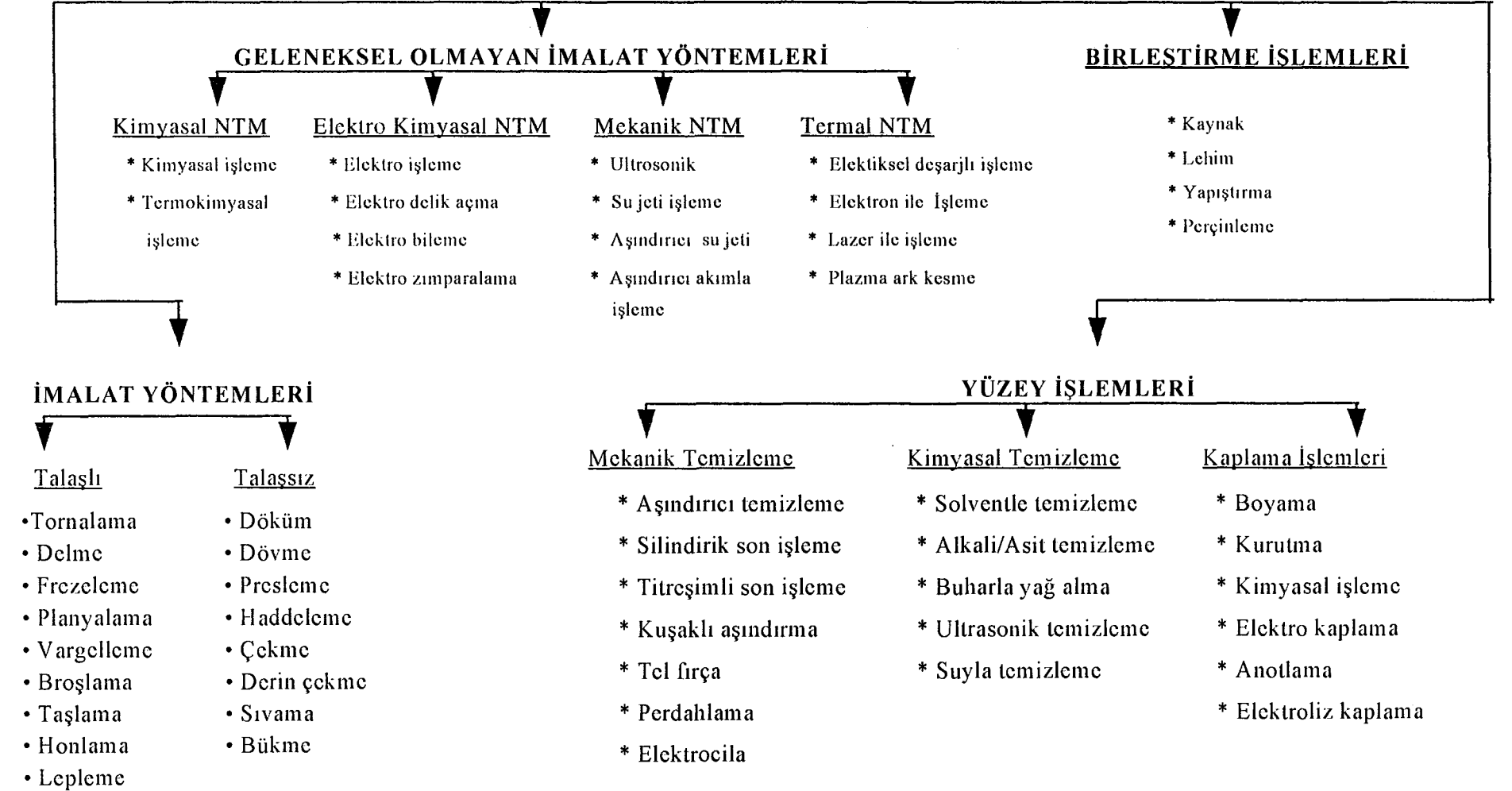
Ayrıca, diğer bir katı atık kaynağı da arıtma tesisinden kaynaklanan, suyu alınmış atık çamurlardır.

Metal işlem sanayii atıklarında bulunan ve alıcı ortamlara verilen toksik ve insan sağlığına zararlı kirletici bileşenlerin en yaygın olanları; anyonlar, katyonlar, nitrat, fosfat, solventler, asidite, alkalinite, askıda katılar ve yağlar olup, bu kirleticilerin en çok bilinen olumsuz etkileri Çizelge 2.1 ' de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Metal işlem sanayiinden kaynaklanan kirletici bileşenler ve olumsuz etkileri [6]

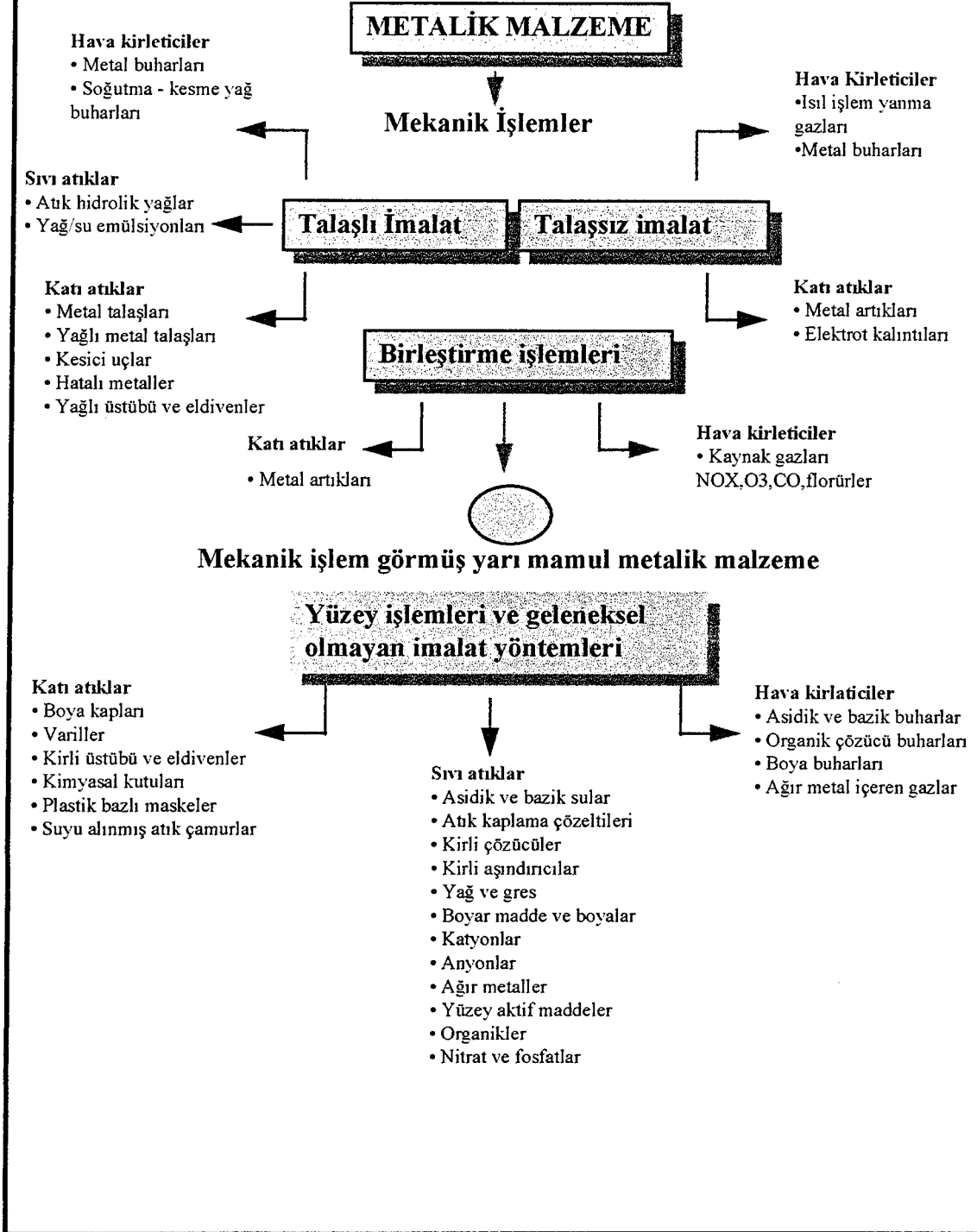
BİLEŞEN	ÖZELİKLERİ
Anyonlar (siyanür, kromik asit, kromat, florür, klorür)	<ul style="list-style-type: none"> • Sucul yaşam ve bakteriler üzerinde toksik etki yapar.
Kasyonlar (arsenik, gümüş, berilyum, kadmiyum, kurşun, bakır, çinko, nikel, amonyak, demir, kalay)	<ul style="list-style-type: none"> • Çok düşük konsantrasyonları bile sucul yaşam üzerinde toksik etki yapar. • Demir ve bakır suya renk verir ve çözülmüş oksijeni tüketir
Nitrat ve fosfat	<ul style="list-style-type: none"> • Alıcı su ortamında ötrafikasyona neden olur
Solventler	<ul style="list-style-type: none"> • Kanalizasyon sistemlerinde patlama tehlikesi yaratır. • Alıcı su ortamlarında toksisite yaratır • Solvent buharları atmosferde ozon tabakasına zarar verir.
Asidite ve alkalinite	<ul style="list-style-type: none"> • Alıcı su ortamlarında doğal dengeyi bozar. • Korozif etki yaratır.
Askıda katılar	<ul style="list-style-type: none"> • Suya kötü ve bulanık görüntü verir. • Katı partiküller kanalizasyon sisteminde çökebilir ve tıkanmalara yol açabilir.
Yağlar	<ul style="list-style-type: none"> • Alıcı su ortamları için toksiktir. • Organik maddeler çözülmüş oksijeni azaltır. • Serbest yağ tabakası sucul ortamda fotosentezi engeller.

METAL İŞLEM SANAYİİ



Şekil 2.2. Metal işlem sanayiinde kullanılan prosesler

METAL İŞLEME PROSELERİNDEN KAYNAKLANAN ATIKLAR



Şekil 2.3. Metal işlem sanayiinden kaynaklanan atıklar [1]

2.4.1. Metal işlem sanayiinde atıksu kaynakları ve atıksu karakterizasyonu

Metal işlem sanayii atıksuları, genellikle miktarı değişkenlik göstermekle beraber, toksik özellikte olabilen atıksulardır. Bu tür endüstrilerin temel imalat işlemi olan mekanik işlemlerden, talaşlı ve talaşsız imalat sırasında su tüketimi olmadığından, proseslerden deşarj edilen bir atıksu akımı yoktur.

Metal işlem sanayiinin temel atıksu kaynakları, uygulamaları sırasında su tüketen proseslerdir. Geleneksel olmayan imalat yöntemleri bir atıksu kaynağı olabildiği gibi, kesikli ya da sürekli bir atıksu akımına sahip prosesler, özellikle metal yüzey işlemlerini kapsar. Metal parça yüzeyi kaplama işlemleri, parça yüzeyinin aşındırılması, kimyasal yöntemlerle temizlenmesi, parçanın yıkanması, çözücüler yardımıyla yüzeyden yağ alınması ve boyama işlemleri gibi; çeşitli kimyasallar, asit alkali boya ve çözücülerin kullanıldığı işlemler sırasında ve sonrasında metal parçaların su ile yıkandığı prosesler metal işlem sanayiinin temel atıksu kaynaklarıdır.

Atıksular asitleri, alkalileri, çözücülerini, yağları ve metalik maddeleri içerir. Bu açıdan çeşitli metal işleme tesisleri, benzer özellikte, ancak farklı konsantrasyonlarda metalik madde içeren atıklar vermeleri ile karakterize edilirler. Metal işlem sanayii atıksularının tipik özellikleri; ağır metallere kaynaklanan zehirlilik, düşük konsantrasyonda organik madde ve yüksek oranda yağ-gres içermesidir. Metal endüstrisi atıksularında asidite ve alkalinite mevcut olabilirken, özellikle yüzey kaplama işlemlerinden kaynaklanan atıksularda siyanür, krom, nikel ve çinko gibi metal tuzları da bulunabilir. Ayrıca solventler, deterjanlar ve boyalar da metal işleme endüstrileri atıksularının tipik bileşenleridir.

2.4.1.1. Kaplama atıksularının özellikleri

Metal kaplama prosesinde oluşan sıvı atıklar, büyük hacimli olmamakla beraber, içerdikleri tehlikeli ve toksik bileşenler nedeniyle oldukça önemlidir. Metal kaplama prosesinde kimyasal karakterleri ve hacimleri farklılık gösteren iki tip atıksu oluşur:

1. Kesikli kaplama çözeltileri
2. Yıkama-çalkalama suları

Belirli konsantrasyonlarda hazırlanan kaplama çözeltileri, bir süre kullanıldıktan sonra kapasitesi dolup, kaplama özellikleri azaldığında aktif temizleme bileşenlerinin veya asitlerinin derişimlerini belli bir seviyede tutmak, uniform kirletici yüklemeyi veya metal derişimini korumak ve kesikli boşaltma zorunluluğundan kaçınmak için yavaş ve sürekli boşaltım şeklinde ya da kesikli atık deşarjı şeklinde yenilenebilir. Periyodik olarak meydana gelen kesikli deşarjların hacmi büyük olmamakla birlikte, kimyasal derişiminin yüksek olduğu durumlarda toksik etkisi çok ciddi boyutlarda olabilir [6].

Kaplama çözeltileri karakterizasyonu ve miktarı değişmekle beraber, Çizelge 2.2' de yaygın kullanımları verilen sülfürik asit, nitrik asit ve hidroklorik asit gibi asitleri içeren asit banyoları ya da sodyum sülfid, siyanür ve hidroksit içeren alkali banyolar şeklinde olabilir [7].

Kullanılmış kaplama çözeltilerinin en büyük özelliklerinden birisi de yüksek konsantrasyonlarda metal içermesidir. Parça yüzeyine yapılan kaplamaya bağlı olarak değişmekle beraber nikel, krom, bakır, demir, çinko ve siyanür kaplama işlemlerinden kaynaklanan yaygın toksik metallere (Bkz.Çizelge 2.3) [7].

Çizelge 2.2. Yaygın olarak kullanılan kaplama banyolarına ait özellikler [7]

Kaplama banyosu içerikleri	Metal+Siyanür konsantrasyonu (ppm)	Çalkalama suyu konsantrasyonu (ppm)	
		Banyo ortamından sürüklenen çıkış akımı (Drag-out)	
		0.5 gal/saat	2.5 gal/saat
NİKEL			
40 oz/gal* nikel sülfat	82 000 Ni	171 Ni	855 Ni
40 oz/gal nikel klorür			
6 oz/gal borik asit			
KROM			
53 oz/gal kromik asit	207 000 Cr	431 Cr	2155 Cr
0.53 oz/gal sülfürik asit			
BAKIR (ASİT)			
27 oz/gal bakır sülfat	51 500 Cu	107 Cu	535 Cu
6.5 oz/gal sülfürik asit			
BAKIR (SİYANÜR)			
3.0 oz/gal bakır siyanür	12 400 Cu	2.8 Cu	14 Cu
4.5 oz/gal sodyum siyanür	28 000 CN	2.958 CN	290 CN
20 oz/gal sodyum karbonat			
BAKIR (FOSFAT)			
4 oz/gal bakır	30 000 Cu	62 Cu	310 Cu
29 oz/gal sodyum fosfat			
% 0.4 amonyak			
KADMİYUM			
3.5 oz/gal kadmiyum oksit	23 000 Cd	48 Cd	240 Cd
14.5 oz/gal sodyum siyanür			
ÇİNKO			
8 oz/gal çinko siyanür	33 800 Zn	70 Zn	350 Zn
5.6 oz/gal sodyum siyanür	48 900 Zn	102 CN	510 CN
10 oz/gal sodyum hidroksit			
PİRİNÇ			
4 oz/gal bakır siyanür	21 000 Cu	44 Cu	220 Cu
1.25 oz/gal çinko siyanür	5250 Zn	11 Zn	55Zn
7.5 oz/gal sodyum siyanür	47 500 CN	99 CN	495 CN
4 oz/gal sodyum karbonat			
KALAY (ALKALİ)			
16 oz/gal sodyum kalay	53 000 Sn	110 Sn	550 Sn
1 oz/gal sodyum hidroksit			
2 oz/gal sodyum asetat			
GÜMÜŞ (SİYANÜR)			
4oz/gal gümüş siyanür	24 600 Ag	51 Ag	255 Ag
4 oz/gal sodyum siyanür	21 800 CN	45 CN	225 CN
6 oz/gal sodyum karbonat			

* 1 oz= 28.35 gram
1 U.S galon= 3.785 L

Çizelge 2.3. Metal kaplama işlemlerinden kaynaklanan atıksuların konsantrasyon düzeyleri [7]

TESİS	pH*	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	Cr (+6) (ppm)	Toplam Cr (ppm)	CN (ppm)
A	3.2	16	11	0	0	0	1.0	6
A	10.4	19	3	0	0	0	0.5	14
B	4.1	58	1.2	0	0	204	246	0.2
C	2.8	11	-	0.2	-	3	7	1.2
D	2.0	300	10	0	82	0	0	0.7
E	2.4	35	8	-	-	55	612	1.2
E	10.7	14	4	19	-	32	39	2.0
F	10.5	6	2	25	39	-	-	10
G	11.3	18	18	26	-	36	-	15
G	11.9	23	21	32	-	95	-	13

* Asidik pH' lı kaplama atıksuları kromat banyolarına, bazik karakterli kaplama atıksuları ise siyanür içeren çinko kaplama banyolarına aittir.

Yıkama-çalkalama atıksuları ise parça üzerindeki bir önceki işlemde kalan kaplama banyosu çözeltilerini içerir. Bu tür atıksuların kirlilik konsantrasyonu düşük olmasına rağmen, yıkama işlemleri sırasında bol miktarda su kullanıldığından, hacim olarak oldukça fazladır.

Kaplama atıksularının büyük çoğunluğu asidik özellikler gösterirken, bazı kaplama atıksuları alkali özellikler taşıyabilir. Örneğin kromat banyoları, asidik pH' larda olurken, siyanür içeren çinko kaplama banyoları alkali pH' lardadır.

Proses çözeltilerinin pekçoğu, özellikle kaplama elektrolitleri, parlaticılar ve nemlendiriciler (wetting agents) gibi az miktarda organik ilave madde içerirler. Bu sebeple genelde kaplama atıksularının BOI' si düşüktür [6].

Kaplama işleminden önce metal yüzeyinin temizlenmesine yönelik olarak kullanılan deterjan ve sabun içerikli yıkama tankları atıksuları, doğada çözünemeyen yüzey aktif maddeler içerebilir. Bu tür organik kirleticiler, şayet atık asitlerle birlikte kesikli olarak artılırsa, yağ emülsiyonları kırılabilir ve organik içeriği, çıkış suyu kalitesinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olur [6].

Kaplama atıksularından, özellikle kaplama proses banyoları bir miktar tank dibine çökmüş, metal parçaları, tozları ve metal yüzeyindeki kirletici katıları içerir. Bu tür maddeler, atıksuyun AKM konsantrasyonunu arttıran bileşiklerdir.

2.4.1.2. Kimyasal proses atıksularının özellikleri

Metal işlem sanayiinde kullanılan kimyasal prosesler (alkali temizleme, solventle temizleme, aşındırma, boyama vb.) de önemli ve oldukça toksik özellikler taşıyan atıksu kaynaklarından birisidir.

Kaplama işlemlerinde olduğu gibi, kimyasal işlemlerde kullanılan atık proses çözeltileri periyodik olarak kesikli bir şekilde ya da yavaş bir akımla sürekli şekilde boşaltılabilir. İşlemden kullanılan kimyasal maddelere göre, atık çözeltilerin içeriği de değişecektir. Bu çözeltilerde kirletici maddelerin konsantrasyonu oldukça yüksektir.

Yıkama-çalkalama suları, atık proses çözültisi içeren, kirlenici konsantrasyonu düşük, fakat hacmi fazla olan atıksulardır.

Kimyasal proses atıksuları asidik ya da alkali olabilir. Bu suların pH' ları 2.0-12.0 arasında değişir.

Atıksular, özellikle anyonlar (klorür, florür), toksik katyonlar (krom, nikel, bakır, çinko, gümüş, kadmiyum vb.) nitratlar, ve fosfatlar açısından zengindir. Yağlı bileşiklerin giderilmesinde kullanılan solventler (triklor etan, triklor etilen, perklor etan vb.) genellikle asidik özellik gösterir ve solvent içeren atıksularda yağ konsantrasyonu yüksektir.

Boyar maddeler, sabun ve deterjanlar kimyasal proses atıksularının karakterizasyonunu etkileyen diğer kirlenici bileşenlerdir. Bu tür kimyasallar, atıksudaki organik madde miktarını artırır ve suyun KOI, BOI konsantrasyonunu yükseltir [2].

Atıksuların AKM içeriği de metal yüzeyine yapışmış olan kirlenici bileşenler, metal parçaları ve tozlarının etkisiyle yüksektir. Çizelge 2.4' de bazı kimyasal proses atıkları ve bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. Kimyasal proseslerden kaynaklanan sıvı atıklar ve bileşimleri [2]

Atık cinsi	Kaynaklandığı proses	Bileşimi
Aşındırıcılar	Pas giderme ve cilalama işlemleri	Alüminyum oksit, silika metal, su, gres
Çözücüler (solventler)	Yağ bazlı katıların giderimi	Halojen içeren ve halojen içermeyen solventler, yağ bazlı kirleniciler
Alkaliler	Organik katıların giderimi	Alkali tuzları, ilave kimyasallar, organik katılar, su
Asitler	Kirlilik ve pasların giderimi	Asitler, ilave kimyasallar, çözünmüş metal tuzları, su
Çalkalama suları	Kimyasal temizleyici ve proses çözültülerinin giderimi	Temizleyici ve çözültülerle kirlenmiş su

2.4.1.3. Yağlı atıksuların özellikleri

Metal işlem sanayiinde yağlı atıksular çoğunlukla, mekanik işlemler sırasında, metal soğutma ve kesme amaçlı kullanılan yağ/su emülsiyonlarından yağ ayırma işlemlerinin ardından kalan atıksulardır. Bunun yanında, yağlama yağları (lubrikantlar) ve hidrolik yağları da içerebilen yağ atıkları, genellikle çözünebilir ve emülsifiye formdadır. Ayrıca, metal parça yüzeyinden yağın temizlendiği kimyasal proses atıksuları da, yağlı atıksuların diğer bir kaynağıdır.

Bu tür atıksuların en büyük özelliği yağın kullanım alanına ve uygulamaya göre değişen yüksek yağ ve gres konsantrasyonlarıdır. Örneğin otomobil ve uçak üretiminde kesme, bileme ve temizleme işlemlerinden kaynaklanan yağlı atıklar, 500-1200 mg/L konsantrasyonlarında yağ içerirken, mekanik yüzey işlemlerinin kullanıldığı metal

işleme endüstrilerinden kaynaklanan atıksularda yağ konsantrasyonu, 5000 mg/L' ye kadar çıkabilmektedir.

Emülsüfiye haldeki yağ atıklarının diğer bir özelliği, organik madde içeriğinin yüksek olması ve bakteriyel gelişmeye müsait olmasıdır. Ayrıca genellikle imalat tezgahlarından kaynaklanan bu tür atıklar, toz ve metal parçaları gibi katı haldeki kirleticileri de içerebilir.

3. METAL İŞLEM SANAYİNDE ATIKSU ARITIMI VE ARITIM TEKNOLOJİLERİ

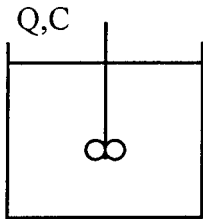
Metal işlem sanayiinde endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan arıtım teknolojileri, atıksu karakterizasyonuna bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Genellikle, atıksuların yağ ve ağır metal içeriği fazla olduğundan; bir ayırma sistemiyle yağın sudan ayrılması ve kimyasal yöntemlerle metallerin giderimi gerekmektedir. Bunun yanında, endüstriyel atıksularla evsel nitelikli atıksuların birleştirilerek arıtıldığı kimyasal/biyolojik yöntemlerin birlikte kullanıldığı tesisler de mevcuttur. Ayrıca, atıksu arıtım şekli, tesisin kapasitesine göre kesikli, sürekli ya da her iki yöntemin birlikte kullanıldığı kesikli/sürekli sistemler şeklinde olabilir.

3.1. Kesikli Arıtım Sistemleri

Atıksuyun, endüstride kaynaklandığı proseslerden arıtma tesisine değişik periyotlarla kesikli olarak gönderildiği; atıksuya uygulanan arıtma işlemlerinin, kimyasal dozlamaların ve su kalitesi kontrol işlemlerinin çoğunlukla manuel olarak yapıldığı kesikli arıtma sistemleri, genellikle atıksu debisi 7-8 m³/gün' den daha düşük debili tesislerde tercih edilmektedir. Metal işlem sanayii atıksuları gibi düşük debili ve yoğun toksik maddeler içerebilen (işlem kapasitesine bağlı olarak değişkenlik gösterir) atıksular için kesikli arıtım tercih edilebilir.

Kesikli arıtım sistemlerinde genellikle tam karıştırmalı kesikli reaktörler kullanılır (Bkz. Şekil 3.1). Atıksu, boş reaktöre alınır ve arıtım işlemi sona erdikten sonra tank içindeki arıtılmış su boşaltılır. Bu süre içerisinde atıksu ile ilave edilen kimyasallar arasında kimyasal reaksiyonlar gerçekleşir. Bu tür sistemlerde bileşim zamanla değişmekle beraber herhangi bir anda reaktör içindeki bileşim üniformdur. Reaksiyon süresi içinde gerek reaktör içine gerekse dışına doğru herhangi bir akım olmadığından kütle dengesi aşağıdaki şekilde yazılabilir [8]:

$$\left(\begin{array}{l} \text{Reaktif A' nın} \\ \text{reaktör} \\ \text{içindeki kütle değişim hızı} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{A' nın reaktörde reaksiyona} \\ \text{girmesi nedeniyle} \\ \text{kütlesindeki azalma hızı} \end{array} \right) \quad (3.1)$$



Şekil 3.1. Kesikli reaktörün şematik gösterimi [8]

Kesikli arıtım sistemlerinin en büyük avantajı, atıksu karakterizasyonuna bağlı olarak gerektiğinde atıksuya özel işlemlerin uygulanmasına ve gerekiyorsa kirletici bileşenleri ölçmek üzere özel test ve analizlerin yapılmasına olanak vermesidir.

Metal sanayiinde kesikli arıtım, özellikle yağlı atıksuların arıtımında kullanılmaktadır. Bu tür arıtım sistemlerinde, paralel çalışan kesikli toplama ve sıyırma tankları bulunur. Tanklardan birisinde yeterli miktarda atıksu biriktiğinde üstte toplanan serbest yağ, sıyrılarak alınır ve atık, yağ toplama tankına gönderilir. Geride kalan, çözünebilir yağları içeren atıksu bir başka tanka alınarak; asit ve alüm ilavesiyle, pH değeri emülsiyonları parçalamaya yetecek seviyeye getirilir ve yağ emülsiyonları parçalanır. Serbest yağ, bir seperatörde ayrıldıktan sonra kostik soda ya da kireçle nötralize edilir [9].

Ayrıca, metal kaplama, metal aşındırma, metal yıkama atıksuları gibi özel kirletici bileşenler içerebilecek atıksuların arıtımında da kesikli arıtım tercih edilebilir.

Kesikli arıtım sistemleri, tanklarda pH ölçümlerini ve kimyasal madde, asit, baz besleme pompalarının otomatik kontrolünü gerektirir. Bekletme tankına besleme yapacak pompalara kumanda etmesi için seviye ölçümlerine ihtiyaç duyar. Ayrıca, çıkış akımı debi ve pH' ının sürekli monitorlanması ve alınan verilerin kayda geçmesi gerekir. Bu tür bir sistemde pH ve seviye kontrolünü gerektiren pekçok nokta vardır ve bunu sağlayabilmek güç olabilir. Atık yağların ve/veya çamurun pH probu ucuna yapışması ve probu çalışmaz hale getirmesi problem yaratabilir. Tam otomatik veya kesikli sistemlerde tüm vanalar, boru hatları, tanklar ve kaplama malzemelerinin yağ, pH değişimleri ve kullanılan kimyasallara uygunluğu test edilmelidir. Bu gibi hususlar, işlem maliyetlerini etkileyen önemli faktörlerdir [9].

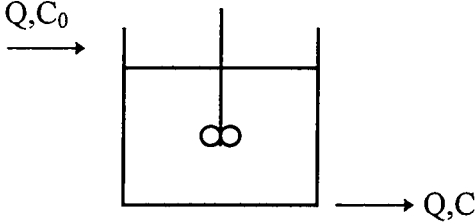
Metal işlem sanayii atıksuyundaki toksik nitelikli ağır metallerin çöktürülmesi, serbest yağların sıyrılarak uzaklaştırılması, çözünebilir yağların parçalanması ve tekrar sıyırılması, atıksuyun nötralizasyonu proseslerini kapsayan kesikli arıtımın otomasyonu yoluyla kirleticilerin sürekli şekilde uzaklaştırılması yoluyla kanalizasyona deşarj edilebilecek ya da yüzeysel sulara verilebilecek kalitede su elde edilmesi mümkün olabilir.

3.2. Sürekli Arıtım Sistemleri

Atıksuyun endüstride kaynaklandığı proseslerden arıtım tesisine sabit veya değişik periyotlarda sürekli olarak gönderildiği; atıksuya uygulanan arıtım işlemlerinin, kimyasal dozlamalarının ve su kalitesi kontrol işlemlerinin çoğunlukla otomatik olarak yapıldığı sürekli arıtım sistemleri genellikle, atıksu debisi 7-8 m³/gün'den daha yüksek olan tesislerde tercih edilmektedir [9].

Bu tür tesislerde genellikle sürekli akışlı tam karıştırmalı tank reaktörler kullanılmaktadır. Bu reaktörlere ham atıksu beslemesi ve arıtılmış su çıkışı sürekli olarak yapılır. Sürekli akışlı reaktörlerin ilk yatırım masrafları yüksek, işletilmeleri kolay ve ucuzdur. Çıkan atıksu üniform kalitededir. Sürekli arıtım sistemlerinde bu tür reaktörler seri olarak bağlanarak kullanılır ve atıksu bir tankdan diğerine taşma usulüyle aktararak arıtımı sağlar. Sürekli akışlı tam karıştırmalı reaktörlerde kütle dengesi aşağıdaki şekildedir [8]:

$$\left(\begin{array}{l} \text{Reaktif A'nın} \\ \text{kütlesinin reaktör} \\ \text{içindeki} \\ \text{net değişim hızı} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{A'nın} \\ \text{kütlesindeki} \\ \text{artış hızı} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{A'nın} \\ \text{kütlesindeki} \\ \text{azalma hızı} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{A'nın reaktörde} \\ \text{reaksiyona girmesi} \\ \text{nedeniyle kütlesin-} \\ \text{deki azalma hızı} \end{array} \right) \quad (3.2.)$$



Şekil 3.2. Sürekli reaktörün şematik gösterimi [8]

Bu sistemlerde arıtılan atıksular karakterizasyonunda pik değişimler olmayan ve sürekli olarak aynı tür kirleticileri içeren atıksulardır. Örneğin, metal işleme endüstrilerinde sadece krom kaplama atıksularının arıtıldığı ya da sadece siyanürlü atıksuların arıtıldığı sürekli sistemler mevcuttur. Sürekli arıtım sistemlerinde atıksu akımlarının atıksu arıtım sistemine verilmeden önce mutlaka ayrılması gerekir. Örneğin siyanür veya krom (+6) içeren kaplama atıksularında şöyle bir ayırım yapılabilir [10]:

- Asit ve krom (+6) atıklarının birleştirilmesi
- Alkali ve siyanür atıklarının birleştirilmesi
- Kullanılmış asit ve alkalilerin ayrılması
- Dökülmelerin önlenmesi

Atıksu akımlarının ayrılması hem arıtımın daha verimli olması, hem de kullanılan kimyasal miktarının azaltılması açısından yarar sağlayacaktır. Örneğin kromlu atıkların asitle karıştırılması, kromun indirgenmesi sırasında kullanılacak temiz asit miktarını azaltırken, siyanürlü atıkların alkalilerle karıştırılması, siyanür oksidasyonu sırasında kullanılacak temiz alkali miktarını minimize eder [10].

3.3. Nötralizasyon

Endüstriyel atıksuların çoğu alıcı ortama veya arıtma tesisine verilmeden önce nötralize edilmelerini gerektiren asidik veya alkali maddeleri içerirler. Nötralizasyon, aşırı asidite veya alkalitenin giderilmesi için kullanılan bir süreçtir. Nötralizasyon uygulaması kimyasal arıtmadan önce, biyolojik arıtmadan önce veya alıcı su ortamlarına deşarjdan önce yapılabilmektedir [8].

Atıksu, alıcı ortama deşarj edilmeden önce deşarj kriterlerini sağlamak üzere, asidik atıklar kireç veya kostikle, bazik atıklar asit ile nötralize edilir. En ucuz alkali madde olan kirecin, kireç taşı (CaCO_3), sönmemiş kireç (CaO) ve sönmüş kireç (Ca(OH)_2) gibi türleri atıksu arıtma tesislerinde yaygın olarak kullanılır. Nötralizasyon sırasında ilave edilecek kireç miktarı, bir pH kontrol sistemiyle sürekli olarak kontrol edilir ve istenen pH değerine kadar kireç beslemesi yapılır. Sürekli arıtım sistemlerinde

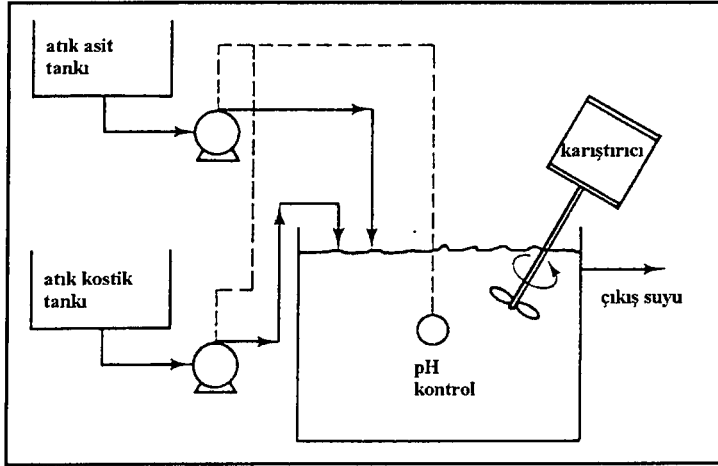
pH kontrolü ve kireç dozlaması otomatik olarak yapılır. Kirecin maliyeti düşük olmasına ve yaygın kullanımına rağmen en büyük dezavantajları besleme hatlarında tortu bırakması ve arıtım sonunda yüksek oranda atık çamur oluşturmamasıdır.

Asidik atıksuların nötralizasyonu için kirece alternatif olarak kostik kullanılabilir. Kostığın kirece göre avantajları, kolay hazırlanabilmesi, besleme hatlarında tortu bırakmaması ve arıtma sonunda atık çamur oluşturmamasıdır. Fakat bunun yanında kostığın işletme maliyeti kirece göre oldukça yüksektir ve kostik korozif bir kimyasaldır.

Alkali atıksuları nötralize etmek üzere, reaksiyon hızları yüksek olan herhangi bir kuvvetli asit kullanılabilir. Arıtma tesislerinde yaygın olarak kullanılan ve en ekonomik olanlar sülfürik asit (H_2SO_4) ve hidroklorik asit (HCl) dir.

CO_2 de alkali atıkların nötralizasyonunda alternatif olarak kullanılabilir bir gazdır. Tesis içinde %14 veya daha fazla CO_2 içeren baca gazları temin edilebiliyorsa bu gazlar da alkali atıkların nötralizasyonu için etkili bir şekilde kullanılabilir. Gaz tanecikleri suda dağıldığında CO_2 , karbonik asidi (H_2CO_3) oluşturur ve bu madde de alkalilerle reaksiyona girer. Bağlı reaksiyon hızı kuvvetli asitlere kıyasla daha yavaş olmasına rağmen, atıksu pH'nın 7-8 arasında ayarlanması isteniyorsa baca gazları yeterli olacaktır [11].

Ayrıca, Şekil 3.3'de gösterildiği gibi atık asit ve kostiklerin aynı tank içerisinde birleştirilerek nötralize edildiği eş anlı nötralizasyon sistemleri de mevcuttur.



Şekil 3.3. Atık asit ve kostiklerin birarada nötralizasyonu [11]

3.4. Kimyasal Oksidasyon ve Redüksiyon

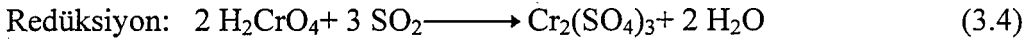
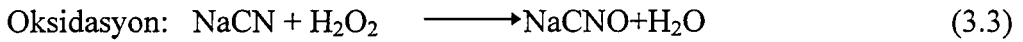
Oksidasyon-Redüksiyon reaksiyonları, bir bileşiğin oksidasyon halinin arttığı, diğer bileşiğin oksidasyon halinin ise azaldığı reaksiyonlardır. Basit anorganik oksidasyon-redüksiyon (redoks) reaksiyonları için oksidasyon elektron kaybına, redüksiyon ise elektron kazanımına eşdeğerdir [7]. Örneğin (Zn^0) gibi metal atomları, metal iyonlarına dönüşürken elektron kaybettiği için bu reaksiyon oksidasyon reaksiyonu, (Zn^{+2}) gibi metal iyonlarının elektron alarak (Zn^0) gibi metal iyonlarına dönüştüğü reaksiyonlar da redüksiyon reaksiyonlarıdır [12].

Redoks reaksiyonları için elektron kaybetme-kazanma tanımı organik reaksiyonlara doğrudan uygulanamaz. Organik bileşiklerin oksidasyonunda; oksijen ilavesi, hidrojenin uzaklaştırılması, elektronların uzaklaştırılması reaksiyonları gerçekleşir.

Redoks proseslerinin endüstriyel atıksu arıtımında, özellikle metal endüstrisinde yüzeysel işlemlerden kaynaklanan atıksularda, sülfid, siyanür, krom, demir, mangan, sülfat gibi inorganik toksik atıkların gideriminde ve fenoller, aminler, hümik asitler, renk, tat, koku oluşturan bileşikler gibi organik atıkların arıtımında önemli bir yeri vardır [8].

Reaksiyonlar, genellikle bir çözelti içerisinde gerçekleşirken, bazı durumlarda çözelti bir katı ya da gaz fazının su içinde çözülmesiyle de olabilir.

Redoks reaksiyonlarına örnek olarak, aşağıdaki çok genel iki reaksiyon verilebilir [12]:



3.3 no' lu reaksiyonda siyanür (CN⁻) iyonu oksidasyonunda azot -1'den +1 değerliğe yükseltgenirken, oksijen -1'den -2 değerliğe indirgenmektedir.

Kromun oksidasyonunun verildiği 3.4 no' lu reaksiyonda ise krom +6'dan +3 değerliğe indirgenirken, sülfür +4'den +6 değerliğe yükseltgenmektedir.

3.4.1. Oksidasyon-Redüksiyon prosesleri

Oksidasyon-redüksiyon proseslerinde temel olan husus, atıksu ve arıtma kimyasalının (arıtma kimyasalının sulu çözeltisi veya arıtma kimyasalı olarak kullanılacak gazın) biraraya getirilerek karıştırılmasıdır. Kesikli veya sürekli olarak her iki şekilde de çalışabilen bu proseslerde, bazı reaksiyonlar 1-2 sn gibi kısa sürelerde gerçekleşirken; reaksiyonların bir kısmı birkaç saati bulan sürelerde gerçekleşebilir. Örneğin, sodyum bisülfidin sodyum hipoklorite oksidasyonu hızlı olurken, bazı organiklerin hipokloritle oksidasyonu daha uzun bir süre gerektirir [12].

Oksidasyon-redüksiyon proseslerinde etkili olan ve kontrolü gereken parametreler, reaksiyon hızını etkileyen; pH, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli ve sıcaklık gibi parametrelerdir. Ayrıca, demir, bakır ve kobalt iyonlarının reaksiyona katalizör etkisi yaptığı kesinlik kazanmış ve silika, kil, metal oksit ve aktif karbon gibi heterojen katalizörlerin de reaksiyonda rol oynadığı görülmüştür [12].

3.4.2. Oksidasyon için kullanılan kimyasallar

Sodyum Hipoklorit

Kullanımı en yaygın oksidant olan sodyum hipoklorit (NaOCl); piyasada sürekli bulunabilen, sulu çözeltisi kolaylıkla nakledilebilen ve depolanan, arıtma sistemi içerisinde kontrol ve ölçümü kolay bir kimyasaldır.

NaOCl ile oksidasyonda, oksidasyonu sağlayan element klor (Cl_2)'dur. Klorun oksidasyon verimi, pH'in artmasıyla artarken, bakteri öldürme verimliliği pH'in azalması ile artar.

Hipoklorit veya klorun oksidasyon amacı ile kullanımı, metal işleme endüstrileri ve sentetik organik kimyasal üretim tesislerinden kaynaklanan çeşitli yıkama suları ve atık proses banyolarındaki siyanür oksidasyonunda çok yaygındır (Bkz.Böl.3.4.5.) [12].

Hidrojen Peroksit

Hidrojen peroksit (H_2O_2), piyasada, %30-70'lik renksiz sulu çözelti halinde satılır ve tehlikeli bir madde olmamasına rağmen yüksek konsantrasyonlardaki H_2O_2 , hazırlama ve depolama koşullarında bazı özel güvenlik tedbirlerinin alınmasını gerektirir.

Güçlü bir oksidant olan H_2O_2 , kağıt endüstrisi atıkları, organik atıksular ve siyanür, formaldehit, hidrojen sülfid, hidrokinon, merkaptan ve sülfid içeren endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılır. Ayrıca, ıslak yıkayıcı sistemlerin çözeltilerinde, hidrojen sülfid, kükürt dioksit, azot oksit ve azot dioksit giderimi için katkı maddesi olarak kullanılır.

H_2O_2 ' nin etkili bir oksidant olması avantajının yanısıra, deriyle temas ettiğinde zarar verme ve organik maddelerle bir araya geldiğinde yangına sebep olabileme gibi dezavantajları da vardır. Ayrıca, söz konusu maddenin gümüş, kurşun, bakır, krom, kobalt, nikel, civa, demir ve demir oksit gibi ağır metallerle kontaminasyonundan kaçınmak gerekir [12].

Kalsiyum Hipoklorit

Granül ya da tablet formunda satılan, yaklaşık %65 klor içerikli kalsiyum hipokloritin, hazırlanması ve kullanımı kolay olduğundan diğer oksidantlara göre bazı avantajları vardır.

Kalsiyum hipoklorit serin, kuru, iyi havalandırılan ve diğer yanıcı maddelerden uzak bir yerde depolandığında, etkinliğini depolandığı süre boyunca kolay kaybetmez. Ancak, $177\text{ }^{\circ}C$ ' nin üzerindeki sıcaklıklarda oksijen ve ısının etkisiyle, oksidantlık özelliğini yitirebilir ve bir organik madde ile temas ettiğinde yangına sebep olabilir. Ayrıca, $57\text{ }^{\circ}C$ ' nin üzerindeki sıcaklıklarda uzun süre depolanması da aynı etkiyi gösterir. Bu nedenle asit, solvent, pestisit, boya, yağ, deterjan gibi maddelerden ayrı olarak serin bir yerde depolanması gerekir [12].

Özellikle, siyanürlü atıksuların (özellikle bakır ve nikel siyanür) arıtımı için kullanılan kalsiyum hipoklorit, kağıt endüstrisi atıksuyu, endüstriyel soğutma suyu ve havuz suyu arıtımında da tercih edilir.

Potasyum Permanganat

Kristal ya da granüler halde bulunan potasyum permanganatın, hazırlama ve depolama sırasında insan ve çevre sağlığına zararları diğer oksidantlara kıyasla çok daha azdır. Serin ve kuru yerlerde, beton zemin üzerinde asit, organik maddeler, yağ ve yanıcı maddelerden uzak olarak depolanması gerekir.

Potasyum permanganat aşağıdaki özellikleri nedeniyle su arıtımında kullanılır [8]:

- Güçlü bir oksidasyon maddesidir. Demir, mangan, siyanür, fenoller ve diğer tad ve koku oluşturan maddelerle reaksiyona girer.
- Uygulanan derişime bağı olarak alglerin ve mikroorganizmaların çoğalmasını durdurur veya onları öldürür.
- Suya ilave edilmesi ve ölçümü kolaydır, klasik su arıtma tesislerinde kolayca uygulanabilir.
- İndirgendiğinde mangan dioksit teşkil eder ve bu madde sorptif özellik taşıdığından bulanıklığı az olan sularda pıhtılaşma ve çökelmelere neden olur.
- Artılmış suda, tad ve koku oluşturmaz

Endüstriyel atıksulardaki organik ve inorganik maddelerin (özellikle fenol, demir, mangan, siyanür) giderilmesinde kullanılan potasyum permanganat, içme suyu arıtımında tad ve koku giderimi, mangan, demir, H₂S giderimi, su depolarında ve proses suyu hazırlanmasında alg kontrolü, organik madde, mangan ve demir giderimi amaçlarına yönelik olarak da kullanılabilir [8] .

Ozon

Normal sıcaklık ve basınç koşullarında gaz halinde bulunan ozon (O₃), doğal sularda ve atıksularda bulunan organik madde ve mikroorganizmalarla reaksiyona giren güçlü bir oksidanttır. Ozon, kuru hava içerisinde elektrik akımı geçirilmek suretiyle %1-3'lük derişimlerde, oksijen içerisinde elektrik akımı geçirilmek suretiyle ise %2-6'luk derişimlerde üretilir [12].

Diğer oksidantlarla kıyaslandığında çok daha pahalı olması dezavantajına sahip olan ozon, bu sebepten dolayı, en iyi verimi almak üzere etkin kullanımı gerektiren bir oksidanttır. Mümkün olduğu kadar kayıp ve kaçaklara meydan vermeden hava veya oksijen içerisinde arıtılacak suya transfer edilmesi gereken ozonun üretimi, ozonun çok çabuk bozunması nedeniyle kullanmadan hemen önce yapılır. 50 000-30 000 volt elektrik akımında aşağıdaki reaksiyona göre ozon oluşur [8].



Reaktörde ozon ayrışmasını minimuma indirmek için soğutma ve yüksek gaz akımı uygulanmalıdır. Ozon üretim verimi; ozonatörün tipine ve geometrisine, taşıyıcı gazın (hava veya oksijen) tipine, gaz çıkış hızına, uygulanan voltaja ve gazın nem içeriğine bağlıdır. Teorik olarak, 1 kwh enerji başına 1058 g ozon elde edilir. Ancak, pratikte bu değer, 150 g/kwh enerji şeklinde ölçülmüştür [8].

Genellikle, içme suyu arıtımında renk, koku, tad giderme ve dezenfeksiyon amaçlarına yönelik olarak tercih edilen ozonun endüstriyel atıksu arıtımında kullanıldığı alanlar ise; demir ve mangan giderme, fenol ve siyanür oksidasyonudur.

Ayrıca, metilen klorür, trikloretan, karbontetraklorür ve vinil klorür gibi halojen içeren çözücülerin (solvent) arıtımında, UV-Ozon kombinasyon sistemleri kullanılır.

3.4.3. Redüksiyon için kullanılan kimyasallar

Kükürt dioksit

Kimyasal redüksiyonda geniş bir kullanım alanına sahip kükürt dioksitin (SO_2), 1 atm. basınçta sudaki çözünürlüğü 0°C ' de % 18.5 ve 40°C ' de % 5.1'dir [12].

Çoğunlukla krom (+6) içeren endüstriyel atıksuların arıtımında kromun redüksiyonu için kullanılan SO_2 gaz halindedir. Redüksiyon işleminde gaz SO_2 kaynağı olarak atık baca gazı kullanılabilir [12].

Demir Sülfat

Katı halde bulunan demir sülfat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), çoğunlukla krom indirgenmesinde kullanılır. Sisteme demir sülfat beslemesi kuru veya çözelti olmak üzere, her iki halde de yapılabilir. Demir sülfat, kromik asit ve kromatları krom sülfata dönüştürür. Bu indirgen maddenin en önemli sakıncası verdiği çamur miktarının diğer reaktiflere kıyasla biraz daha fazla olmasıdır [8].

Sodyum sülfid, Sodyum bisülfid ve Sodyum metabisülfid:

Sodyum sülfid (Na_2S), sodyum bisülfid (NaHSO_3) ve sodyum metabisülfid ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) bileşikleri aktif indirgen maddelerdir. Krom indirgenmesinde kullanımları oldukça yaygın olan bu bileşikler demir sülfatın yerine indirgen madde olarak kullanılabilirler ve çok daha az çamur oluştururlar. Katı haldeki bu bileşikler arıtma sırasında hem kuru olarak hem de sulu çözeltileri şeklinde kullanılabilir.

Sodyum sülfid kullanıldığında reaksiyon sırasında SO_3 kökü SO_4^- iyonuna dönüştürülür ve indirgemeyi SO_4^- iyonu sağlar. Sodyum metabisülfid ve sodyum sülfid indirgemesinde ise, indirgeme H_2SO_3 iyonu ile olur.

Çizelge 3.1.'de kükürt dioksit, sodyumbisülfid, sodyum metabisülfid ve demir sülfat indirgen maddelerinin kromlu atıksuların arıtımı için gerekli olan miktarları verilmiştir. Kıyaslama yapıldığında kükürt dioksitin kullanım miktarı açısından diğerlerine oranla daha avantajlı olduğu görülmektedir [12].

Çizelge 3.1. İndirgen maddelerin kromlu atıksular için kullanılan miktarları [12]

Kimyasal	Ağırlık oranı* (lb/lb veya kg/kg)
Kükürt dioksit	1.9
Sodyum bisülfid	3.0
Sodyum metabisülfid	2.8
Demir sülfat	8.8

* kg krom/kg kimyasal madde miktarı

Sodyum borohidrit

Endüstriyel atıksularda bulunan pekçok ağır metalin indirgenmesinde kullanılan sodyum borohidrit (NaBH_4), % 40'luk sodyum hidroksit çözeltisi içerisinde % 12'lik solüsyon halinde satılır ve endüstriyel atıksu arıtımında direkt ya da istenen konsantrasyonlarda su ile seyreltilerek kullanılır.

Çizelge 3.2' de indirgenmesinde kullanıldığı ağır metaller ve ağırlık oranları verilen sodyum borohidrit, 500-3500 mg/L konsantrasyonlara kadar kurşun, 10-50 mg/L konsantrasyonlara kadar civa, 10-120 mg/L konsantrasyonlara kadar gümüş ve 5-60 mg/L konsantrasyonlara kadar kadmiyumu indirgeyebilmektedir.[12].

Çizelge 3.2. Sodyum borohidrit tarafından indirgenebilen metaller ve ağırlık oranları [12]

Metal	Formülü	Ağırlık oranı *
Kurşun	Pb ⁺²	22
Kadmiyum	Cd ⁺²	12
Civa	Hg ⁺²	21
	Hg ⁺	42
Bakır	Cu ⁺²	7
Gümüş	Ag ⁺	22
Altın	Au ⁺³	14
Nikel	Ni ⁺²	6
Paladyum	Pd ⁺²	11
Kobalt	Co ⁺²	6
Platinyum	Pt ⁺⁴	10
Rodyum	Rh ⁺³	7
İridyum	Ir ⁺⁴	10

*Ağırlık oranı:indirgenen metalin max ağırlığı (kg)/sodyum borohidrit miktarı (kg)

Sodyum borohidrit, aynı zamanda ketonlar, organik asitler ve amidlerle reaksiyona girerek, bazı organik bileşiklerin (solventler gibi) indirgenmesinde de kullanılır.

3.4.4. Siyanürün kimyasal oksidasyonu

Metal endüstrilerinde, yüzey işleme proseslerinden, özellikle çinko kaplama işlemi sonrasında oluşan atıksularda yoğun olan siyanürün (CN⁻) arıtımı için birçok arıtma yöntemi mevcuttur. Bu yöntemlerden bazıları, kimyasal oksidasyon, elektrokimyasal oksidasyon, UV/ozonizasyon, hidrojen peroksitle giderme, demir sülfatla çöktürme ve aktif çamur biyolojik arıtım yöntemiyle arıtmadır. Bu yöntemlerden, metal kaplama tesisleri atıksuları için en çok tercih edileni kimyasal oksidasyondur ve bu bölümde kimyasal oksidasyon yöntemlerine ayrıntılı olarak yer verilecektir.

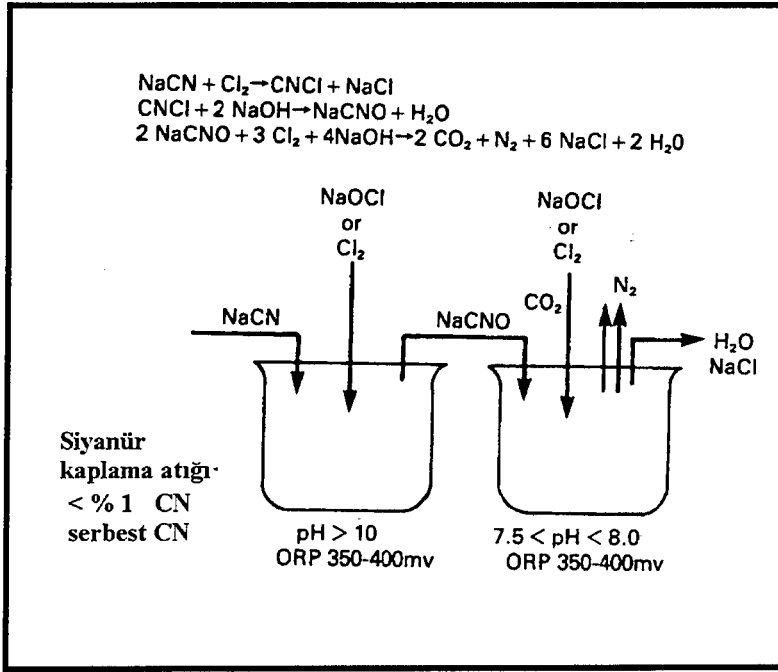
CN⁻ içeren çinko kaplama suları alkalidir, ancak siyanürün tam olarak giderilebilmesi için pH değerinin 8.5' den yüksek olması gerekir. pH'ı yükseltmek için ortama NaOH ilave edilir ve pH değeri otomatik olarak kontrol altında tutulur [7].

Siyanür oksidasyonunda oksidasyon maddesi olarak hava, klor, sodyum hipoklorit ve ozon kullanılır.

Klor ve hipokloritler ile kimyasal oksidasyon

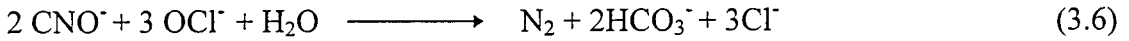
Alkali klorinasyon olarak da bilinen bu yöntemde, atıksuya yüksek pH'da klor gazı ya da sıvı klor ilave edilir. Oksidasyondan önce pH değerini 11 civarına ayarlamak üzere kireç ya da kostik kullanılır [7].

Siyanür ve klor arasındaki reaksiyonların verildiği ve alkali klorinasyon sistemi (Bkz. Şekil 3.4), genellikle %1' den küçük siyanür konsantrasyonları için kullanılır. İki kademededen oluşan bu sistemde, birinci kademedede 10' un üzerindeki pH'da serbest siyanürler (NaCN), Cl₂ ile reaksiyona girerek, siyanürden bin kez daha az toksik olan siyanata (NaCNO) dönüşür. Alkali ortamda hidrolizlenme ile elde edilen siyanat bileşiği ikinci kademedede nötrale yakın pH'da biraz daha oksitlenerek azota ve katbondioksite dönüşür. Bu sistemde, 0.454 kg (1 lb) siyanürü azot gazına oksitlemek için, klor ve kostik sodanın her birinden 2.72 kg (6 lb) gereklidir [13].

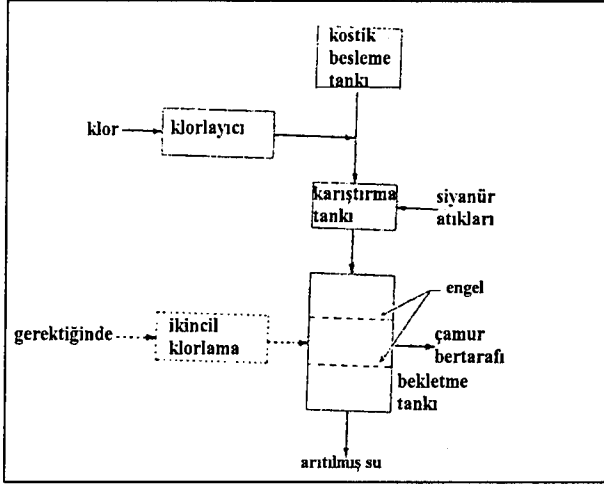


Şekil 3.4. Siyanürün klorlama yoluyla oksidasyonu [13]

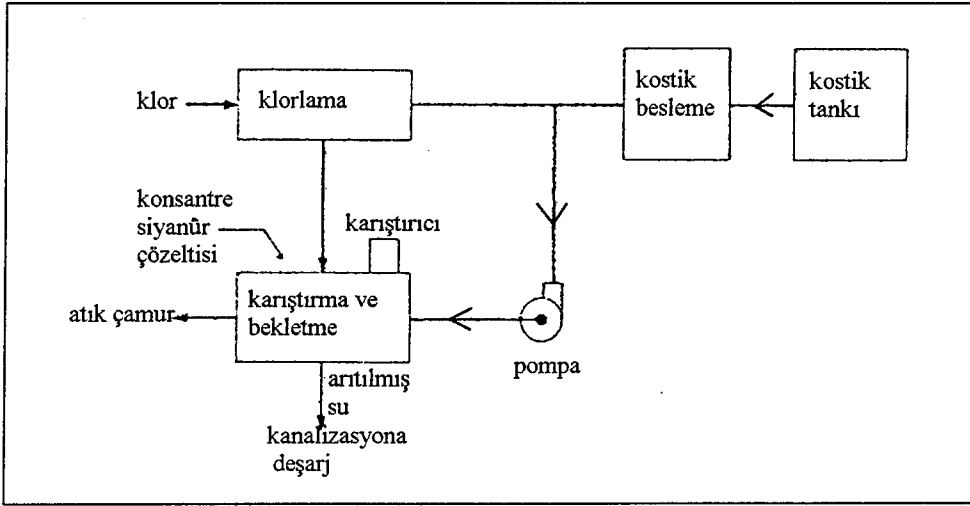
Siyanürün hipoklorit ile oksidasyonu da yine iki kademedede gerçekleşir. İlk kademe pH >10'da gerçekleşir ve siyanür siyanata okside olur. Siyanatın daha fazla oksidasyonu ise ikinci kademedede olur. Bu kademedede, pH 7.5-9 civarına ayarlanır ve hipoklorit ilave edilir. Ayrıca pH 12.5' a ayarlanarak siyanat asit ile hidrolize edilir [8]:



Klor ve hipokloritler ile kimyasal oksidasyonda, kesikli ya da sürekli her iki arıtım şekli de kullanılabilir. Şekil 3.5.' de sürekli sistemde, karıştırma ve bekletme işlemleri ayrı tanklarda yapılırken, Şekil 3.6.'da verilen kesikli arıtım sisteminde iki işlem aynı tankda gerçekleştirilir. Her iki sistemde de pH'ı yükseltmek amacıyla kostik kullanılır[7].



Şekil 3.5. Sürekli arıtımla siyanür oksidasyonu [7]

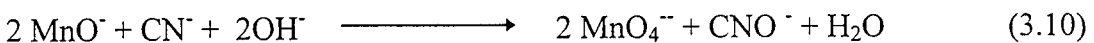
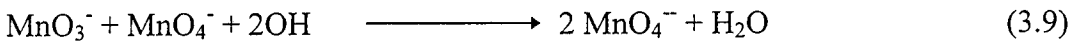
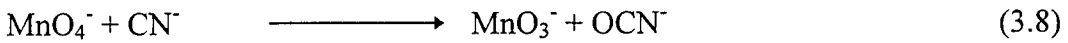


Şekil 3.6. Kesikli arıtımla siyanür oksidasyonu [7]

Potasyum permanganat ile kimyasal oksidasyon

Siyanürlü atıksuların arıtımında kullanılan diğer bir oksidant da potasyum permanganattır. Potasyum permanganatın seçimindeki avantajlar önceki bölümlerde verilmişti (Bkz.Böl.3.4.2).

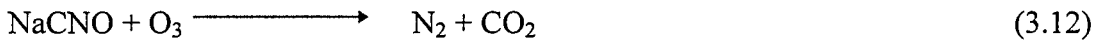
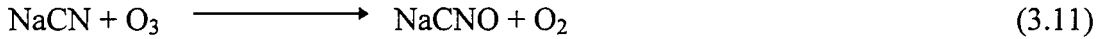
Potasyum permanganat ile siyanürün oksidasyonu çok yüksek pH (12-14) değerlerinde aşağıdaki reaksiyonlar uyarınca gerçekleşir [8]:



Ozon ile kimyasal oksidasyon

Ozonizasyon adıyla da anılan bu yöntem siyanür gideriminde oldukça etkili olduğu halde, alkali klorinasyona göre yüksek yatırım ve işletme maliyeti gerektirdiğinden, metal işleme tesislerinde çok geniş uygulama alanı bulamamıştır [13].

Ozon, serbest siyanürden çok, kompleks siyanür bileşiklerinin arıtımında etkili olur. Yüksek pH ve sıcaklıklarda ozon, kompleks siyanürleri parçalayarak, serbest siyanüre dönüştürür. Ozonun siyanürle verdiği reaksiyonlar aşağıdaki şekilde gerçekleşir [13]:



Ayrıca, ozonizasyon ve ultraviyole adsorpsiyon yöntemlerinin birlikte kullanıldığı uygulamalar da vardır. Bu kombine yöntem, reaksiyonun daha hızlı gerçekleşmesi ve daha az ozon gerektirmesi sebebiyle tercih edilebilir [13].

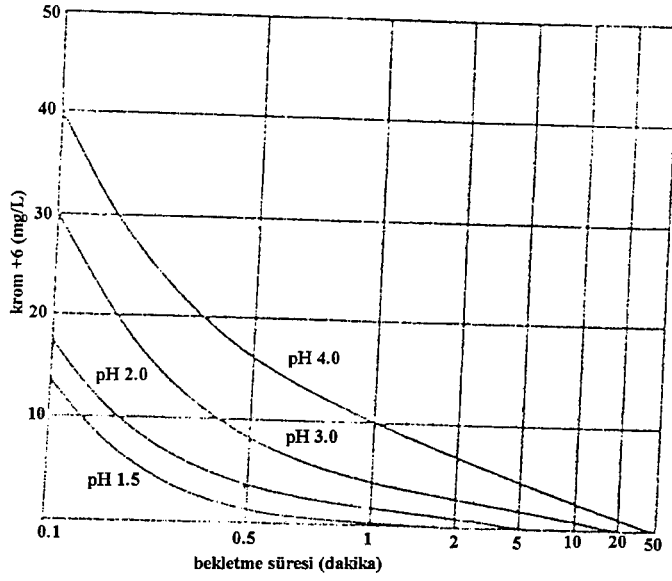
3.4.6. Kimyasal redüksiyon ile krom indirgenmesi

Metal işlem sanayiinde, metal yüzeyi kaplama işlemlerinden kaynaklanan endüstriyel atıksularda yoğun olarak bulunan krom, kromat (CrO_4^{-2}) ve dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$) gibi +6 değerlikli formdadır.

Krom arıtımı amacıyla kullanılan en yaygın metod, kimyasal çöktürme metodudur (Bkz.Böl.3.6). Kimyasal çöktürme işleminden önce, +6 değerlikli kromun, çökebilecek iyon haline yani +3 değerliğe indirgenmesi gerekir. Bu amaçla, krom (+6) içeren atıksulara kimyasal redüksiyon işlemi uygulanır. Krom (+3), krom (+6)'ya kıyasla çok daha az toksiktir ve çok daha kolay çöktürülebilir [11].

Standart redüksiyon işlemi sülfürik asitle atıksu pH' ı 2-3'e düşürülerek ve bir kimyasal ilavesiyle (kükürt dioksit, demir sülfat, sodyum sülfid, sodyum bisülfid, sodyum metabisülfid gibi) krom (+6)'nın krom (+3)'e dönüştürülmesi şeklinde olur. Bu redüksiyon işleminde, krom (+6)'ların tamamı krom (+3)'e indirgenemez ve ortamda bir miktar krom (+6) kalır. Redüksiyon işleminin etkin bir şekilde gerçekleşmesi için, etkili olan parametreler, reaksiyon süresi, ortamın pH' ı, kullanılan kimyasalın türü ve konsantrasyonudur. Krom (+6)'nın, krom (+3)'e redüksiyonuna pH ve reaksiyon süresinin etkisi Şekil 3.7.'de görülmektedir [14].

Krom redüksiyon işleminde en çok kullanılan kimyasallar, sodyum metabisülfid ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), sodyum sülfid (Na_2SO_3), sodyum bisülfid (NaHSO_3), sodyum hidro sülfid ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$), күкүрт диоксид (SO_2) ve demir sülfat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) olup, Çizelge 3.3' de bu kimyasalların 100 lb kromik asit için kullanılacak miktarları ve oluşacak çamur miktarları verilmiştir.[10].



Şekil 3.7. Kromun redüksiyonuna pH ve reaksiyon süresinin etkisi [14]

Çizelge 3.3. 100 lb (45.4 kg) kromik asitin indirgenmesi için kullanılacak kimyasal madde miktarları ile arıtım sonrası oluşacak çamur miktarları [10]

	Sodyum metabisülfid $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (%97)	Sodyum bisülfid NaHS_3	Sodyum sülfid Na_2SO_3	Sodyum hidro-sülfid $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	Kükürt dioksit SO_2	Demir sülfat $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
İndirgeyici madde miktarı (lb)	147	156	189	261	96	834
H_2SO_4 (66Be)	80	80	160	-	-	316
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	111	111	111	-	111	444
Na_2CO_3	159	159	159	-	159	631
NaOH	120	120	120	120	120	480
Oluşan çamur miktarı (lb)						
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	307	307	307	-	307	1346
NaOH	103	103	103	103	103	423
Na_2CO_3	103	103	103	-	103	423

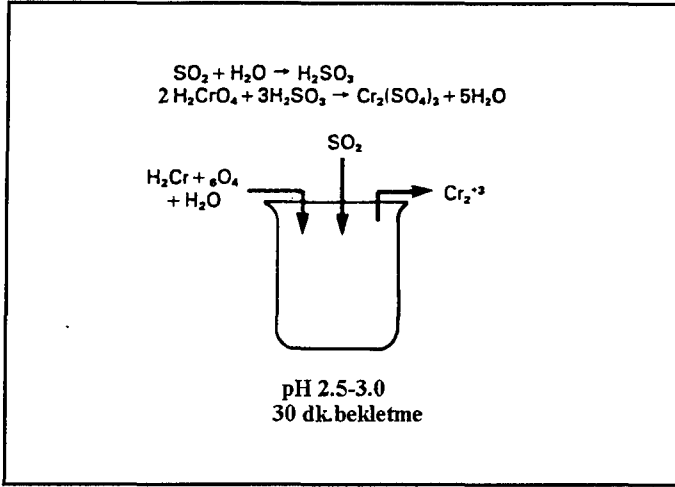
1 lb= 0.454 kg

İndirgeme işleminde kullanılabilir alternatif kimyasalların, tüketilen miktarları, maliyet, uygulama kolaylığı ve sonuçta oluşan çamur miktarı açısından birbirlerine kıyasla avantajları ve dezavantajları vardır.

Kükürt dioksit ile kimyasal redüksiyon

Metal işlem sanayiinden kaynaklanan atıksularda en fazla uygulanan kimyasal olan kükürt dioksit (SO_2), ile redüksiyon Şekil 3.8.' de şematik olarak görüldüğü gibi, pH değeri 2.5-3.0 arasında ve yaklaşık 30-40 dakikalık reaksiyon süresinde gerçekleşir.

Bu reaksiyon sırasında kükürt (+4)'den (+6)'ya okside olurken, krom (+6) ise (+3)'e indirgenir [13]



Şekil 3.8. Kükürt dioksit ile krom redüksiyonu [13]

Sisteme doğrudan doğruya gaz tüplerinden difüze edilmek suretiyle verilen SO_2 'nin en büyük avantajı ucuz bir reaktif olmasıdır.

Aşağıda SO_2 'nin indirgen madde olarak kullanıldığı bazı örnek uygulamalar verilmiştir [14]:

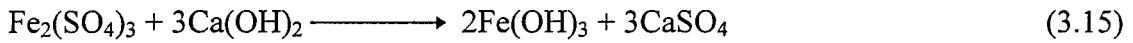
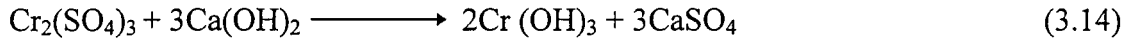
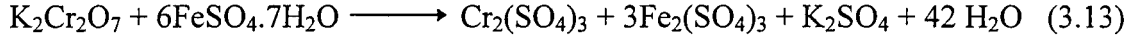
- (a) Kromik asit kaplama ve aşındırma banyolarından kaynaklanan atıklarda (40 gpm) 20-30 dakikalık arıtım süresinde SO_2 kullanılmış ve atıksudaki krom seviyesi 1.0 mg/L altına düşürülmüştür.
- (b) Kaplama atıkları ve soğutma suyu atıkları içeren bir kaplama endüstrisinde H_2SO_4 ve SO_2 kullanılarak krom(+6) 8.75 mg/L'den 0.01-0.03 mg/L' azaltılmıştır. Tam otomatik, sürekli bir arıtma sisteminde krom (+6) seviyesinin 0.05 mg/L'nin altına düşeceği belirtilmektedir.
- (c) Giriş krom seviyesi 1.5 mg/L civarında olan ahşap konservasyonunun gerçekleştirildiği tesisin atıksularında SO_2 kullanılarak, arıtılmış sudaki krom (+6) seviyesi 0.1 mg/L'nin altına düşürülmüştür.
- (d) Diğer bir SO_2 kaynağı da elektrik santrali bacalarından çıkan SO_2 'dir. Bu tür bir proseste, ihtiyaç duyuldukça ek olarak sodyum bisülfid (NaHSO_3) kullanılmıştır. Redüksiyon için SO_2 kullanılması, çıkış suyu havalandırılmadıkça bir oksijen ihtiyacı doğurmuştur. Bu sistemde ihtiyaç duyulan SO_2 dozajı, 2.0 lb SO_2 / lb krom (+6)' dir.

Demir sülfat ile kimyasal redüksiyon

Çok geniş bir uygulama alanına sahip olmayan demir 2 sülfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$); daha çok yan ürün olarak elde edilebildiği endüstriyel tesislerde kullanılır [13]. Normal koşullarda maliyeti yüksek olan demir sülfat, yan ürün olarak oldukça düşük maliyetlerde elde edilir.

Sisteme kuru halde veya çözelti halinde beslenebilen ferro sülfatın en büyük dezavantajı çamur miktarının diğer reaktiflere kıyasla biraz daha fazla olmasıdır [10].

Aşağıda reaksiyonları verilen demir sülfat, indirgen madde olarak kullanıldığında Fe^{+2} , Fe^{+3} 'e oksitlenir ve krom (+6), krom (+3)'e indirgenir. pH 3'ün altında iken hızla gerçekleşen bu reaksiyon için demir sülfatın asidik özellikleri, sulu ortamdaki seyrelme nedeniyle yetersiz olduğundan pH'ın asit ilavesi ile düşürülmesi gerekir [10]:

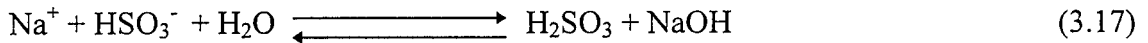
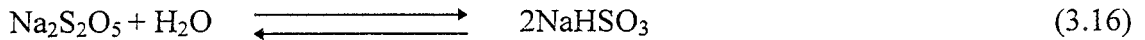


Bennet (1972), yaptığı çalışma sonucunda, demirsülfat redüksiyonunun pH=2-3' de, 30 dakika içerisinde krom (+6)'yı 1mg/L'ye indirdiğini fakat pH 4'ün üzerinde, bu sürenin 1 saate çıktığını iddia eder. Aynı zamanda, bu tür bir indirgemenin kükürtdioksit ve bisülfite kıyasla çok daha fazla çamur oluşturduğu da görülmüştür. Krom atıkları için demir sülfatın kullanılması, siyanür içeren krom atıklarında, demir siyanür kompleksleri oluşturacağından, siyanür arıtımının etkinliğini azaltacaktır [14].

Sülfat ile kimyasal redüksiyon

Sodyum sülfat (Na_2SO_3), sodyum bisülfat ($NaHSO_3$), sodyum metabisülfat ($Na_2S_2O_5$) ve sodyum hidrosülfat ($Na_2S_2O_4$) aktif indirgen maddelerdir. Bu bileşikler demir sülfatın yerine indirgen madde olarak kullanılabilirler ve çok daha az çamur oluştururlar [8].

Metabisülfat kullanıldığında reaksiyonlar aşağıdaki şekilde gerçekleşir ve öncelikle sodyum metabisülfat, sodyum bisülfite hidrolize edilir. Sodyum bisülfit daha sonra suda, hidrolize olarak H_2SO_3 'e dönüşür ve krom indirgeme işlemi H_2SO_3 ile olur. Reaksiyon sırasında oluşan $NaOH$ ' ı nötralize etmek üzere asit gereklidir. pH < 2' de reaksiyon ani ve hızlı bir şekilde meydana gelir [8]:



Yapılan bir uygulamada krom (+6) konsantrasyonu, 8 galon/dakika'lık atıksuda $Na_2S_2O_5$ prosesi ile 0.01-0.04 mg/L'ye kadar düşürülmüştür. Başka bir arıtma tesisinde $Na_2S_2O_5$ kullanımı ile 31.4 mg/L krom içeren 3600 galon/dakika'lık soğutma atıksularında krom (+6) konsantrasyonu çıkış suyunda 0.5 mg/L'ye kadar düşürülmüştür. Bu sistemde reaksiyon pH=2' de gerçekleşmiş ve kullanılan $Na_2S_2O_5$ miktarı 4.2 lb/lb krom'dur [14]

Başka bir uygulamada 140 mg/L krom içeren elektrokaplama atıksularında $NaHSO_3$ kullanılarak çıkış suyundaki krom (+6) konsantrasyonu, 0.7-1.0 mg/L' ye kadar düşürülmüştür. Ancak daha sonraki dönemlerde korozyon ve koku tehlikesinden

dolayı NaHSO_3 yerine SO_2 (SO_2 kullanılmasının da SO_2 gaz sızıntısından dolayı sağlık problemlerine neden olduğu bilinmektedir) kullanılmaya başlanmıştır. Diğer bir uygulamada 688 mg/L krom (+6) içeren atıksuda, NaHSO_3 kullanılarak (pH=2.0'da ve ORP=250-280 mV'da redüksiyon yapılmış) çıkış suyundaki krom (+6) konsantrasyonu 0.1 mg/L' nin altına düşürülmüştür [14].

Sodyum sülfid pH 8.0'de çok düşük bir reaksiyon kinetiği vermiştir ancak gaz fazını önlemek için sodyum sülfidin nötr pH 'ın üzerinde pH'a ihtiyacı olduğundan, bu sistemle ancak 10 günlük reaksiyon süresinden sonra, kromat konsantrasyonunun 1.0 mg/L'nin altına düşürülmesi mümkün olabilmektedir [14].

Krom redüksiyonu için sodyum hidrosülfid de kullanılmaktadır fakat bu kimyasal hava ile temas ettiğinde bozulduğundan günlük olarak hazırlanması gerekmektedir [14].

Pekçok tesiste iki basamaklı krom redüksiyon işlemi kullanılmaktadır. İlk kademedeki kükürt dioksit, sodyum bisülfid veya metabisülfid kullanılır. Bunu ileri arıtma (polishing) kademesi izler. Burada genellikle NaOH gibi bazik bir kimyasalla birleştirilmiş hidrazin kullanılır. Hidrazin aynı zamanda krom (+3)' ü çöktürmeyi de sağlar. Böyle bir uygulamada birinci kademedeki pH 2.5-4.5'da kullanılan sodyum bisülfid, 1.000-2500 mg/L ve ikinci kademedeki kullanılan hidrazin, 50-200 mg/L'dir. Bu sistemde kromat derişimi 8-20 mg/L'den 0.1 mg/L'ye azaltılmıştır [14]. Hidrazinin çöktürme verimliliğinin yüksek olmasına rağmen kanserojen bir kimyasal olması nedeniyle son yıllarda kullanımını oldukça azalmıştır.

3.5. Kimyasal Çöktürme

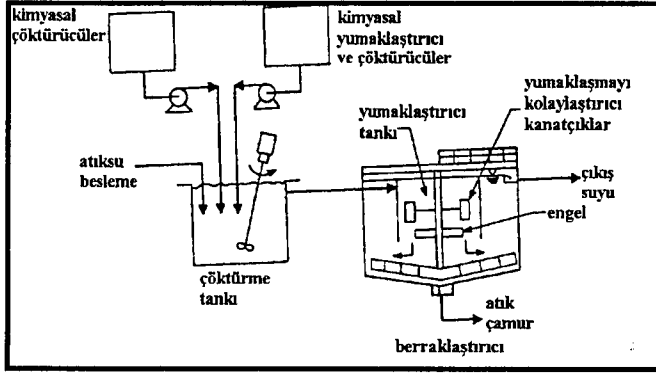
Kimyasal çöktürme; çözülmüş haldeki bir kirleticinin, kimyasal reaksiyonlarla ya da içinde bulunduğu çözücünün kompozisyonundaki değişikliklerle çözünürlüğünü azaltarak çözünemez forma getirilmesini amaçlayan bir işlemdir. Çöktürme, içme suyu arıtımında sularındaki kalsiyum ve magnezyum sertliğini gidermek için kullanılır. Tehlikeli endüstriyel atıksuların arıtımında ise metal hazırlama, metal yüzeyi işleme, demir dışı metal ve çelik endüstrileri, elektrik-elektronik endüstrilerinden kaynaklanan; arsenik, baryum, bakır, kadmiyum, krom, kurşun, gümüş, nikel, selenyum, civa, talyum ve çinko gibi ağır metalleri çöktürmek; ayrıca demir-çelik endüstrilerinde çelik son işlem operasyonlarından kaynaklanan korozif atıkları ve pikle sıvılarını arıtmak üzere kullanılır [12].

3.5.1. Kimyasal çöktürme prosesleri

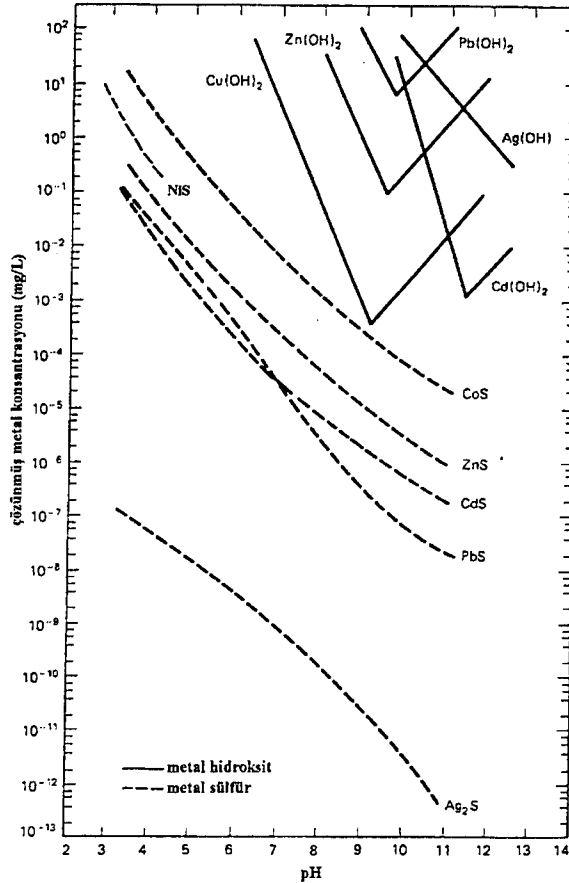
Şekil 3.9' da gösterildiği gibi kimyasal çöktürme proseslerinde, çöktürme tankındaki atıksuya kimyasal çöktürücü ilave edilir ve bir karıştırıcı vasıtasıyla karıştırılır. Çöktürücü ve metal bileşikleri arasındaki kimyasal reaksiyonlarla metaller çözünemez forma dönüştürülür. Meydana gelen süspanse katılar bir tankta çöktürme vasıtasıyla sudan ayrılır. Bu işlemde, giderme verimini artırmak amacıyla bir kimyasal flokulant ilave etmek suretiyle flokulasyon işlemi de yapılabilir. Flokulasyon vasıtasıyla, çöken katı maddeler, daha büyük yumaklar haline gelecek ve daha kolay çökecektir.

Kimyasal çöktürme işleminde, sistemin giderme verimini etkileyen en önemli parametre pH' dır. Çünkü, kimyasal reaksiyonların temeli pH ayarlamak suretiyle, metallerin çözünebilirliğinin en az olduğu optimum pH' ın sağlanması esasına dayanır (Bkz. Şekil 3.10). Bu şekilde, minimum çözünürlüğün olduğu nokta optimum

pH'ı verir. Optimum pH, herbir metalin giderimi için farklı bir değerdir. Bir metalin çözünürlüğünü minimize eden pH, diğer metal için yüksek bir değer olabilir. Genellikle tüm durumlarda 9-11 arasında olan pH'ın seçimi, jar testleriyle ya da operasyon deneyimlerinden yararlanarak yapılabilir. Farklı ve birden fazla metal içeren atıksular için, değişik pH' larda birden fazla çöktürme yapmak, tüm metalleri istenen değerlere çekebilir [15].



Şekil 3.9. Kimyasal çöktürme prosesinin akış diyagramı [11]



Şekil 3.10. Metal hidroksit ve sülfürlerin çözünürlük pH' ları [15]

Ayrıca, proseste kullanılan çöktürücünün türü, miktarı, reaksiyon süresi ve karıştırma hızı kimyasal çöktürmede etken olan diğer parametrelerdir.

Çöktürme işlemi için değişik kimyasal çöktürücüler etkin olarak kullanılabilir. Çöktürmeyi metalin hidroksitleri, sülfidleri, karbonatları ve borohidritleri şeklinde yapmak mümkün olmakla birlikte, yaygın olarak metalleri hidroksitleri veya sülfidleri şeklinde çöktürme prosesleri kullanılmaktadır. Çöktürmede yaygın olarak kullanılan kimyasallar; sönmüş kireç (CaOH₂), kostik (NaOH), karbonat (CaCO₃), sodyum karbonat (Na₂CO₃), sülfid (NaHS ve Fe₂S) ve sodyum borohidrittir (NaBH₄). Çizelge 3.4.' de bazı metallerin giderimi için kullanılan kimyasallar ve buna bağlı olarak artırılmış sudaki metal konsantrasyonları verilmiştir [10].

Çizelge 3.4. Kimyasal çöktürmede kullanılan çöktürücüler ve arıtım sonrası sudaki metal konsantrasyonları [10]

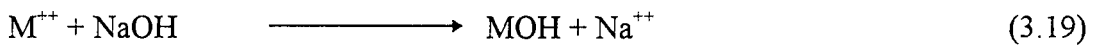
Parametre	Çıkış konsantrasyonu (ppm)	Çöktürücü türü
Kadmiyum	0.3	Soda
Krom	0.5	Kostik, kireç
Bakır	0.5	Kostik, kireç
Demir	1.0	Kostik, kireç
Nikel	0.5	Soda
Çinko	0.5	Kostik, kireç

3.5.2. Çöktürme için kullanılan kimyasallar

Hidroksit Çöktürmesi

Hidroksit çöktürmesi, metallerin metal hidroksitler halinde çöktürülmesini sağlamak üzere, kireç ve kostiğin çöktürücü olarak kullanıldığı kimyasal çöktürme yöntemidir.

Metallerin kireç ve kostikle reaksiyonları ve hidroksitler halinde çökmesi aşağıdaki reaksiyonlar uyarınca gerçekleşir [11]:



Metal hidroksitlerin çıkış konsantrasyon seviyeleri, mevcut metallere, kullanılan çöktürücünün miktarına, reaksiyon şartlarına (özellikle pH) ve çökelmeyi engelleyebilecek diğer maddelerin varlığına bağlı olarak değişir. Atıksudaki metal konsantrasyonları kireç veya kostik kullanılarak 1.0 mg/L altına, bazen 0.1 mg/L altına dahi düşürülebilir.

Hidroksit iyon kaynağı olarak kullanılan kireç ve kostik, bir endüstriyel atıksu arıtma sistemi tasarlanırken kimyasalın seçiminde tasarım mühendisi tarafından gözönünde bulundurulması gereken birçok farklar içerir. Maliyet açısından kostik, kirece kıyasla daha pahalı olmasına rağmen; hazırlama, sisteme besleme, depolama, pompalama ekipmanları açısından birçok kolaylıklara sahiptir. Kireç, kullanılmadan

önce mutlaka söndürülmeli, çözelti haline getirilmeli ve sürekli karıştırılan bir tank içerisinde depolanmalıdır. Ayrıca, kireç besleme hatlarında ve valflerde tortu bırakarak, tıkanmaya sebep olabileceğinden, sistem bir yıkama hattına da sahip olmalıdır. Tıkanmaları minimize etmek üzere, kısa besleme hatları ve kısa kaç vanalar kullanılabilir. Tüm bu gereksinimlerden dolayı, kireç hazırlama ve besleme sisteminin maliyeti oldukça fazladır [16].

Kirecin besleme sistemindeki yüksek maliyeti, kostiğin çıkış suyundan katıları ayırma ve çamurun suyunu azaltma sistemlerinin maliyetleriyle dengelenir. Kostikle çöktürülen katılar sudan, kireç çamurları kadar kolay ayrılamaz. Diğer bir yandan kimyasal çöktürme sonucunda oluşan çamur da bir atık niteliği taşıdığından, kireç fazla çamur oluşturma özelliği nedeniyle kostiğe göre dezavantaja sahiptir (Bkz. Çizelge 3.5) [15].

Endüstriyel atıksu arıtımında kimyasal çöktürme sistemleri tasarlanırken kullanılacak kimyasal seçiminde yukarıda sayılan şartlar gözönünde bulundurularak kullanım, bakım kolaylığı ve maliyet açısından en fizibil olan kimyasal seçilmelidir.

Çizelge 3.5. Kireç ve kostik çöktürmesinin avantajları ve dezavantajları [15]

ÇÖKTÜRÜCÜ TÜRÜ		
	KİREÇ	KOSTİK
AVANTAJLARI	<ul style="list-style-type: none"> • Kimyasal maliyeti düşük • Çöktürülebilir ve filtre edilebilir çözelti miktarı fazla • Çevre dostu 	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktifliği yüksek • Hazırlanması kolay
DEZAVANTAJLARI	<ul style="list-style-type: none"> • Hazırlanması zor • Besleme ekipman maliyeti yüksek • Bakım maliyeti yüksek • Oluşan çamur miktarı fazla 	<ul style="list-style-type: none"> • Kimyasal maliyeti yüksek • Çöktürülebilir ve filtre edilebilir çökelti miktarı az • Klarifikasyon ve su azaltma maliyeti yüksek • Çıkış konsantrasyonunda daha fazla çözülmüş katı • Korozif bir kimyasal

Sülfür Çöktürmesi

Hidroksit çöktürmesine bir alternatif olan sülfür çöktürmesi birçok potansiyel avantaja sahiptir. Proses aşağıdaki reaksiyonda görüldüğü gibi, bir sülfür radikali ile bir ağır metal iyonunun kombinasyonunu içerir [15].



Sülfür radikali olarak, sodyum sülfid (Na_2S), sodyum hidrosülfid ($NaHS$) gibi çözünebilir ve demir sülfat gibi daha az çözünebilir sülfür kaynakları kullanılabilir [15].

Çizelge 3.6.' de de görüldüğü gibi metal sülfürlerin çözünürlüğü metal hidroksitlere kıyasla daha düşüktür [10]. Bu sebepten dolayı, metal sülfürlerin optimum

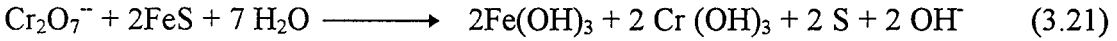
pH aralığının ayarlanması daha kolay olacaktır ve daha az kimyasal kullanımı gerektirecektir [13].

Çizelge 3.6. Metallerin hidroksit ve sülfürlerinin pH 8.0' de çözünürlüklerinin karşılaştırılması [15]

Metal	Çözünürlük (mg/L)		
	Hidroksit	Sülfür	Çözünürlük farkı büyüklüğü*
Demir	$2.2 \cdot 10^{-15}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	-10.79
Nikel	$1.2 \cdot 10^{-2}$	$3.3 \cdot 10^{-5}$	+2.55
Çinko	$2.8 \cdot 10^{-1}$	$1.0 \cdot 10^{-6}$	+5.92
Kadmiyum	$2.8 \cdot 10^3$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	+11.46
Kalay	$1.7 \cdot 10^{-11}$	$3.8 \cdot 10^{-8}$	-3.34
Kurşun	$2.5 \cdot 10^2$	$5.8 \cdot 10^{-9}$	+6.44
Bakır	$1.4 \cdot 10^{-3}$	$1.6 \cdot 10^{-13}$	+9.96
Civa	$6.0 \cdot 10^{-9}$	$1.3 \cdot 10^{-21}$	+12.66
Gümüş	$2.2 \cdot 10^3$	$5.4 \cdot 10^{-12}$	+20.62

*Pozitif büyüklük sülfür tuzları çözünürlüğünün hidroksit tuzlarının çözünürlüğünden daha düşük gösterir.

Sülfür çöktürmesinin en büyük avantajı, atıksulardan krom gideriminde, krom (+6)'nın krom (+3) olarak indirgenmesi ve krom (+3)'ün çöktürülmesi işlemlerinin aşağıdaki reaksiyonda verildiği gibi tek bir adımda gerçekleştirilebilmesidir. Böylelikle, krom arıtımında bir sülfür radikali kullanıldığında ilave bir indirgeme kimyasalına ve sistemine gerek kalmayacaktır [15].



Bu çöktürmenin bir dezavantajı, potansiyel toksik hidrojen sülfürün oluşmasıdır. Hidrojen sülfürün oluşmasını önlemek için pH'ın 8'in üzerinde korunması gerekir. Ancak yine de, alkali pH'a rağmen sülfür tuzunun suya eklenmesiyle oluşan hızlı hidrolizler, hidrojen sülfürün çıkmasına neden olabilir. Bu tehlikeyi önlemek için, sülfür tuzunu kapalı bir sistemde, yeterli havalandırma yaparak kullanmak gerekir. İkinci bir dezavantajı ise çıkış suyunda fazla sülfid oluşturmasıdır. Aşırı bir sülfür, reaksiyonun tamamlanması için gereklidir, fakat serbest sülfür miktarı (0.5 mg/L civarında olmalı) özel iyon seçici elektrot ile ölçülerek sülfür dozajının dikkatlice kontrol edilmesi gerekir [15].

Sülfür çöktürmesinde kullanılan kimyasalların maliyeti yüksek ve oluşan çamur miktarı da oldukça fazladır [10].

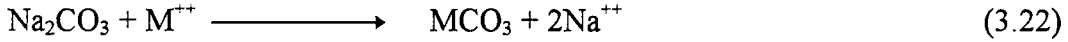
Sülfür çöktürmesinin dezavantajlarına en az sahip olan demir sülfür, diğer ağır metalleri çöktürmek için yeterli çözünürlükte, serbest sülfürü çok düşük konsantrasyonlarda tutacak kadar da az çözünürlükte olan, bu sebepten dolayı hidrojen sülfür ve çıkış suyundaki sülfür problemlerini önleyen bir çöktürücüdür.

Karbonat Çöktürmesi

Karbonat çöktürmesi, tüm metaller için etkin olmamasına rağmen, kurşun ve kadmiyum gibi metaller için daha düşük pH'larda etkinlik göstermesi ve oluşan

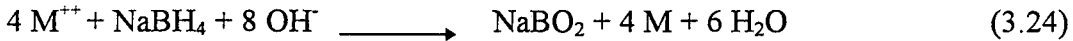
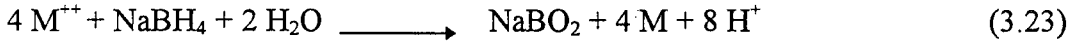
çamurun daha kolay filtre edilebilir olmasından dolayı hidroksit çöktürmesi yerine tercih edilebilir. Kurşun ve kadmiyum hidroksit ile pH'ın 10' dan ve daha büyük değerlerinde çökerken, karbonatla gerçekleştirilen çöktürmede optimum pH aralığı 7.5-8.5'dur. Patterson (1973) tarafından gerçekleştirilen deneyler, nikel ve çinko için karbonat çöktürmesinin, çıkış suyu kalitesinde, işletme pH'ında ve çamur özelliklerinde hidroksit çöktürmesinin üstünde bir iyileştirme sağladığını göstermektedir [15].

Metallerin sodyum karbonat (Na_2CO_3) vasıtasıyla çöktürülmesi aşağıdaki reaksiyonla gösterilir [15]:



Sodyum Borohidrit Çöktürmesi

Sodyum borohidrit, çözünebilir formdaki metalleri, çözünemez element metal formuna dönüştürmek üzere, kimyasal çöktürme proseslerinde kullanılabilir. İki değerlikli bir metal için pH' a bağlı olarak gerçekleşen çökeltme reaksiyonları aşağıdaki gibidir [15]:



Borohidritin etkin kullanımı için optimum pH aralığı 8-11' dir. pH= 8'in altında, borohidrit hidrolizinin bir sonucu olarak sodyum borohidrit tüketimi artarken, pH= 11' in üzerinde, reaksiyon hızı azalır. Optimum pH; kullanılacak borohidrit miktarı, reaksiyon süresi ve çıkış suyu kalitesi parametreleri gözönünde bulundurularak yapılacak deneyler sonucunda belirlenir.

Sodyum borohidrit, özellikle kurşun, civa, nikel, bakır, kadmiyum, altın, gümüş ve platinyum gibi metallerin çöktürülmesinde etkin olarak kullanılabilir. Piyasada toz ya da kostik soda içerisinde stabilize çözelti şeklinde bulunan sodyum borohidrit ile, kireç çöktürmesine kıyasla % 50 daha az çamur hacimleri elde edilir [15].

3.5.3. Jar Testi

Jar testi, atıksu veya içme sularının kimyasal yöntemlerle arıtımı için gerekli pıhtılaştırıcı madde türü ile optimum dozunu ve çöktürme için en uygun pH değerini belirlemeye yarayan deneysel bir işlemdir. Özellikle kimyasal pıhtılaştırma (koagülasyon), yumaklaştırma (flokülasyon) ve çöktürme yöntemlerinin kullanıldığı atıksu ve içme sularında yaygın olarak kullanılır. Bu test ile, arıtma tesisine gelen aynı karakterdeki atıksu için optimum arıtma koşulları belirlenir ancak, atıksu karakterizasyonunda değişim olması durumunda, Jar testlerinin tekrarlanıp, optimum koşulların yeniden belirlenmesi gerekir [8].

Bu test için, sayıları 4-6 arasında değişen 1 litrelik beherler ve hızı ayarlanabilen aynı sayıda karıştırıcıdan oluşan Jar Test Sistemi kullanılır. Arıtma verimi için yalnızca çökeltme özelliklerinin dikkate alındığı durumda, ham suyun pH'ı ve bulanıklığının ölçülmesi yeterli olur. Diğer kirletici bileşenlerin (KOI, BOI, AKM, anyonlar, katyonlar vb.) giderilme verimlerinin spesifik olarak belirlenmesinin istendiği durumlarda pH ve

bulanıklığa ek olarak ham suyun KOI'si ve giderilmek istenen kirletici bileşenlerin konsantrasyonları da ölçülür.

Beherlerin herbirine birer litre numune konur. Seçilen kimyasal çöktürücünün (alüm, demir tuzları, kireç vb.) çeşitli dozları hazırlanır. Kimyasal çöktürücü herbir behere ayrı ayrı, ani olarak ilave edilir ve hızlı bir şekilde karıştırılır. Karıştırma hızı 200-300 RPM ve karıştırma süresi 15sn-5dk arasında olmalıdır. Bu süre genelde 1-2 dk arasında seçilir. Eğer bir yumaklaştırıcı ilavesi yapılacaksa bu, hızlı karıştırmadan sonra, yavaş karıştırma sırasında yapılmalıdır. Daha sonra yavaş karıştırma işlemine başlanır. Yavaş karıştırmanın amacı flokleşmeyi sağlamaktır. Bu işlemde karıştırma hızı 100-120 RPM ve karıştırma süresi 30-60 dk arasında seçilir. Yavaş karıştırma periyodu sonunda oluşan flokların, büyük bir kısmı çökünceye dek (genelde 30 dk süre ile) beklemeye bırakılır. Bu süre sona erdiğinde, beherde üstte kalan arıtılmış suyun bulanıklığı ve pH'ı ölçülür ve gerekirse diğer kimyasal parametrelerin analizleri gerçekleştirilir [8].

Yapılan deneysel çalışmada kirletici bileşenlerin giderilme verimleri de dikkate alınmıyorsa, arıtılmış su numunesinde ham suda olduğu gibi KOI ve diğer kirletici bileşenlerin konsantrasyonlarına bakılır. Ham su ve arıtılmış suyun deneysel verilerinden yararlanarak her bir parametre için giderme verimleri hesaplanır. En iyi arıtma verimini veren , en uygun yumaklaşma ve çökeltme özelliklerini sağlayan kimyasal madde dozu optimum pıhtılaştırıcı dozu ve en iyi arıtmanın sağlandığı pH , optimum pH olarak belirlenir.

3.5.4. Kimyasal çöktürme ile nikel giderimi

Nikel içeren atıksuların en yaygın kaynağı kaplama işlemleri olmakla birlikte, özellikle gümüş rafinerileri, motor ve uçak sanayi, çelik işleme tesisleri de nikel içeren bu tür atıksulara kaynak oluşturur. Ayrıca, bakır ve pirinç kaplama/işleme endüstrileri, nikel sülfat ve bakır sülfat imalatından kaynaklanan atıksularda da nikel konsantrasyonlarına raslanır. Genellikle, bakır/pirinç kaplama endüstrileri atıksularında nikel derişimi 5 mg/L civarında iken nikel sülfat imalatı atıksuyunda 122 mg/L, bakır sülfat imalatı atıksuyunda ise 159 mg/L civarındadır [14].

Nikel alaşımlarının ve delme, aşındırma işlemlerinde kullanılan kimyasalların (sülfürik, nitrik, hidroklorik, hidroflorik asitler ve bazlar) çeşitliliği nikel içeren atıksuların arıtımında zorluklara sebep olur. Asit ve sülfomat nikel kaplama banyolarının içerikleri 40 000-90 000 mg nikel/kg iken, elektroliz proses banyoları 7500 mg nikel/kg' dır. Yıkama atıksuları nikel banyolarının karakteristiklerini az çok yansıtır ve genellikle kaplamayıkama suları yaklaşık % 1 oranında kaplama banyosu konsantrasyonu içerir [14].

Nikel, atıksularda çoğunlukla çözünebilir iyon halinde bulunur. Birincil nikel arıtımında amaç, nikel iyonlarını, kimyasal çöktürücü ilavesiyle çözünebilir formdan, çözünebilir hale dönüştürmek ve ardından çöktürme yoluyla nikeli sudan ayırmaktır. Çöktürme işleminde karbonat, sülfür ve kireç kullanımı en yaygın yöntemlerdir. Çizelge 3.7' da nikelin çöktürme yoluyla arıtımındaki etkisi verilen pH, arıtımda kontrol edilmesi gereken en önemli parametredir [14].

Çizelge 3.7. pH' ın nikel arıtılabilirliğine etkisi [14].

Nikel konsantrasyonu (mg/L)						
Deney No Arıtma pH	1	2	3	4	5	6
6.0	-	93.0	-	-	-	-
7.0	-	77.0	7.4	16.2	-	0.85
7.3-7.5	83.0	-	-	-	-	0.65
8.0	-	47.7	6.7	10.0	4.13	0.47
8.4-8.5	75.0	-	-	-	3.74	0.25
9.0	69.0	-	-	-	2.48	0.13
10.0	-	0.2	1.60	0.70	2.58	0.12
11.0	0.40	0.12	-	-	4.13	0.12
11.6-12.0	0.09	-	-	-	-	0.10

Giriş suları nikel derişimleri :

- 1.Sentetik atıksu nikel derişimi : 96 mg/L
- 2.Kaplama yıkama atıksuyu nikel derişimi : 110 mg/L
- 3.Bakır sülfat üretimi atıksuyu (Kostikle işlem görmüş) nikel derişimi : 22 mg/L
4. Bakır sülfat üretimi atıksuyu (Kireçle işlem görmüş)
- 5.Klor-alkali atıksuyu
- 6.Titanyum dioksit atıksuyu nikel derişimi : 1.3 mg/L

Çizelge 3.7' de görüldüğü gibi en etkin arıtma pH=11 ve üzerinde gerçekleşir. Ancak, atıksu karakterizasyonunun nikel çözünürlüğünü etkilemesi durumunda yüksek pH' da daha düşük arıtma verimi elde edilir.

Çizelge 3.8 'de değişik endüstriyel atıksularda kimyasal çöktürme ile nikel arıtılabilirlik çalışmaları ile ilgili sonuçlar ve arıtım verimine arıtma pH' ının etkisi görülmektedir. [14].

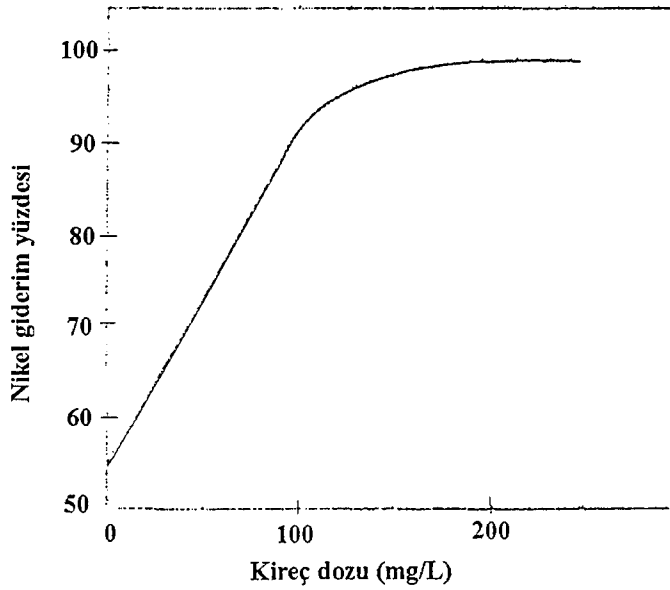
Nikelin kimyasal yöntemle çöktürülmesinde pH kontrolü kireç ya da kostikle yapılır. Kantawala ve Thomson (1964), 100 mg/L nikel içeren atıksuda gerçekleştirdikleri arıtılabilirlik çalışmasında pH 9.9' da 250 mg/L kireç ilavesiyle nikel hidroksitleri çöktürmüşler ve çıkış nikel konsantrasyonunu 1.5 mg/L' ye düşürmüşlerdir. Yaptıkları çalışma sonrasında Şekil 3.11' de verilen nikel giderim yüzdesi ve kireç dozu arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmışlardır.

Bakır sülfat ve nikel sülfat üretim tesisleri atıksuyunda gerçekleştirilen arıtılabilirlik çalışmasında ise kireç ve kostik kullanılarak iki kimyasalın çöktürme verimlilikleri arasında kıyaslama yapılmış ve kirecin daha verimli olduğu görülmüştür. Bu olayda etken faktör olarak ise kalsiyum karbonatın nikel çöktürme kapasitesinin, kalsiyum hidroksite göre daha fazla olduğu ifade edilmiştir(Bkz.Çizelge 3.9) [14]

Sonuçları Çizelge 3.10' da verilen bir çalışmada ise üç ayrı elektrokaplama atıksuyu kireçle (hidroksit çöktürmesi için optimal pH'ın altında) ve kireç ile sülfür birlikte kullanılarak arıtılmış ve pH=9' un üzerinde sülfid ilavesinin arıtımı iyileştirdiği ve orta bir pH' da (6-8) sülfür ilavesinin iyi bir sonuç vermediği görülmüştür.

Çizelge 3.8. Farklı tür endüstriyel atıksularda nikel arıtılabilirlik çalışmaları ile ilgili verilen sonuçlar [14]

Atıksu kaynağı	Arıtma pH'ı	Nikel konsantrasyonu (mg/L)	
		Giriş suyu	Çıkış suyu
Kaplama atıksuları	-	46	0.8
	8.8	5.6	0.6
	-	7.7	2.5
Karışık kaplama atıksuları	5.5-10.1	16.3	1.0
	9.4-10.2	5.7	2.5
	8.5	35	1.0
	10.0	35	0.04
Sofra eşyaları kaplama	-	21	0.09-1.9
Elektroliz kaplama	12.0-12.5	85-140	0.5
	11.6-12.0	51.9	0.1
Çelik pikle yıkama suyu	-	5-10	2.0
Paslanmaz çelik pikle yıkama suyu	8.5-9.2	9.5	< 0.1
Demir dışı metal işleme	8.5-9.0	-	0.05-0.13
	8.1	-	15
Küçük alet imalatı	-	35	0.4
Ofis makineleri imalatı	-	39	0.47
Otomatik pikap imalatı	-	-	0.1-0.2
Karışık kazan atıkları	8.2-8.6	15-30	< 0.1
	11.2-11.8	15-30	< 0.1
Bakır sülfat imalatı	-	159	< 0.5
Nikel sülfat imalatı	10.2	12.2	3.0



Şekil 3.11. Nikelin kimyasal yolla çöktürülme etkinliğinin kireç dozajına bağlı değişimi [14]

Çizelge 3.9. Bakır ve nikel sülfat atıksuyunda kireç ve kostikle arıtılabilirlik çalışmaları ile ilgili veriler[14]

Parametre	Bakır sülfat		Nikel sülfat		Nikel sülfat	
	Kireç	Kostik	Kireç	Kostik	Kireç	Kostik
Aritma pH'ı	9.7-10.4	9.6-10.5	10.0	10.0	10.0-10.5	10.5-10.7
Giriş nikel (mg/L)	34.5	35.3	1676	1860	15.0	14.0
Durultucu çıkışı (mg/L)	0.17	0.25	2.11	2.92	1.60	2.27
Filtre çıkışı (mg/L)	< 0.11	< 0.14	1.84	279	< 0.05	0.13

Çizelge 3.10. Elektrokaplama atıksularında kireç ve sülfürle yapılan arıtımın karşılaştırılması [14]

Parametre	Atıksu		
	A	B	C
Aritma pH'ı	8.5	8.75	9.0
Giriş suyunda nikel derişimi (mg/L)	119.0	99.0	3.2
Kireçle arıtım			
Durultucu çıkışında suda nikel derişimi (mg/L)	12.0	16.0	0.47
Filtre çıkışında suda nikel derişimi (mg/L)	9.4	12.0	0.07
Kireç + sülfür			
Durultucu çıkışında suda nikel derişimi (mg/L)	11.0	7.0	0.35

Mc Anally (1984), yaptığı çalışmada, pH=9.5'dan yüksek olduğu koşullarda nikel karbonata karşı, nikel sülfidin etkinliğini ve ekonomikliğini araştırmıştır. pH=9' un altında her iki çöktürücü de etkin bir azaltım sağlayamamış, yüksek pH' da ise nikel konsantrasyonu 110 mg/L' den 0.5 mg/L'ye düşürülmüştür. Sonuçları Çizelge 3.12' de verilen bu çalışmada, nikel karbonat ile nikel sülfürün aynı etkinlikte olduğunu, fakat karbonatla çöktürme maliyetinin daha düşük olduğunu kanıtlamıştır. [14].

Çizelge 3.11. Arıtılmış sudaki nikel konsantrasyonunu 0.5mg /L' nin altına indirebilmek üzere kullanılan karbonat ve sülfür çöktürmesinin maliyet açısından kıyaslanması[14]

Kimyasal maliyeti (US \$ /100 000 Galon*)	Karbonat (mg/L CaCO ₃)	Sülfür (mg/L)	Aritma pH'ı	Çıkış suyunda nikel derişimi (mg/L)
33.07	22	0	10.0	0.47
47.09	110	0	10.0	0.34
49.57	100	0	11.0	0.20
289.96	0	77	10.0	0.20
364.36	0	.99	10.0	0.09
437.73	0	121	9.5	0.48

- 1 US Galon= 3.785 L

3.5.5. Kimyasal çöktürme ile krom giderimi

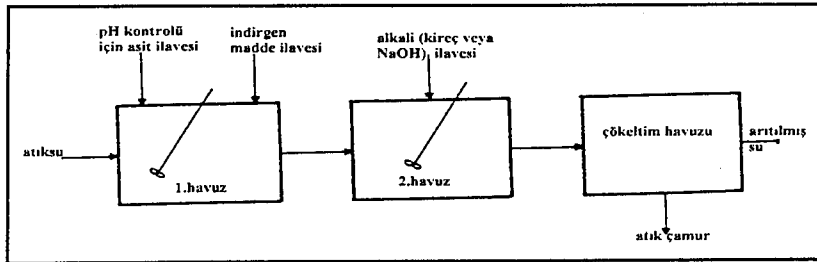
Kromun (+6) değerlikli formda iken hidroksitler şeklinde çöktürülmesi mümkün olamayacağından öncelikle (+3) değerliğe indirgenmesi gerekir. Krom bileşiklerinin krom (+6) formunda kaynaklandığı endüstriler ve kimyasal redüksiyon işlemi ile krom +3'e indirgenmesi Bölüm 3.4.'de verilmişti.

Cam, seramik, fotoğraf, inorganik pigment, tekstil ve yapıştırıcı imal eden endüstrilerden kaynaklanan atıksularda bulunan krom (+3) formundadır. Ayrıca, metal yüzeyi işleme endüstrilerinin atıksularında çok miktarda krom (+6) bulunabildiği gibi, bir miktar krom (+3) de bulunabilir.(Bkz.Çizelge 3.12.)

Çizelge 3.12. Bazı endüstriyel atıksuların krom (+3) ve toplam krom derişim seviyeleri [14]

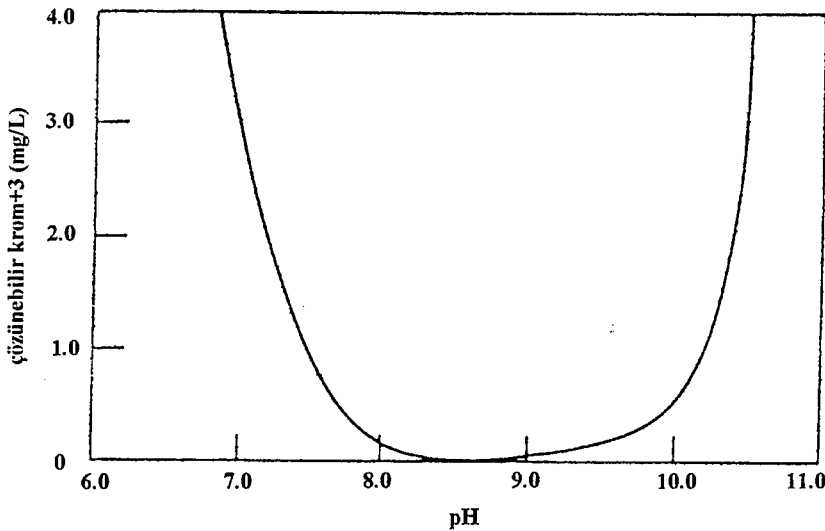
Atıksu kaynağı	Krom +3 (mg/L)	Toplam krom (mg/L)
Dekoratif metalik eşya üretim tesisi	7.25	16
Soğutma kulesi proses suyu	60	250
Koyun derisi tabakhane	15-60	15-60
Tabakhane	42	42
Tabakhane	47-52	47-52
Çelik imalathane	5-10	5-10
Paslanmaz çelik asit	3.5	3.6
Metal kaplama	10.2	11.8
Elektronik devre kartları kromlu yıkama suları	32	105
Alüminyum anot kaplama	28	164
Boyahane atıkları	300	600
Kullanılmış aşındırıcılar	7000-45000	22 200-87 000
Piston halka kaplama	0.14-4.7	0.16-4.7
Kömür yıkama suları	0.42	0.42
Titanyum dioksit imalatı	50	50
Sodyum dikromat imalatı	240	800
	10	1500

Akım şeması Şekil 3.12' de verilen, krom(+3)'ün çözünebilir kromik hidroksitler ($Cr(OH)_3$) şeklinde çöktürülmesi, atıksulardan krom giderilmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir [16]



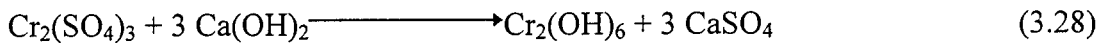
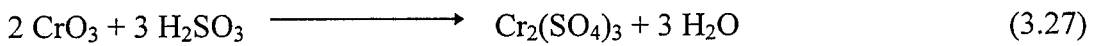
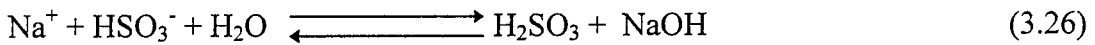
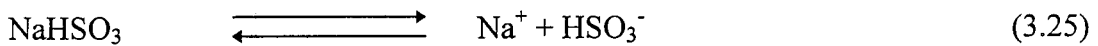
Şekil 3.12. Metal kaplama atıksularında krom arıtımı yapan bir tesisin akım şeması [16]

Krom çöktürme verimini etkileyen en önemli parametre pH' dır. Çöktürme işleminin, krom (+3)' ün en az çözünürlüğe sahip olduğu optimum pH'da gerçekleştirilmesi gerekir[10]. Şekil 3.13' de verildiği gibi en etkin pH aralığı 8.5-9.5' dur. Bu pH aralığında kromu, hidroksitler halinde çöktürebilmek üzere kireç (CaOH₂) veya kostik soda (NaOH) kullanılabilir. Bir gram üç değerlikli kromu çöktürmek üzere 2.37 gram kireç (% 90 saflıkta) ve 2.31 gram kostik sodaya ihtiyaç vardır [16].

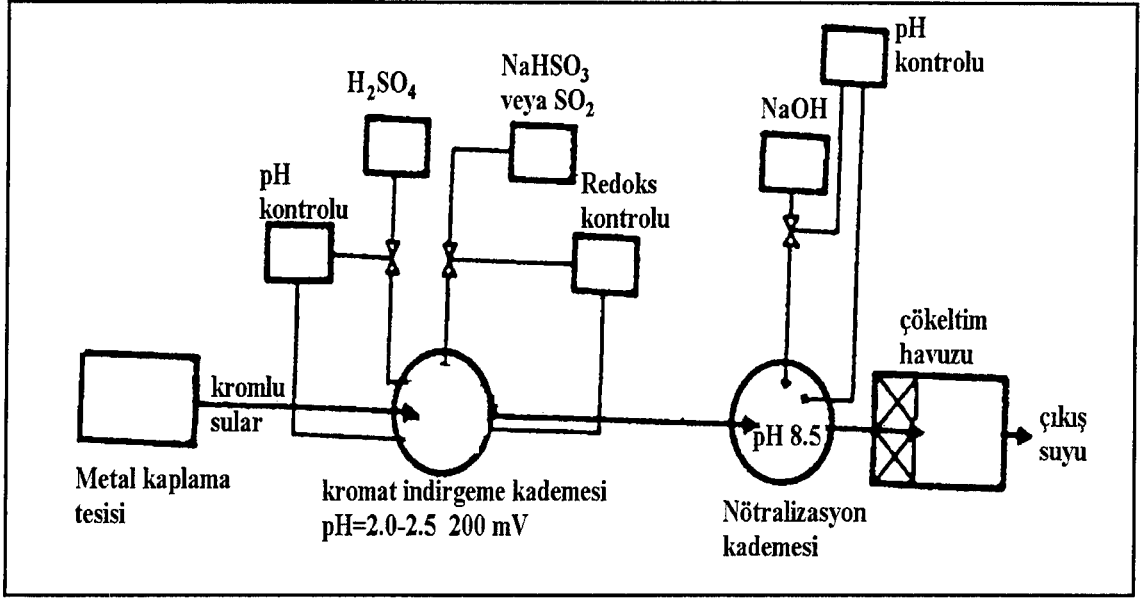


Şekil 3.13. Krom +3' ün çözünürlüğüne pH' ın etkisi [14]

Genellikle endüstriyel tesislerde, krom indirgeme ve çöktürme prosesleri Şekil 3.14' de görüldüğü gibi birarada ve arka arkaya kullanılır. Böyle bir prosesde, arıtma işlemi sırasında, aşağıda verilen reaksiyonlar gerçekleşir [16]:

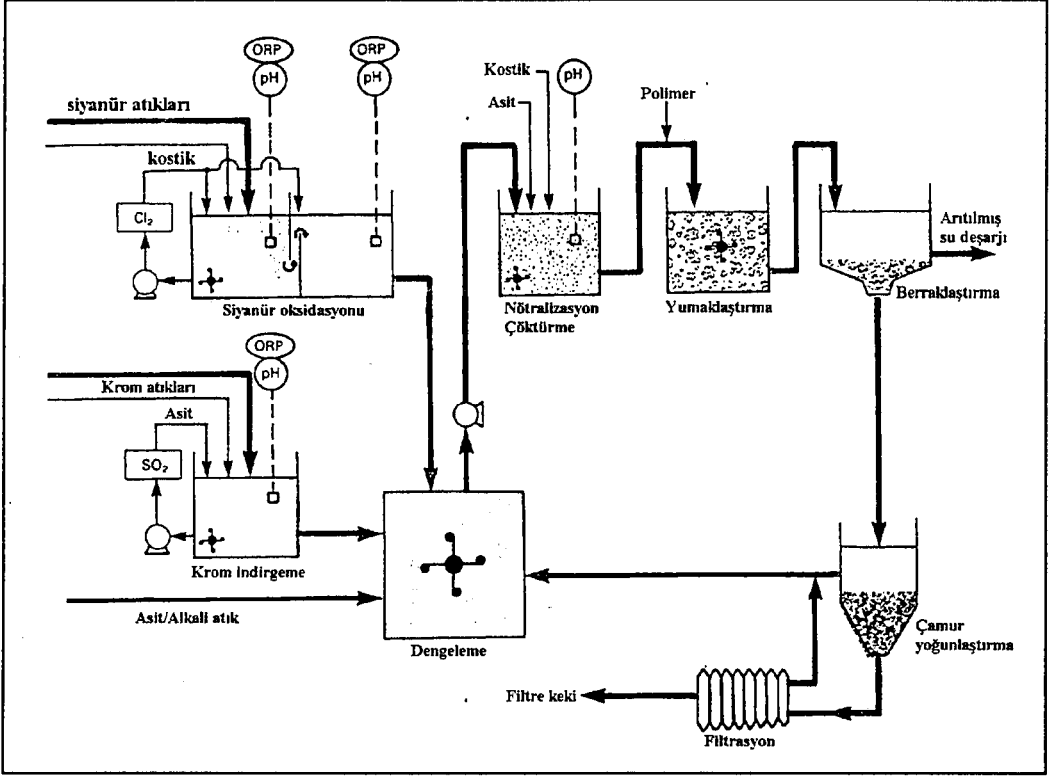


İndirgeme ve çöktürme işlemlerinin birarada uygulandığı arıtım tesislerinde 1 ppm kromu indirgemek için 16 ppm FeSO₄, 6 ppm H₂SO₄ ve çöktürmek için 9.5 ppm Ca (OH)₂ gereklidir. Ayrıca 1 ppm kromun arıtımından 2 ppm Cr(OH)₃, 0.4 ppm Fe(OH)₃ çamurları ve 2 ppm CaSO₄ oluşur [16].



Şekil 3.14. Kromat indirgeme ve çöktürme tesisi akım şeması [16]

Metal yüzeyi işleme tesislerinde (elektrokaplama tesisleri gibi), kromlu atıksuların indirgeme ve çöktürme işlemlerinin diğer ağır metal içerikli atıksuların (örneğin siyanürlü atıksular) arıtımıyla eşanlı gerçekleştirildiği geleneksel (konvensiyonel) atıksu arıtma sistemleri de mevcuttur (Bkz.Şekil 3.15). Bu tür bir sistemde endüstriden kaynaklanan kromlu ve siyanürlü atıksular ayrı ayrı tanklara gönderilir ve krom redüksiyon tankında krom (+6)' lar, krom (+3)' e indirgenirken, siyanür oksidasyon tankında, toksik siyanürlü atıksular klorinasyon ya da oksidasyon ile daha az zararlı karbon ve azot bileşiklerine okside edilir. Bu işlemlerden geçen atıksular, dengeleme tankında, asit/alkali banyolar, yıkama suları, diğer kaplama banyolarından gelen atıksularla birleştirilir. Kombine hale gelmiş atıksular, nötralizasyon tankında asit veya kostik ilavesi ile ağır metalleri, metal hidroksitler olarak çöktürmek üzere uygun pH aralığında kimyasal çöktürme işlemine, ardından da deşarj limitlerini sağlamak üzere nötralizasyon işlemine tabi tutulurlar. Metal hidroksit çamurlarını daha kolay ayırabilmek üzere, flokulasyon tankında polimer ilavesi yapılır. Ayrılan hidroksit çamurlarının mekanik yöntemlerle suyu alınır ve atık çamur depolanır. Böyle bir sistemin, tüm elektrokaplama atıksuları için etkin olduğu söylenemez. Reaksiyon süresi ve kimyasal madde dozu gibi dizayn parametrelerinin tüm kirleticileri giderebilmek üzere tasarlanması garanti edilemez. Spesifik atıksulara uygulanması durumunda arıtılabilirlik çalışmalarının tekrarlanmasına ihtiyaç duyulur [18].



Şekil 3.15. Elektrokaplama endüstrisi konvensiyonel atıksu arıtma tesisi [18]

3.6. Kimyasal Pıhtılaştırma ve Yumaklaştırma

3.6.1. Kimyasal pıhtılaştırma ve yumaklaştırma prosesleri

Pıhtılaştırma (koagülasyon) ve yumaklaştırma (flokulasyon), çevre mühendisliğinde kimyasal çöktürme, susuzlaştırma gibi temel işlemlerde yaygın olarak kullanılır. Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma, esas olarak suya kimyasal madde ilavesi ile suda bulunan askıda ve çözülmüş maddelerin yapılarını değiştirerek veya ilave edilen maddelerin oluşturduğu fiziksel etkenler yardımıyla bu maddelerin sudan uzaklaştırılmasını amaçlar. Çözülmüş maddelerin çözünmeyen türlere dönüştürülmedikçe kimyasal çöktürme ile giderilme verimleri sınırlıdır. Bu dönüşüm yapıldığında oluşan katı partiküllerin boyutları oldukça küçüktür. Bunlar, çoğunlukla kolloidal yapıdadır. Diğer taraftan suda bulunan ve basit çöktürme ile giderilemeyen askıda katı maddeler de kolloid boyutlarındadır. Bu nedenle, pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemi esas olarak sudaki kolloid maddelerin giderilmesini amaçlar [19].

Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma birbirinden farklı işlemler olup, tanımları aşağıdaki gibi yapılabilir [8]

Pıhtılaştırma: Kolloid haldeki ve askıdaki maddelerin, bazı kimyasal maddelerin ilavesi ile bir araya getirilmesi işlemidir. Bu işlem, kolloidal taneciklerin etrafındaki elektriksel çift tabakanın bastırılması ile elde edilen bir elektriksel denge destabilizasyonudur.

Yumaklaştırma: Pıhtılaşmış taneciklerin yumaklar haline gelerek büyümesi, gözle görünür ve çökebilir hale getirilmesi işlemidir. Yumaklaştırma işleminde

polielektrolitlerin ilavesi ile büyük organik polimerlerin adsorpsiyonu ve tanecik-polimer-tanecik köprüleri oluşumu gerçekleşir [8].

3.6.2. Pıhtılaştırma yumaklaştırma teorisi

Kolloidler, suda asılı halde bulunan ve boyutları 0.001-1 mikron arasında değişen taneciklerdir. Koagülasyon işlemi, kararlı haldeki bu kolloidlerin öncelikle kararlılığının bozulmasını (destabilizasyonu) amaçlar. Kolloidlerin destabilizasyonu için (a) çift tabaka sıkıştırılması, (b) adsorpsiyon ile yük nötralizasyonu, (c) çökelek içinde tutma ve (d) adsorpsiyon ile köprü kurulması olarak dört ayrı yöntem uygulanabilir

(a) Çift tabaka sıkıştırılması: Kolloid taneciklerin sahip oldukları elektrik yükü sudaki zıt yüklü iyonları çekerek bir elektrik çift tabakası oluşturur. Tanecik etrafında oluşan ilk tabaka hemen tamamen zıt yüklü iyonlardan oluşur. Bu tabakaya stern tabakası adı verilir ve bu tabaka (sabit tabaka) taneciğe tamamen bağlıdır. Stern tabakasından sonra yine zıt yüklü iyonların hakim olduğu ancak aralarında tanecik ile aynı yükte iyonların bulunduğu tabaka gelir. Bu tabakanın bir kısmı tanecik ile birlikte hareket eder. Tabakanın tanecik ile birlikte hareket eden kısmı bir kesme yüzeyi oluşturur. Kesme yüzeyindeki potansiyel, zeta potansiyeli adı verilir. Kesme yüzeyi dışında dağınık tabaka potansiyelinin sıfır olduğu noktaya kadar (izoelektrik nokta) devam eder. İki kolloid tanesi birbirine yaklaşırken çevrelerindeki dağınık tabakaların yükleri birbirini iter. Bu itme gücü (potansiyel enerji), çözeltinin iyonik gücü (toplam çözünmüş madde konsantrasyonu) arttıkça azalır. Diğer taraftan kolloid tanecikler birbirini Van Der Waals kuvvetleri ile çeker ve bu kuvvetlerin etkisi tanecikler arasındaki mesafe azaldıkça artar. Ortalama kolloidin yüküne göre ters yüklü ve kolloid ile elektrostatik etkileşim dışında başka bir etkileşimi bulunmayan bir elektrolit (pıhtılaştırıcı) ilavesi ile dağınık tabaka içinde yüksek konsantrasyonda zıt yüklü iyon sokulur ve bu tabakanın daraltılması sağlanır. Bu durumda, çekme kuvvetleri önem kazanır ve bu kuvvetlerin itme kuvvetlerini dengelediği koşulda kolloid tanecikler birleşebilir. İlave edilen elektrolitin etkisi elektrolitin yükü (iyon valansı) arttıkça artar. Çift tabaka sıkıştırılması teorik olarak çeşitli metodlar ile açıklanabilir. Buna göre destabilizasyonu için gerekli madde dozajı belirlenebilir. Ancak, su ve atıksu arıtımında ilave edilen maddelerin diğer etkileşimleri nedeniyle kullanılacak kimyasal madde dozajları ancak deneysel olarak jar testi uygulaması ile belirlenir [19].

(b) Adsorpsiyon ile yük nötralizasyonu: Suyu ilave edilen pıhtılaştırıcının etkisi, pıhtılaştırıcının su ve kolloid ile etkileşimlerine bağlıdır. Pıhtılaştırıcı, kolloid yüzeyinde adsorblanarak yükleri dengeleyebilir, ancak bu iyonların fazlası bu defa kolloidler üzerinde kolloidlerin yüklerine ters yüklerin oluşumu ile kolloidlerin tekrar stabil hale gelmesine yol açabilir [19].

(c) Çökelek içinde tutulma: Suyu demir sülfat, demir klorür, alüminyum sülfat gibi metal iyonları ilave edildiğinde bunların suyla verdiği reaksiyon sonucu hızla çökelen metal hidroksitler oluşur. Bu metal hidroksitler çökelerken kolloid tanelerini de içine

olarak sürükler. Çökelti içinde tutulma için metal hidroksitin çözünürlüğü ve ilave edilen doz ile çözeltide aşırı doygunluğun sağlanması önem taşır [19].

(d) Adsorbsiyon ile köprü kurulması: Polielektrolit adı verilen uzun zincirli organik polimerler iyonlaşmış veya aktif kısımları kolloid ile temas ettiğinde kolloid üzerine adsorplanır. Bir polimer üzerine birden fazla kolloid bağlanabilir ve böylece tanecikler bir polimer köprüsü ile bağlanırlar. Bu sırada polimerin bir kolloid üzerine sarılması ile kolloid tekrar stabil hale geçebilir [19].

(e) Yumaklaştırma: Yumaklaştırma kolloidlerin Brownian hareketi ile veya yavaş karıştırma ile gerçekleşir. Brownian hareketi ile yumaklaşma gerektirdiği sürelerinin uygun olması nedeniyle arıtma işlemleri yeterince olmaz ve dışarıdan enerji verilerek ortokinetik yumaklaşma sağlanır [19].

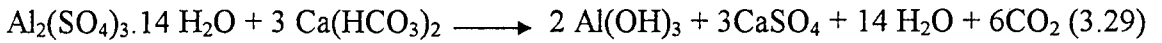
3.6.3. Proseste kullanılan pıhtılaştırıcı (koagülant) ve yumaklaştırıcı (flokulant) türleri

Su ve atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılan koagülantlar, alüminyum sülfat ve demir tuzlarıdır. Alüminyum sülfat ucuz olmasından dolayı demir tuzlarına tercih edilebilir. Demir tuzları ise daha geniş pH aralıklarında etkin olması gibi bir avantaja sahiptir. Diğer bir alternatif olan kireç soda ile yumuşatma prosesinde ise kireç, koagülant olarak kullanılırken, kalsiyum karbonat ve magnezyum hidroksitle floklaşma ve çöktürme sağlanır [20].

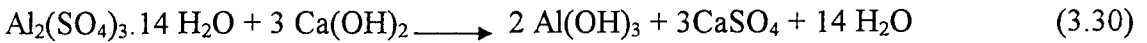
Pıhtılaştırma ve yumaklaştırmayı etkileyen temel faktörler; bulanıklık, AKM, sıcaklık, pH , katyonik ve anyonik kompozisyon ve konsantrasyon, kimyasalın türü, dozajı ve karıştırma-bekletme süresidir. Kimyasal maddenin seçimi tüm bu faktörler gözönünde bulundurularak laboratuvar deneyleri sonucunda yapılır[20].

Alüminyum Sülfat (Alüm)

Piyasada toz, granül ya da topak halinde bulunan alümün (Al_2SO_4) saf hali 14 mol su içerirken, ticari formu 18 mol kristal suyu içerir. Su içerisinde alüm ile hidroksit flokları oluşturularak yeterli alkalinite sağlanır. Flok oluşma reaksiyonları aşağıdaki şekildedir [20]



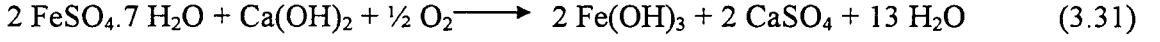
Alümle floklaşma reaksiyonlarında optimum pH aralığı 4.5-8.2 dir. Sudaki doğal alkalinite alümle reaksiyon verecek kadar yeterli olmadığından, alkaliniteyi yükseltmek üzere suya, kalsiyum hidroksit gibi bir alkali ilave etmek gerekebilir. Kalsiyum hidroksitle koagülasyon reaksiyonu da aşağıdaki şekilde gerçekleşir [20]:



Ferro (demir 2) sülfat

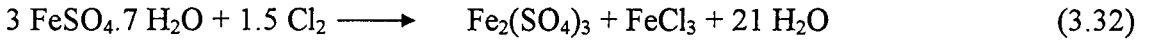
Demir 2 sülfat kuru veya çözelti halinde kullanılabilir. Kuru hali, genelde granüler haldedir ve 7 mol su içerir. Yumaklaşma sırasındaki kimyasal reaksiyonda önce

demir sülfat, demir hidroksite okside olur. Reaksiyon sırasında yeterli alkaliniteyi sağlamak üzere kireç ilave edilir. Kimyasal reaksiyon aşağıdaki şekildedir [20]:



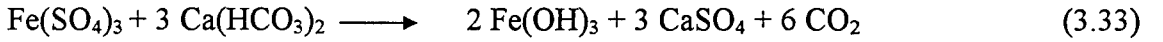
Söz konusu reaksiyon, bir oksidasyon-redüksiyon reaksiyonu olduğundan bir miktar çözülmüş O_2 gerektirir ve reaksiyonun oluşması için optimum pH 9.5 civarındadır.

Klorla demirin birlikte kullanıldığı arıtım şekli, demir 3 sülfatın kullanıldığı diğer bir yöntemdir ve reaksiyon pH=4.0 gibi daha düşük aralıklarda gerçekleşir. Demir sülfatın klorla birlikte verdiği reaksiyon aşağıdaki şekildedir [20]:



Ferri (demir 3) Sülfat

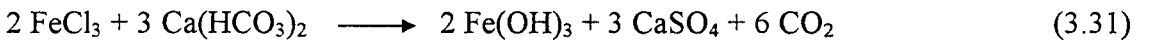
Atıksu içerisindeki doğal bikarbonat alkalinitesinde ferri sülfatın reaksiyonu da aşağıdaki gibi demir hidroksite dönüşme şeklindedir [20]:



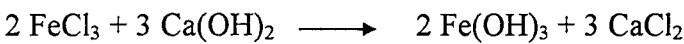
Bu reaksiyon için optimum pH aralığı 4-12' dir ve doğal alkalinitenin yetmediği durumlarda kireç kullanılabilir. Genellikle granüle ve hidrate halde bulunan demir sülfat asidik ve koroziftir.

Ferri (demir 3) Klorür:

Demir 3 klorürün doğal bikarbonat alkalinitesinde kimyasal reaksiyonu aşağıdaki şekilde demir hidroksite dönüşerek gerçekleşir [20]:



Optimum pH aralığı 4-12 arasında olan ferri klorür kireçle aşağıdaki reaksiyonları verir [20] :



Kristal $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ halinde satılan demir 3 klorür, demirli pıhtılaştırma maddelerinin en pahalısıdır ve oldukça koroziftir.

Kireç

Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemlerinde en çok kullanılan alkali olan kireç, sönmemiş ve sönmüş formda olabilir. Sönmemiş kireç (CaO), yapay alkaliniteyi sağlamak üzere, alümlü veya demir sülfat ile birlikte kullanılır. Aynı zamanda pıhtılaştırma maddesi olarak ve yumuşatma işlemlerinde de yumuşatıcı madde olarak görev yapar [8].

Sönmüş kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), kalsiyum hidroksitten ibarettir ve beyaz bir toz şeklindedir. Sönmemiş kirecin suda söndürülmesi ile elde edilir. Kuru olarak veya yağ halde arıtılacak suya ilave edilebilir [8].

Polielektrolitler

Sentetik ve doğal, çok değişik yapıda olan polielektrolitler iyonlaşma şekline bağlı olarak anyonik, katyonik ve non-iyonik polielektrolitler olarak sınıflandırılır. Anyonik polielektrolitler arasında poliakrilamidler yaygındır [19].

Daha çok toz halde olan ve bazı spesifik durumlarda sulu çözeltileri hazırlanan polielektrolitler atıksu arıtımında yumaklaştırıcı olarak görev yapar. Genelde kullanılan dozajı 0.3 mg/L' den az olan polielektrolitlerin uygun tür ve miktarının seçimi için tecrübe ve deneysel çalışmalar gerekir [19].

3.7. Yağ İçerikli Atıksuların Arıtımı

Çevre kirliliğinde ve özellikle su kirliliğinde önemli bir role sahip olan atık yağlar, genellikle kullanılmış otomotiv yağları ile yağlama, soğutma, imalat proses uygulamalarından kaynaklanan kullanılmış endüstriyel yağları içeren, yeniden kullanılabilir ya da arıtılabilir nitelikteki bileşiklerdir. Söz konusu yağlar, çoğunlukla kesme sıvıları, lubrikantlar, gres ve hidrolik yağları şeklinde çeşitli isimlerle anılmaktadır [21].

Atıksudaki konsantrasyonu yağ ve gres (oil and grease, O&G) veya hayvansal yağ, yağ ve gres (fats, oil and grease, FOG) olarak nitelendirilen yağ bileşikleri benzin, gazyağı, ham yağ, gres ve tavuk yağı gibi ancak freon ekstraksiyonu yöntemiyle sudan ayrılabilen hidrokarbon kimyasallarını içine almaktadır [21].

Atıksularda değişik fiziksel formlarda bulunabilen yağlar, Tabakin (1978) tarafından beş kategoride tanımlanmıştır [14]:

Serbest Yağ: Stabil şartlar altında, kolaylıkla ve hızlı bir şekilde su yüzeyine çıkabilen yağ.

Mekaniksel Dispersiyonlar: Mikron mertebelerinden, birkaç milimetre çapa kadar büyüklükteki yağ taneciklerinden oluşan ve yüzey aktif maddelerin etkisiyle stabil hale getirilemeyen ve ancak elektrik akımı ya da bir güç kaynağı yardımıyla stabil olabilen yağ.

Kimyasal Stabilize Emülsiyonlar: Mekaniksel dispersiyonlarla aynı boyuttaki yağ taneciklerinden oluşan, ancak sudan direkt olarak ayrılamayan, giderilmesi için öncelikle emülsiyonun parçalanmasını gerektiren, yağ/su karışımları

Çözünmüş Yağ: 5 mikrondan daha küçük yağ taneciklerinden oluşan ve sudan ancak biyolojik yöntemlerle veya aktif karbon adsorpsiyonuyla ayrılabilen yağ.

Yağla kirlenmiş katılar: Atıksudaki partikül maddelerin yüzeyine yapışmış yağ

Çizelge 3.13.' de endüstriyel yağlı atıksuların kaynakları ve kaynaktaki muhtemel derişim seviyeleri verilmiştir. Bu endüstrilerden, petrol rafinerileri, metal imalatı ve işleme endüstrileri ile gıda endüstrileri yağlı atıkların en temel kaynaklarıdır. Özellikle çelik işleme endüstrileri atıksuları emülsüfiye ve serbest yağ içerirken, petrol rafinerileri atıksuları büyük miktarda yağlı emülsiyonlar içerir. Metal işleme

endüstrilerinde, bileme yağları, kesme yağları, yağlama yağları (lubricant) ve hidrolik yağları içeren yağ atıkları genellikle çözünabilir ve emülsifiye formdadır [14].

Çizelge 3.13. Yağlı atıksuların endüstriyel kaynakları [14]

Endüstriyel kaynak	İşlemler	Yağlı atık konsantrasyonu (mg/L)
Petrol rafinerileri	Petrolün işlenmesi	30 -3200
Demir-çelik endüstrisi	Haddeler, ağartma ve kaplama	100-7200
Otomobil&Uçak parçası üretimi	Kesme, bileme, temizleme vb.	500-1200
Deniz taşımacılığı	Sintine ve balast suları	30-1100
Gıda endüstrisi	Et, balık, tavuk, süt ve bitkisel yağ işleme	500-15000
Metal işleme endüstrisi	Mekanik yüzey işlemler	100-5000

Değişik endüstrilerden kaynaklanan farklı fiziksel formlardaki ve miktarı fazla olan yağlı atıkların, kanalizasyon sistemlerine ve/veya atıksu arıtma sistemlerine verilmesi, sistemlerde aşağıda sayılan birçok probleme neden olur [21]:

- Kanalizasyon hatları tıkanabilir, atıksu akışı yavaşlayabilir ya da taşmalar olabilir.
- Pompalama istasyonlarında ve arıtma tesislerinde pıhtılaşmalar olabilir.
- Arıtma tesisinde sıyırma ve köpük alma işlemlerinde problem yaratabilir.
- Kuyular ve pompalama istasyonları, daha fazla bakım ve temizleme gerektirir.
- Arıtma tesislerinde ölçüm elektrotlarında problem yaratabilir.
- Yangın ve patlama tehlikesi oluşturabilir.
- Biyolojik arıtma sistemlerinde 50 mg/L' nin üzerinde yağ konsantrasyonları biyolojik aktiviteye zarar verebilir.

Yağlı atıksuların yaratabileceği olumsuzlukları önlemek amacıyla öncelikle kaynakta dikkatli ve kontrollü bir çalışma ile atık miktarının azaltılması ya da mümkünse yağın yeniden kullanılabilir duruma getirilmesi ilk hedef olmalıdır. Eğer bu mümkün olmuyorsa, yağı fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri arıtım teknikleriyle atıksudan ayırmak gerekir.

Yağlı atıksuların arıtımı birçok bakımdan evsel atıksu arıtımına benzer. Evsel atıksu arıtımında ilk kademedeki amaç, çökebilir katı maddelerin ayrılmasıdır. Kullanılan en yaygın ayırma işlemi, çökeltme, flotasyon ve santrifüjleme teknikleridir [17].

3.7.1. Tesis içi azaltım ve yağın yeniden kullanılması (Oil Recovery)

Yağın kullanıldığı kaynakta miktarını azaltmak ve yağın yeniden kullanımını sağlamak, arıtma maliyetini düşürmek ve verimi arttırmak açısından oldukça faydalı olacaktır. Tesis içi azaltım için aşağıdaki önlemlerin alınması önerilebilir [22]:

- Soğutucu ve yağlayıcı emülsiyonların sirkülasyon sistemlerinin atık miktarını azaltacak şekilde dizayn edilmesi,
- Bakteri önleyici olarak, diklorofenol ve diklorofen kullanılması,

- Yağlayıcı sistemde, su muhtevasını kontrol ederek bakteri büyümesini azaltmak için vakum dehidrasyonun yapılması,
- Katı ve suyu yağdan ayırmak için torbalar, vakum filtreler ve santrifüjler kullanılması,
- Yağ ve diğer organik bileşiklerin geri dönüşümü için solvent ekstraksiyonu kullanılması,
- Yağ içerisindeki metallerin azaltılması için kimyasal çöktürme kullanılması ve
- Yüksek oranda emülsifiye olmuş yağ, asit, baz veya toksik atıkların ön arıtma sisteminden ayrı tutulmasıdır.

Atık yağın geri kazanımı amacıyla da değişik yöntemler kullanılabilir. En çok kullanılan yöntemler yağın yeniden işlenmesi (reprocessing of oil), yağın yeniden kullanımı (reclamation of oil) ve yağın yeniden kullanıma sunulması (recycling of oil)dır [21].

Yağın yeniden işlenmesi: Kirletici bileşenlerin, fiziksel yolla ayrılması, filtreleme, santrifüjleme veya manyetik ayırma yoluyla giderilmesidir. Bu proses, aynı zamanda, atık yağın fuel-oil sistemlerinde yakılmak üzere hazırlanması işlemlerini de kapsar.

Yağların yeniden kullanımı: Fiziksel ve kimyasal yöntemlerin kombinasyonu ile gerçekleştirilen yağın yeniden işlenmesidir. Bu işlemle yağ içerisindeki katılar, su, yakıt, çözücüler ve asitler gibi parçalayıcı maddeler yağdan ayrılır. Flash distilasyon ve kimyasal adsorpsiyon kullanılan en genel yöntemler olmakla birlikte, asit gibi parçalayıcı maddelerin yağdan ayrılması için vakum ve filtrasyon uygulanabilir.

Yağların yeniden kullanıma sunulması: En fazla işlem çeşitliliği içeren yağın geri dönüştürülmesi prosesinde atık yağ, katıları, çözücü, yakıt ve suyu gidermek üzere ön filtrasyondan geçirilir. İlave edilmiş katkı maddeleri yağdan ayrılır ve sonuçta yüksek kalitede bir yağ kalıntısı oluşur. Yağlar tekrar kullanım amacına göre saf halde ya da yeni kimyasalların eklenmesiyle yeniden formüle edilerek kullanılabilir. Bu metod çok büyük miktarlardaki atık yağların değerlendirilmesi için en ekonomik metottur.

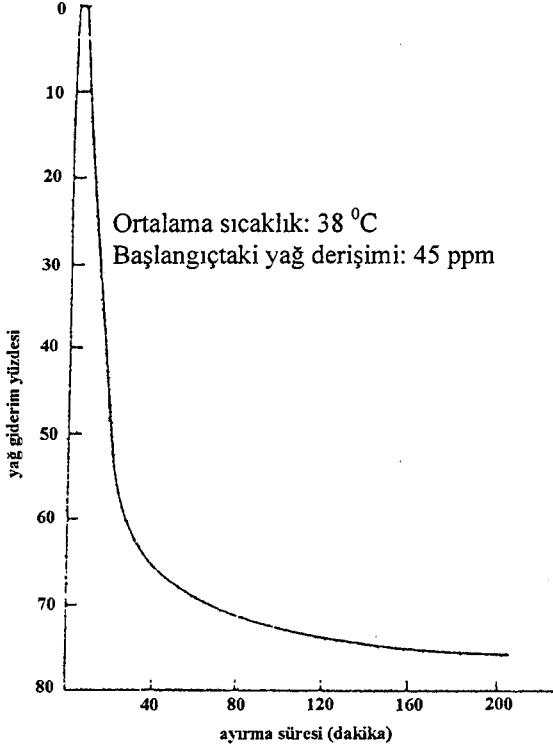
3.7.2. Yağlı atıksuların ön arıtımı

Yağlı atıksuların ön arıtımı, fiziksel yöntemleri ve serbest yağın atıksudan ayrılmasını içerir. Bu amaçla en çok kullanılan yöntemler ise, ağırlık farkı prensibine dayanan gravite ayırıcı sistemler ve flotasyon sistemleridir.

Gravite Seperatörler

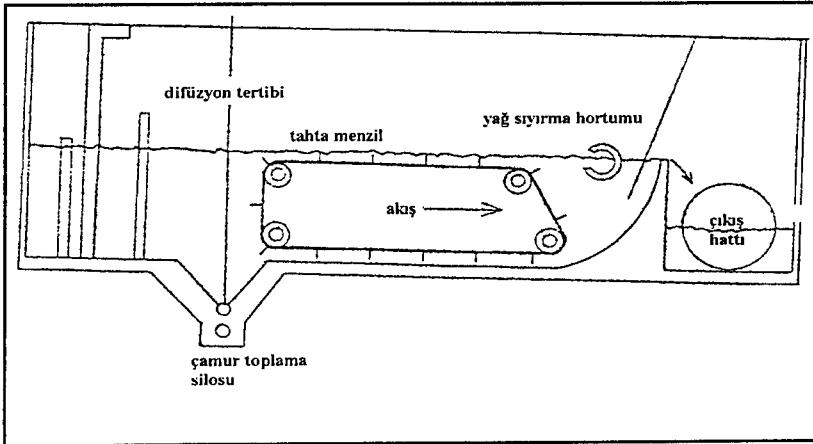
Gravite seperatörleri, yağ ve gres ile su arasındaki yoğunluk farkına dayanarak, yağlı atıksuların arıtımında birincil arıtım olarak kullanılan en yaygın sistemlerdir. Bu sistemlerde, yağlı atıksu bir tank içerisinde beklemeye bırakılır ve yoğunluğu suyun yoğunluğundan düşük olan serbest yağ, su yüzeyine yükselir. Yağ fazının sudan tamamen ayrılmasının ardından üstteki yağ tabakası, bir atık yağ tankına sıyrılır ya da pompalanır.

Bir gravite seperatörün etkinliği, uygun hidrolik dizayna ve alıkonma süresine bağlıdır. Daha uzun alıkonma sürelerinin kullanılması sıyrılabilir yağların sudan daha iyi ayrılmasını sağlar. Şekil 3.16’ da gösterildiği gibi 20 dakikadan daha düşük alıkonma sürelerinde % 50’ den daha az yağ/su ayrımı gerçekleşirken, alıkonma süresi arttıkça atıksudan yağın ayrılma yüzdesi de artar [14].



Şekil 3.16. Gravite ayırıcılarda bekleme süresinin yağ ayırma verimi etkisi [14]

Yağın sudan ayrılması için tasarlanmış en genel seperatör API (American Petroleum Institute) seperatördür (Bkz. Şekil 3.17).



Şekil 3.17. API seperatör [21]

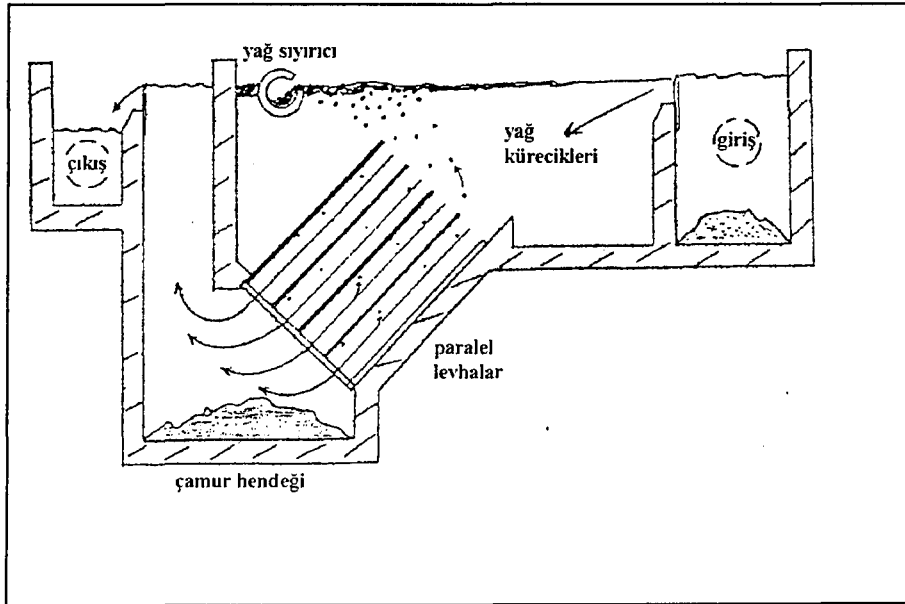
API seperatörlerin dizaynı, birim alandan birim zamanda geçen su miktarı esasına dayanır. Ayrıca, yağ taneciklerinin büyüklüğü ve yağın yoğunluğu da seperatörlerin boyutlandırılmasında ve ayırma işlemi için gerekli alıkonma süresinin belirlenmesinde etkili diğer parametrelerdir [21].

Diğer iki tür gravite seperatörleri ise levha seperatörler olarak bilinen CPI (Corrugated Plate Interceptor) ve PPI (Parallel Plate Interceptor) seperatörlerdir. PPI seperatörler, gravite seperasyon yağ giderme proseslerinin verimini arttırmak amacıyla API seperatörlerle birlikte kullanılabilir. PPI seperatörlerde bulunan paralel levhalar, atıksuda bir durgunluk yaratır ve sudan ayrılmadan önce dikey hareketi gereken yağ taneciğinin katedeceği mesafenin azalmasına sebep olur. (Bkz.Şekil 3.18). PPI seperatörler ile, daha küçük bir tankda API seperatör ile aynı yağ giderme verimi sağlanabilir ya da API ile aynı ölçekteki bir seperatörde daha büyük yağ giderme verimleri elde edilebilir [20]. PPI seperatörler, API seperatörlerin sadece % 15-20' si kadar bir alan gerektirirler ve yatırım/ işletme maliyet avantajlarına sahiptirler [14].

Hava Flotasyonu

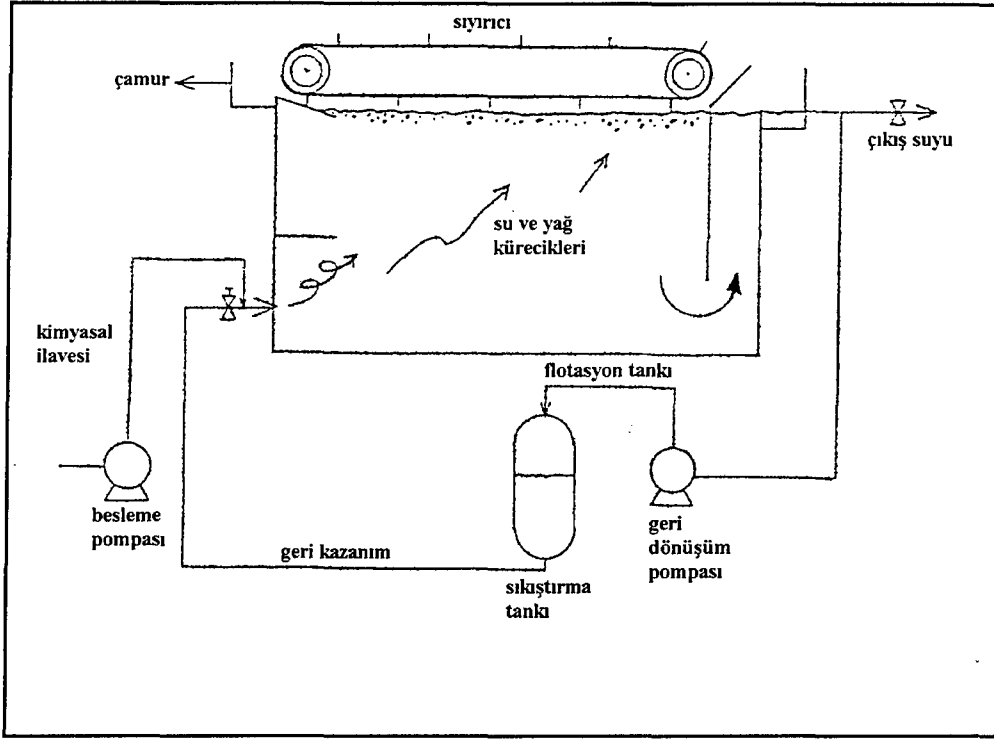
Hava flotasyonu çoğunlukla, emülsiyon şeklindeki yağların, emülsiyon hali parçalanıp, yağ ve su fazı olarak ayrıldıktan sonra kullanılan sistemlerdir. Yağ normal olarak; çözülmüş (dissolved) ve hızlandırılmış (induced) hava flotasyonu olmak üzere iki çeşit flotasyon sistemiyle sudan ayrılır (Bkz.Şekil 18).

Çözülmüş hava flotasyonu (DAF) sistemlerinde atıksu, hava basıncı altında tutulur, havanın suda çözünmesi ve suyun hava ile doyurulması sağlanır. Hava basıncı ile atıksu, flotasyon tankına doğru hareket eder ve yağ içerisinde çözünen küçük su baloncukları, serbest yağ ve süspans katıları taşıyarak, flotasyon tankına ayrılmış olur.



Şekil 3.18. PPI seperatör [21]

Hızlandırılmış hava flotasyonunda (IAF) su yüzeyinde dönen yüksek hızlı bir karıştırıcı ya da düze (nozzle) venturiler vasıtasıyla hava kabarcıkları üretilir. Bu sistemlerde üretilen hava kabarcıkları, DAF sistemlerindeki kiyasla daha büyüktür ve kabarcık oluşumu ile yağ giderimi aynı tank içerisinde gerçekleşir [21].



Şekil 3.19. Hava flotasyon sisteminin basitleştirilmiş şeması [21]

3.7.3. Fiziksel ve kimyasal yöntemlerle emülsiyon kırma

Yağ/su emülsiyonlarında, yağ, su içerisinde küresel damlacıklar halinde yayılmış formda bulunur ve söz konusu emülsiyonlar stabil halde olmayıp, iki faza ayrılmaya meyillidir. Emülsiyon kırma işlemi yağın biraraya toplanması ve yağ damlacıklarının emülsiyon kırma ürünü yüzeyine bağlanması ile olur [23].

Emülsiyon kırma işlemi, fiziksel, kimyasal ya da elektriksel metodlarla gerçekleştirilebilir. Fiziksel olarak, ısıtma, santrifüj ve filtrasyon yöntemleri kullanılırken; bir kimyasal madde ilavesi ile emülsiyonları parçalama esasına dayanan kimyasal yöntemler, yağlı atıksuların arıtımında yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Fiziksel Yöntemler

Isıtma

Isıl işlemler, emülsiyonları kırmak ve yağı sudan ayırmak üzere, yalnız başına ya da gravite ayırıcılarla birlikte ve/veya asit işlemleriyle üçlü olarak kullanılabilir [22]. Yağ/katı madde/su karışımında oluşan herhangi bir emülsiyonun özgül ağırlığı suyunkine oldukça yakındır. Uygulanan ısıtma, vizkositeyi düşürür, yağ ve su arasında bir özgül yoğunluk farkı oluşturur. Isı, aynı zamanda tanecik çarpışma frekansını artırır

ve ara yüzey filminin kırılmasına yardım eder. Kırılma olduğunda yoğunluk farkı ile yağ/su fazı birbirinden ayrılır [17]

Santrifüj

Santrifüj kuvvetin etkisi altında, yağ/su emülsiyonlarını kırarak yağ/su fazını ayırmak mümkündür. Bu işlem, yağlı çamurların arıtımında en fazla uygulanan yöntemdir ve tipik yağlı atıksuların arıtımında, yağlı atıksu miktarı çok düşük olmadıkça kullanılmaz [14].

Bir arıtım prosesinde, haftada 10 000 galon (37.85 m³) yağlı atıksuyu arıtmak için ısıtma ve santrifüjleme teknikleri birarada kullanılmış, önce atıksuya magnezyum klorür eklenerek 95 °C' de 3-15 dakika süreyle ısıl işleme tabi tutulmuş ve ardından santrifüjlenmiştir. Giriş suyunda yağ konsantrasyonu 2000-4000 mg/L iken % 97-99' luk bir arıtım sağlanarak çıkış suyundaki yağ konsantrasyonu 22-89 mg/L' ye kadar düşürülmüştür. Uygulama, hızlı bir proses olması ve nötr pH' da çıkış suyu oluşturması açısından oldukça uygun bulunmuştur [14].

Filtrasyon

Filtrasyonla yağ giderimi, yağ taneciklerinin büyüklüğüne bağlı olarak direkt giderim ve birleştirilmiş akım (induced coalescence) mekanizmalarının kombinasyonunu içerir. Filtrasyon sisteminin verimliliği, yağlı atıksuyun karakterizasyonuna, yağ konsantrasyonuna, yağ taneciklerinin büyüklüğüne, atığın katı içeriğine ve hidrolik şartlara bağlıdır. Filtrasyon sistemlerinde işletme problemleri (filtre ortamının zehirlenmesi gibi), yüksek bakım maliyetlerini de beraberinde getirir. Uygun şartlar altında, 1-50 mg/L' lik çıkış konsantrasyonlarına kadar yağ giderimi sağlanabilirken, bununla beraber, Çizelge 3.14.'deki verilerde de görüldüğü gibi, bazı durumlarda sadece basit filtrasyonla yeterli bir arıtım sağlanamaz [14].

Çizelge 3.14. Yağ ve gres gideriminde filtrasyon prosesinin performansı [14]

Endüstri	Yağ ve gres (mg/L)		
	Giriş	Çıkış	% Giderim
Ticari ölçekli çamaşırhaneler	76	46	39
	8	1	87
	16	33	(-106)
Alüminyum	8500	9940	(-17)
Çelik döküm	22	< 0.5	98+
Sıcak çelik şekillendirme	8.8	6.7	24
Boya imalatı	1000	1140	(-14)
Petrol rafinerileri	8	8	0
	35	6	83
	10	8	20
	12	12	0
	18	11	39
	27	17	37
Tekstil	303	476	(-57)

Kimyasal Yöntemler

Emülsiyonların kimyasal arıtımı, disperse olmuş yağ taneciklerinin destabilizasyonuna ya da emülsiyonların kırılmasına yönelik olarak bir kimyasalın ilavesinin ardından, ayrılan yağ fazının uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Proses, genellikle, atıksuyla koagülant kimyasalın hızla karıştırılmasının ardından flokulasyon işlemi, ardından flotasyon ve yağın toplanması basamaklarını içerir. Yağ arıtımında kullanılan kimyasal yöntemler aşağıdaki alternatif işlemleri içerir [14]:

- Koagülant tuzlarının ilavesi,
- Asit ilavesi,
- Tuzların ilavesi ve emülsiyonların ısıtılması,
- Tuzların ilavesi ve elektrik akımıyla işlem,
- Asit ve organik kırıcıların ilavesi,

Koagülant tuzlarının kullanımı, sedimentasyon veya flotasyonla yağ gideriminde yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Alüminyum ve demir tuzları ile koagülasyon genellikle etkilidir ve sıklıkla kullanılır. Bununla birlikte, koagülasyon sonucu oluşan hidroksit çamurları ilave bir atık olarak problem yaratabilir. Genellikle, yağlı atıksuya ilave edilen kimyasalın birim ağırlığı başına 20 kat fazla çamur oluşur. Bu çamurlar, genelde tehlikeli toksik niteliktedir ve suyunun alınması ile nihai bertarafı ek bir maliyet getirebilir [21].

Genellikle asitler, emülsiyonları koagülant tuzlarından daha etkili bir şekilde parçalar, ancak çok pahalıdırlar ve yağ/su fazını ayırdıktan sonra oluşan atıksuyun nötralize edilmesi gerekir. Asitlendirme uygulamalarında genellikle etkin pH aralığı 2-3 olarak öngörülürken, bazı uygulamalarda pH=5-5.5 da etkin sonuçlar vermiştir. Bir uygulamada alüminyum kutu üretiminden kaynaklanan yağlı atıksular sülfürik asit kullanarak pH= 2' de asidifikasyon yöntemi ile arıtılmış ve yağ konsantrasyonu 200 000 mg/L'den 10 000 mg/L' ye düşürülmüştür [14].

Asitlendirme işleminde yağ emülsiyonlarını kırmak için endüstride proseslerden kaynaklanan asit pikling atıksuları kullanılabilirdiği gibi, kaplama operasyonlarından kaynaklanan atık hidroklorik asit ve sülfürik asit de bazı uygulamalarda kullanılmıştır. Bir metal işleme endüstrisi atıksuları pH= 2-3' de sülfürik asitle, yağ/su emülsiyonlarını kırmak üzere asitlendirilmiş ve 6-12 saatlik asitle parçalama süresinin ardından, kalsiyum klorür ve kostik soda ilave edilerek yağın koagülasyonu sağlanmış ve 21 225 mg/L' lik yağ konsantrasyonu 6 mg/L' ye düşürülmüştür. Prosesin diğer bir avantajı da, sıyrılan çökeltinin (floated precipitate) atık yağla birlikte termik santralde yakılabilesidir. 200 000 galon/dak kapasiteye sahip bu tür bir arıtma sisteminin 1973 yılındaki yatırım maliyeti 1 800 000 US \$' dir[14].

Kimyasal koagülasyonun ardından, gravite çöktürme yapılması da oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, sodyum karbonat, kireç ya da alüm gibi kimyasallar ile koagülasyonun ardından, bir API seperatörle yağ/su fazı ayrılır. Sistemin, koagülasyon etkinliğini arttırmak üzere, polielektrolit kullanılması da alternatif bir yöntemdir. Çizelge 3.15.' de görüldüğü gibi kimyasal koagülasyon ve gravite ayırma yöntemlerinin birarada kullanımı ile yapılan atıksudan yağ giderme çalışmalarında oldukça yüksek verimler elde edilmiştir [14].

Çizelge 3.15. Kimyasal koagülasyon ve gravite ayırma ile yağ giderim çalışmalarına ait sonuçlar [14]

Yağ ve gres (mg/L)				
Endüstri	Arıtma kimyasalı	Giriş	Çıkış	% Giderim
		konsantrasyon (mg/L)	konsantrasyon (mg/L)	
Boya imalatı	Sodyum alüminat	1260	22	98
	Alüm	1810	11	99
	Alüm + kireç	830	16	98
	Alüm + kireç + demir klorür	393	91	77
	Alüm + kireç + polimer	980	22	98
	Alüm + polimer	1700	880	48
	Alüm + polimer	642	8	99
	Alüm + polimer	1200	153	87
	Ticari çamaşırhane	Alüm + polimer	15	4
Çelik pikling	Kireç	3	1	66
Çelik pikling	Kireç + polimer	650	6	99
Çelik boru üretimi	Kireç + polimer	5	4	20
Boya imalatı	Polimer	1100	22	98

Kimyasal koagülasyonun ardından, yağ/su fazını ayırmak üzere, hava flotasyonu kullanılması da alternatif bir arıtma yöntemidir. Demir ve alüminyum tuzları gibi kimyasal flokulasyon maddelerinin, tek başlarına ya da organik polielektrolitlerle birlikte kullanılması, hava flotasyon sistemlerinin verimliliğini artırır. Çizelge 3.16 ' da görüldüğü gibi, koagülantların ilavesi, emülsüfiye yağların giderilmesinde kullanılan hava flotasyonun verimliliğini yaklaşık iki katına çıkarır. DAF ya da IAF sistemlerinden herhangi birinin kullanılabileceği bu yöntemin yatırım ve işletme maliyeti, diğer arıtım sistemlerine oranla daha yüksektir [14].

Çizelge 3.16. Koagülant ilavesinin emülsüfiye yağ giderimindeki etkinliği [14]

Arıtma işlemi	Atık kaynağı	% Giderim	
		Serbest yağ	Emülsüfiye yağ
API seperatör	Ham atık	60-99	-
Kimyasal ilavesiz hava flotasyonu	API çıkışı	70-95	10-40
Kimyasal ilaveli hava flotasyonu	API çıkışı	75-95	50-90
Kimyasal koagülasyon ve çöktürme	API çıkışı	60-95	50-90

Bir DAF uygulamasında, direkt hava flotasyonu ile % 62 oranında yağ giderimi sağlanırken, 25 mg/L alüminyum sülfat ilavesiyle giderme verimi % 94' e çıkmıştır. Yine yalnız hava flotasyonu ile gerçekleştirilen % 70' lik yağ giderim verimi polielektrolit ilavesiyle % 95' e yükseltilmiştir. Hava flotasyon sisteminin, kimyasal koagülantlarla birarada uygulandığı endüstriyel uygulamaları da vardır (Bkz. Çizelge 3.17) [14]

Çizelge 3.17. Hava flotasyonu ile koagülasyonun birarada kullanıldığı endüstrilerdeki yağ giderme verimlilikleri [14]

Yağ konsantrasyonu (mg/L)				
Endüstriyel kaynak	Koagülant	Giriş	Çıkış	% Giderim
Rafineri	-	125	13	72
	100 mg/L alüm	100	10	90
	-	154	40	74
	FeCl ₃	34	3	95
	-	72	7	90
	Polielektrolit (5-15 mg/L)	410	27	93
Yağ tankeri balast suyu	100 mg/L alüm + 1 mg/L polimer	133	15	89
Petrokimya	FeCl ₃	100	14	86
	FeCl ₃	180	14	92
	Alüm	165	22	87
Çelik dağlama	Kireç + FeSO ₄	100-2000	8-275	-
	Kireç + FeSO ₄	100-2000	3-188	-
Cam konteyner imalatı	Tek kimyasal eklemesi	100	1	99
Boya imalatı	100 mg/L alüm + 1 mg/L polimer	1900	0	100
Uçak bakım	30 mg/L alüm	250-700	20-50	90
Nakliye aracı bakım	Tek kimyasal eklemesi	490	5	99
Ticari çamaşırhane	Alüm + polimer	205	76	63

Kimyasal arıtımda kullanılan diğer bir yöntem olan tuzlama ile yağ emülsiyonlarının kırılmasında, çözeltiye çok büyük miktarda anorganik tuz katılır ve su fazının çözünmüş katı madde içeriği artırılır [17].

Organik kırıcılar da yağ emülsiyonlarının bozundurulmasında kullanılan etkinliği fazla ancak, çok pahalı ve özel kimyasallardır. Bu emülsiyon kırıcıların (demulgator) işlevleri nötralizasyonu sağlamak ve spesifik kimyasal bileşikleri parçalayarak emülsiyonu bozmak şeklindedir. Kimyasal kırıcılar, normal olarak maliyetleri ve yüksek konsantrasyonlardaki toksik özellikleri nedeniyle ancak az miktarlardaki yağlı atıksuların arıtımında kullanılır.

3.7.4. Biyolojik yöntemlerle yağlı bileşiklerin parçalanması

Yağ ve gres içeren atıksular, aktif çamur sistemleri, biyolojik lagünler, oksidasyon havuzları gibi, biyolojik arıtım sistemlerinde arıtılabilir ve yağlı bileşikler mikroorganizmalar tarafından parçalanabilir. Biyolojik olarak parçalanabilir (polar biodegrabel) yağlar ve gres biyolojik arıtım sistemleriyle parçalanabilir ve çıkış konsantrasyonu düşürülebilir. Polar olmayan (nonpolar) yağlar ve gres ise 2-8 mg/L' ye kadar klarifikasyonla veya biyolojik yumakların içine alınarak giderilebilir. Bu tür yağlar, atık çamur tarafından absorbe olan yağlardır. Çizelge 3.18'de aktif çamur ve havalandırılmalı lagün sistemlerinin yağ ve gres giderimindeki performansı verilmiştir [14].

Çizelge 3.18. Yağ ve gres gideriminde biyolojik sistemlerin performansı [14]

Yağ ve gres konsantrasyonu (mg/L)				
Sistem tipi	Endüstri	Giriş	Çıkış	% Giderim
AS ^a	Yan ürün olarak kok üretimi	240	5	98+
AS	Deri tabaklama ve işleme	171	91	47
		247	35	86
		553	17	97
		443	25	94
AL ^b	Deri tabaklama ve işleme	720	17	97
AS	Tekstil endüstrisi	32.4	30.3	6

^a Aktif çamur (AS: Activated Sludge)

^b Havalandırmalı lagün (AL: Aired Lagoon)

Bir uygulamada büyük mezbaha atıkları, bir anaerobik lagünde arıtılmış ve %88 oranında yağ ve gres giderimi sağlanmıştır. Giriş suyundaki gres konsantrasyonu 425-1270 mg/L civarında iken, çıkış gres konsantrasyonu 69-147 mg/L' ye düşürülmüştür. 528.000 gal/gün kapasiteli sistemin 1969 yılı itibariyle yatırım maliyeti 44.000 US \$ dır[14].

Petrol rafinerisi atıklarının arıtıldığı API seperatör- hava flotasyonu- biyolojik oksidasyon sistemlerinin bileşiminden oluşan kombine arıtma sistemleri de mevcuttur.

Gıda ürünleri, atıklarının arıtıldığı bir aktif çamur sisteminde giriş suyundaki yağ konsantrasyonu 240 mg/L iken çıkışta ölçülen yağ konsantrasyonu 2.5 mg/L'dir [14].

Bir yemeklik yağ rafinerisinde kullanılan API seperasyon, hava flotasyonu, havalandırmalı lagün ve aktif çamur sisteminden oluşan kademeli arıtımda çok yüksek yağ giderim verimleri elde edilmiştir. Ham suyun yağ konsantrasyonu 3000-6000 mg/L iken, sözkonusu konsantrasyon flotasyonla 95-250 mg/L, havalandırmalı lagünle 64-100 mg/L ve son olarak aktif çamur sistemiyle 11 mg/L'ye kadar düşürülmüştür[14].

Twedel (1978), biyolojik arıtım sistemlerinde, yüksek orandaki yağ ve gresin giderilmesi için, mutant bakteriyel inokulumların kullanımını önerir. Ayrıca, şehir kanalizasyon suları ve endüstriyel atıksuların arıtıldığı biyolojik arıtma tesislerinde de yüksek oranlarda yağ ve gres giderimi sözkonusudur (Bkz. Çizelge 3.19) [14].

Çizelge 3.19. Evsel/Endüstriyel atıksuların birlikte arıtıldığı kombine sistemlerin yağ/gres giderim performansı [14]

Ortalama yağ ve gres konsantrasyonu (mg/L)				
Sistem tipi ^a	Tesis sayısı	Giriş	Çıkış	% Giderim
AS-C	18	40.8	4.0	90
AS-C	5	57.3	15.4	73
AS-S	1	162.5	9.4	94
AS-O	1	47.3	4.3	91
AS-CS	3	38.5	7.1	82
AS-HR	4	26.6	3.0	89
AS-EA	4	21.9	2.9	87
TF-HR	15	34.1	7.8	77

^aAS: Aktif çamur, TF: Kumaş filtre, C: Konvansiyonel, S: Kademeli havalandırma

O: Saf oksijen, CS: Kontakt stabilizasyon, HR: Yüksek oran, EA: Aşırı havalandırma

3.7.5. İleri arıtım yöntemleri ile yağ ve gres giderimi

Miktarı fazla olan atıksulardaki yağ ve gres gideriminde, ultrafiltrasyon, ters osmoz gibi membran sistemleri ya da elektroflotasyon, elektrokoagülasyon gibi elektriksel ileri arıtım teknikleri kullanılabilir.

Ultrafiltrasyon, emülsüfiye yağın arıtımı için alternatif prodestir. Bu prosesde, yağlı atıksular bir membran içinden geçecek şekilde pompalanır. Uygulanan statik basıncın altında su ve çözülmüş maddelerin tümü (klorürler, sülfatlar v.b.), membranın gözeneklerinden bir taraftan diğer tarafa akar. Emülsüfiye yağ gibi büyük moleküller, gözeneklerde tutulur [21]. Prosesde, performansı etkileyen parametreler; membranların kompozisyonu, yapısı ve sıklığı, uygulanan basınç, sıcaklık ve atık konsantrasyonudur. [14].

Diğer bir membran prosesi olan, ters osmoz prosesinde su molekülleri ile aynı boyuttaki moleküller ve iyonlar, seçici olarak ayrılır. Ters osmoz prosesleri, yağ/su emülsiyonlarının ayrılmasında, yağ ve suyun geri dönüşümünü sağlamak amacıyla kullanılır. Ters osmoz uygulamalarında ön arıtımın gerekliliği ultrafiltrasyona göre daha fazladır.

Elektroflotasyon ve elektrokoagülasyon da atıksulardaki yağın destabilizasyonu için kullanılan, elektriksel arıtım yöntemleridir. Hava flotasyonlarına bir alternatif olan elektroflotasyonda, elektrik akımı meydana getirecek küçük gaz kabarcıklarının oluşumu, suyun oksijen ve hidrojen gazına elektrolizi ile olur. Ardından, oluşan kabarcıklar sayesinde, hava flotasyonunda olduğu gibi, yağın sıyrılma işlemi gerçekleştirilir.

Elektrokoagülasyon proseslerinde, hurda (scrap) demir elektrotlar kullanılabilir. Sisteme uygulanan elektrik akımı, demir iyonu gibi metalik koagülantları serbest bırakması için elektrotları okside eder. Uygulanan voltaj 20 amper civarındadır. Çizelge 3.20'de diğer arıtım sistemleriyle maliyet kıyaslaması verilen elektrokoagülasyon ünitesinin bir uygulamasında sistemin gerektirdiği güç 0.7 kwh/1000 galon'dur[14].

Çizelge 3.20. Elektrokoagülasyon ve diğer yağ giderim proseslerinin maliyet kıyaslaması [14]

Proses	Yatırım maliyeti ^a (US \$)	İşletme maliyeti (US \$/1000 galon)
Kimyasal koagülasyon + DAF	75 000	> 0.85
Ultrafiltrasyon	175 000	-
Elektrokoagülasyon + DAF	60 000	<0.68

^a Atıksu kapasitesi 15 00 galon/gün 'lük ve 1000 mg/L' lik yağ konsantrasyonu içeren tesis için

3.7.6. Atık yağın depolanması, taşınması ve nihai bertarafı

Endüstri ya da petrol istasyonlarından kaynaklanan, yağlı atıksuların arıtılması sonucu sudan ayrılan veya direkt olarak proseslerden kaynaklanan yağın yönetimi de, çevre ve insan sağlığı açısından en az diğer arıtım işlemleri kadar önemlidir. Atık yağın yönetimi; (managing used oil) yağın tesis içerisinde toplanıp depolanması, birikmiş depolanan yağların belirli periyotlarda geri dönüşüm ya da nihai bertaraf tesislerine transferi ve bu tesislerde geri dönüşüm/nihai bertaraf işlemlerinin uygun şartlar altında,

tüm çevre kalitesi yönetmeliklerine uygun, çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde yapılmasını içerir (Bkz. Şekil 3.20.).

Kullanılmış yağın yönetimi ile ilgili anahtar gruplar EPA tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır [24]:

Atık Üreticisi (Generator) : Üretim ve imalat aktiviteleri sonucunda atık yağ üreten kişi ya da tesisler.

Taşıyıcı (Transporter) : Atık yağı, üretici firmalardan geri kazanımını ya da bertarafını sağlamak üzere toplayıp transferini gerçekleştiren özel kişi veya devlet kuruluşu.

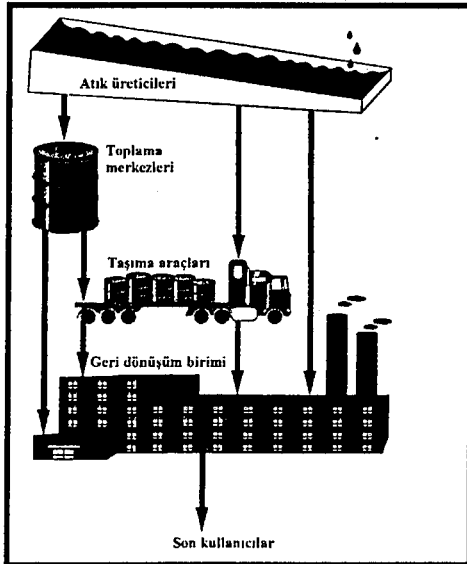
Taşıma Tesisi (Transfer Facility) : Üretici firmadan alınan atık yağın nihai tesise teslim edilmeden önce, 24 saatten fazla, 35 günden az olmak üzere bekletildiği transportasyon sahası.

Prosesör (Processor) : Kimyasal ya da fiziksel işlemlerle atık yağdan fuel-oil üreten tesis.

İkinci Rafineri (Rerefiner) : Atık yağı tekrar rafine ederek, yeniden kullanılabilir hale gelmesini sağlayan tesis.

Yakıcı (Burner) : Atık yağın, insineratörde ya da kazanlarda yakılarak nihai bertarafını gerçekleştiren tesis.

Pazarlayıcı (Marketer) : Atık yağı, yakıcı firmalara pazarlayan tesis.



Şekil 3.20. Atık yağ yönetim sistemi [24]

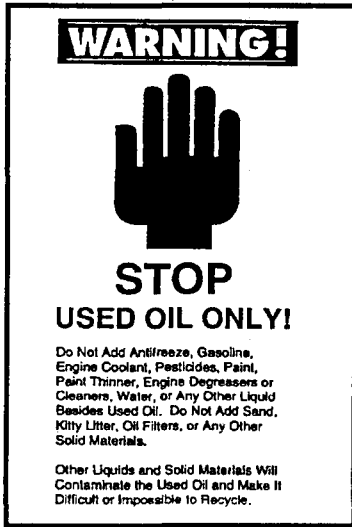
Atık Yağın Depolanması :

Atık yağ, elden çıkarılmadan önce, tesis içerisinde fiçı, varil, konteyner ya da tanklarda depolanabilir. İyi bir depolama uygulamasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- Kullanılmış yağ hiçbir şekilde, antifiriz, gazolin, pestisit, boya, tiner, solventler gibi maddelerle karıştırılmamalıdır. Eğer böyle bir karışım olursa,

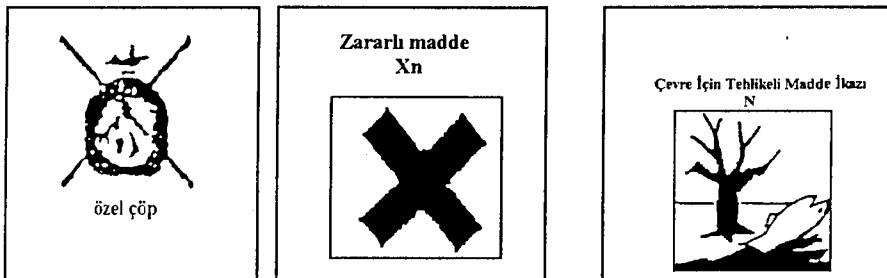
kullanılmış yağ, tehlikeli atık durumuna geçecektir. Yağın su ya da kum ile karıştırılması da yağın geri dönüşümünü daha zor ve daha pahalı kılacaktır.

- Kullanılmış yağ ile doldurulan varil, konteyner, tank gibi depolama materyalleri mutlaka etiketlenmelidir. Bu etikette atık yağın miktarı, proseden çıkış tarihi, Tehlikeli ve Toksik Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre tehlike derecesi, Zararlı Kimyasal Madde ve Ürünlerin Kontrolü Yönetmeliği'ne göre atık kodu, risk işareti ve güvenlik işareti gibi bilgiler yer almalıdır. Ayrıca, etiketin yanında bir de tehlike işaret etiketi bulunmalıdır. Bu tehlike işareti de taşıyıcı firma ve atık yağın gönderildiği bertaraf tesisleri için bir uyarı şeklinde olup, atık yağın yaratabileceği tehlikeleri ve yağla ilgili uyarıları açık olarak ifade etmelidir. EPA, böyle bir uyarı etiketi için Şekil 3.20 'deki formatı örnek olarak verir [24]. Ayrıca, kullanılacak etiketler, hava ve yol şartlarından etkilenmeyecek şekilde dizayn edilmelidir.



Şekil 3.21. Atık yağ tehlike işaret etiketi örneği [24]

Zararlı Kimyasal Madde ve Ürünlerin Kontrolü Yönetmeliği' nde yayınlanan atık yağ için kullanılabilir işaretlerin bazıları ise 3.21' deki gibidir [25].



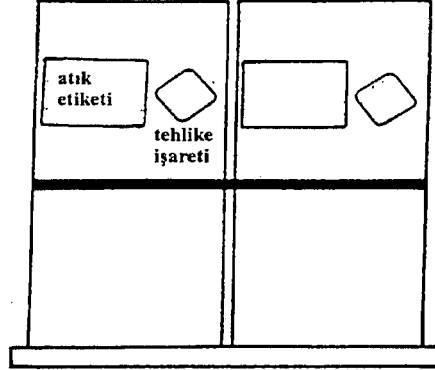
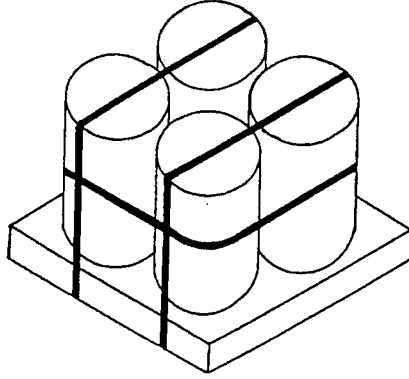
Şekil 3.22. Tehlike işaret etiketlerine bazı örnekler [25]

- Depolama tank ve varilleri, dış etkenlerden kolay etkilenmeyecek bir malzemeden imal edilmeli ve atık yağla doldurulup bir kapakla kapatıldıktan sonra, sızdırmazlığı garanti altına alınmalıdır. Ayrıca, varil ve bidonlar atık yağ ile tamamen doldurulmamalı, varilin üst kısmında bir genişleme payı bırakılmalıdır.
- Depolama sahası yağ transferine uygun bir yerde, toprağa sızıntıları önlemek üzere beton zemin üzerinde olmalı (mümkünse epoksi kaplanabilir), sızma ve dökülmelere karşı variller, tahta ya da saç malzemeden yapılmış ilave bir platform üzerine oturtulmalıdır. Ayrıca sahanın üst kısmının da yağmur ve kar sularının varillere karışmasını önleyebilmek üzere kapatılması ve depolama sahası içerisinde, sızıntı ve döküntüleri temizleyebilmek üzere talaş bulundurulması da iyi bir depolama yapılması için gerekli olacaktır.
- Atık yağın depolanmasında kullanılan, her türlü materyal periyodik olarak kontrol edilmeli, gerekli temizlik, bakım ve düzenlemeleri yapılmalıdır.
- Yağ kullanımı ve atık yağın depolanması sırasında oluşan, paçavralar, bezler, eldivenler ve yağlı talaşlar da, ayrı bir atık olarak sınıflandırılmalı, tehlikeli-toksik özellik taşıyıp taşımadığı analizle belirlenmeli, tehlike unsuru taşıyorsa “tehlikeli ve toksik atık” olarak, taşımiyorsa “katı atık” olarak değerlendirilmeli ve bertaraf edilmelidir.

Atık Yağın Transferi :

Endüstri tesisleri ya da petrol istasyonları gibi kaynaklarda depolanmış bulunan atık yağın, tesis tarafından belirlenmiş periyotlarda, bertaraf/geri kazanım işlemi yapılacak tesise transferi de ulusal ve/veya uluslararası standartlarda verilmiş belli başlı hususlar gözönünde bulundurularak düzenlenmelidir. Atık yağın transferi sırasında, Tehlikeli ve Toksik Atıkların Kontrolü Yönetmeliği “Taşıma ile İlgili Hükümler”de belirtilmiş olan aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir [26]:

- Atık yağın transferi, mutlaka lisanslı bir taşıyıcı firma tarafından yapılmalıdır. Lisans, firmaya Valilik tarafından, firmanın taşıyacağı atık türünü ve aracının atığa uygunluğunu onaylatan firmaya 3 yıl için geçerli olmak üzere verilir.
- Transferi gerçekleştiren araçlarda, atık yağı üreten firma, taşıyıcı firma ve alıcı tesis tarafından doldurulan taşıma formu doldurulmalıdır. Taşıma formu olmadan, atık verme ve teslim işlemleri gerçekleştirilmemelidir.
- Taşıma sırasında, atık yağ dolu varil ve fiçiler, hiçbir şekilde döküntü ve sızıntı yapmayacak konumda, araç içerisinde ayrı bir palet üzerine yerleştirilmelidir. (Bkz. Şekil 3.2)



Şekil 3.23. Atık yağın transferi için taşıyıcı araçlara uygun yerleşimi [27]

Atık Yağın Nihai Bertarafı :

Kullanılmış atık yağın, nihai bertarafından önce ilk amaç, yağın geri kazanımını sağlamak olmalıdır. Atık yağlar, tesislerden toplandıktan sonra bazı işlemlerden geçirilip, rafinasyonu yapılarak, tekrar kullanılmak üzere piyasaya sunulabilir.

Geri kazanılmasının ve tekrar kullanılmasının mümkün olmadığı durumlarda, atık yağlar, çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilir. Bertaraf işlemi, yakma veya düzenli depolama şeklinde olabilir. Yakma işlemi, Tehlikeli ve Toksik Atıkların Kontrolü Yönetmeliği "Atıkların Bertarafına İlişkin Hükümler" in yakma ile ilgili hükümleri uyarınca, yanma kriterlerine sahip atık yağlar için, gereken yakma sıcaklığına haiz tesislerde Çevre Bakanlığı'nın uygun görüşü ile yapılabilir. Düzenli depolama işlemi ise, aynı hükümlerin Düzenli Depo Tesisleri ile ilgili maddeleri uyarınca, yönetmelikte verilen standartları sağlayan tesislerde yapılır.

3.8. Arıtma Tesisi Çamurları

Atıksu arıtımı sonucu oluşan, sıvı ya da yarı katı halde, çoğu zaman kokulu olan ve uygulanan arıtma tekniğine bağlı olarak ağırlıkça % 0.25 ile % 12 katı madde içeren atıklar arıtma çamuru olarak isimlendirilir. Arıtma ile giderilen maddelere bağlı olarak büyük hacimlerde çamur oluşumunun yanı sıra, çamurun işlenmesi ve bertarafı konusu da tesis için oldukça önemli ve kompleks problemlerden birisidir. Bu tür çamurlar,

1. arıtılmamış atıksu içerisinde önemli miktarlarda bulunan ve kokulu karakterini veren maddeleri içerir,
2. biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamur, ham atıksu içerisindeki organik maddelerin bileşimi halinde, fakat başka bir yapıda, bozunma ve kokuşma eğilimindedir,
3. çamurun büyük bir yüzdesinin su olması nedeniyle oldukça fazla hacim işgal eder [28],

Arıtma tipine ve amacına göre arıtma çamurlarının cinsleri; çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltim çamurları, kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan çamurlar ve içme suyu arıtma işlemleri sonucu oluşan çamurlar gibi gruplara ayrılabilir.

Arıtma çamurları içerisinde en tehlikelilerinin kimyasal arıtma çamurları olduğu ifade edilmekle birlikte, ilke olarak tüm atıksu kaynaklı çamurlar “tehlikeli ve zararlı madde” sayılır ve bu maddelerin su, toprak gibi alıcı ortamlara verilmesi yasaktır [17].

3.8.1. Atık çamurun özellikleri

Metal işlem sanayi atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan atık çamurlar, miktar ve içerik açısından farklılık göstermekle birlikte, bu çamurların ortak özelliği tehlikeli atık olarak nitelendirilmesi ve toksik özellikler taşımasıdır.

Tesislerde metal çamurları, kullanılan arıtma tipine göre, fiziksel ünitelerden kaynaklanan atıklar, ön çökeltim çamurları, kimyasal çökeltim çamurları ve biyolojik arıtma çamurları olarak ayrılabilir. Ayrıca, elektrokaplama işlemlerinden gelen, kaplama banyolarının dibindeki çamurlar, metal ısı işlemlerinden gelen yağ banyosunun soğutma sistemi çamurları, ve soğutma suyu arıtma çamurları da bu endüstrilerden kaynaklanan çamur türleridir [29].

Metal tuzlarının kimyasal yolla çöktürülmesi sonucu oluşan kimyasal çökeltim çamurları, metal işleme tesislerinde en büyük hacme sahip çamurlardır. Bu çamurlar genellikle koyu renkli, hatta çok miktarda demir içeriyorsa yüzeyi kırmızımtıraktır. Kireç çamurları gri-kahverengidir. Kimyasal çamurların hissedilebilir bir kokusu olmakla birlikte ön çökeltim çamuru kadar kötü değildir. Bu çamurlar sümüksü yapıdadır, demir ve alüminyum hidratlar çamura jelatinimsi yapı verirler. Çamur tank içerisinde uzun süre kalırsa, yavaş bir şekilde bozunmaya başlar. Bozunmadan dolayı önemli miktarlarda gaz çıkışı olabilir, uzun depolama süresine bağlı olarak çamur yoğunluğu artar [28].

Atık metal çamurlarının diğer önemli bir özelliği de içerdikleri değişik ağır metal konsantrasyonlarının (krom, nikel, demir, bakır, çinko, kurşun, civa, kadmiyum vs.) yüksek olmasıdır. Çamurun kaynaklandığı tesisin faaliyet alanı ve kapasitesine bağlı olarak değişmekle birlikte, Çizelge 3.21.’ de metal işlem sanayii arıtma çamurlarında bulunan tipik ağır metal konsantrasyonları verilmiştir.

Özellikle ağır metal konsantrasyonu yüksek olan çamurların su içeriğinin, dolayısıyla hacminin azaltılması ve insan/çevre sağlığına zarar vermeyecek bir şekilde nihai bertarafının yapılması, tesislerde atıksu işlemleri ve yönetimini tamamlayan, çevre kalitesini sağlamak açısından oldukça önemli bir unsurdur.

Çizelge 3.21. Metal işlem sanayii arıtma çamurlarında bulunan tipik ağır metaller ve konsantrasyonları [28]

KURU MADDE, mg/kg		
Metal	Aralık (min.-max.)	Ortalama
Arsenik	1.1-230	10
Bakır	84-17 000	800
Cıva	0.6-56	6
Çinko	101-49 000	1700
Demir	1000-154 000	17 000
Kadmiyum	1.0-3410	10
Kalay	2.6-329	14
Kobalt	11.3-2490	30
Krom	10-99 000	500
Kurşun	13- 26 000	500
Mangan	32-9870	260
Molibden	0.1-214	4
Nikel	2-5300	80
Selenyum	1.7-17.2	5

3.8.2. Atık çamuru susuzlaştırma ve bertaraf etme yöntemleri

Atık çamurun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak yoğunlaştırılması, çamur yatakları ve lagünlerde doğal olarak; basınç filtreleri, bantlı basınç filtreleri, kompresyon filtreleri, vakum filtreler ve santrifüjler ile mekanik olarak suyu alındıktan ve hacmi azaldıktan sonra düzenli depolama, çürütme, insinerasyon ve arazide yayma gibi yöntemlerle nihai bertarafı gerekir.

Yoğunlaştırıcılar

Yoğunlaştırma işlemi, arıtma tesislerinde çamur içindeki katı madde konsantrasyonunu arttırmak için kullanılan ekonomik bir işlemdir. Yoğunlaştırma işleminde, gravite, santrifüj ve flotasyon yoğunlaştırıcılar kullanmak suretiyle çamurun katı madde içeriği artırılırken, hacmi azaltılır.

Yoğunlaştırma ve çamurun suyunu alma işlemi, aynı amaca yönelik farklı işlemlerdir. Her iki işlem de katı madde konsantrasyonunda artış ve hacim azalması ile sonuçlanmasına rağmen, ulaşılan katı madde konsantrasyonları farklıdır. Yoğunlaştırma işleminde ulaşılan katı madde konsantrasyonu % 15' den azdır. Bu tür çamurlar hala pompalanabilir niteliktedir ve birçok yönden akışkan özelliklerine sahiptir. Çamurun suyunu alma işleminde ise, ulaşılan katı madde konsantrasyonu % 15' den büyüktür ve çamur katı madde gibi davranır [28].

Çamur kurutma yatakları ve lagünler

Çamur kurutma yatakları, çamurun suyunu almak için kullanılan en eski yöntemlerden birisidir. Çamur, kurutma yatağına verilmeden önce, içerisindeki patojenleri, istenmeyen kokuları gidermek ve potansiyel bozunmayı azaltmak veya durdurmak üzere stabilize edilir. Bu amaçla kireç, ısıtma işlemleri anaerobik ve aerobik çürütücüler kullanılabilir. Stabilizasyon işlemlerinden sonra elde edilen çamurlar, çamur kurutma yataklarında kurutulur. Kurutma işleminden sonra çamur, nihai bertaraf

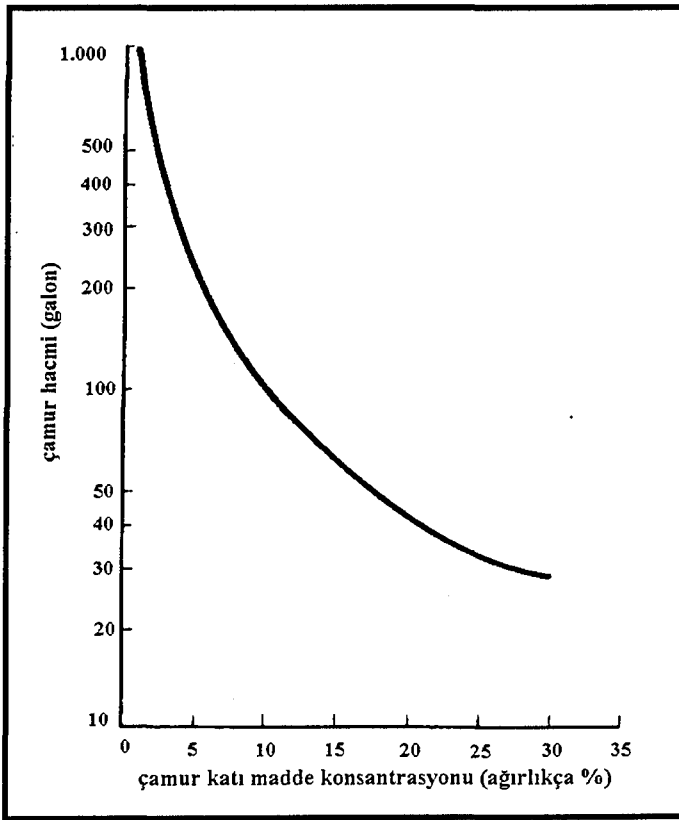
amacıyla düzenli depolama sahalarına gönderilir, tehlikeli ve toksik madde içermiyorsa tarımsal amaçlı gübre olarak toprakta kullanılır [28].

Klasik, kaplamalı, sentetik malzemeli ve vakumlu kurutma yatakları olarak dört farklı gruba ayrılan çamur kurutma yataklarının en önemli avantajları, maliyetinin düşük olması, işletilmeleri için özel bir itina gerektirmemesi ve elde edilen çamur kekinin katı madde içeriğinin yüksek oluşudur.

Kurutma lagünleri, çürük çamurların suyunu almak için kurutma yatakları yerine kullanılabilir. Koku ve rahatsız edici özelliklerinden dolayı arıtılmamış çamurlar, kireç çamurları veya konsantre kirlilikte çamurların suyunu almak için uygun değildir. Genelde oldukça sığ yapıda olan lagünlerin performansı zeminden olan sızıntının hızına bağlıdır [6].

Çamur filtreleri

Çamur filtreleri, mekanik yöntemlerle çamurun suyunu almayı amaçlayan sistemlerdir. Şekil 3.24' de görüldüğü gibi, örneğin ağırlıkça % 1 oranında katı içeren 1000 galon çamurun katı içeriğinin % 25' e çıkartılması durumunda çamur hacmi % 97 oranında azaltılarak 32 galona düşmektedir [18].



Şekil 3.24. Çamurdaki katı madde konsantrasyonu ve çamur hacmi arasındaki ilişki [18]

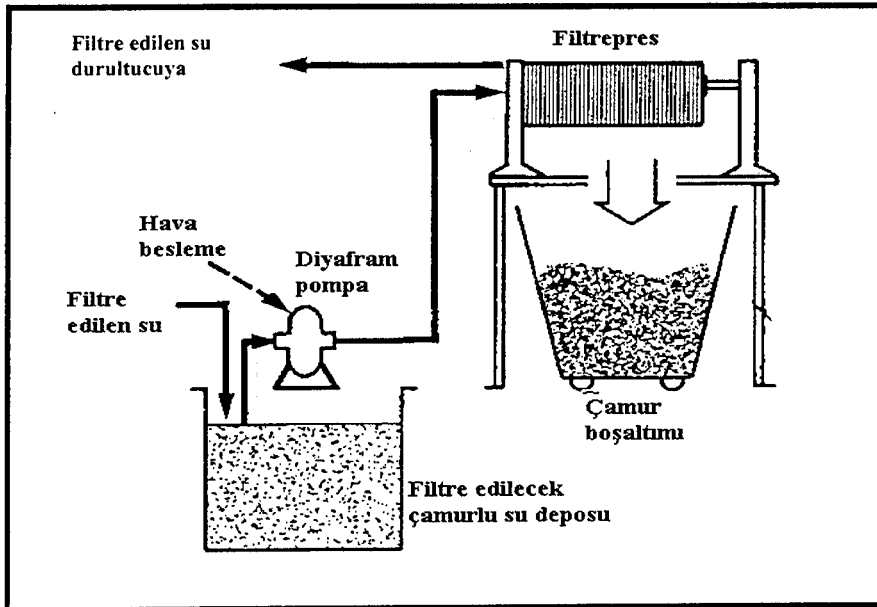
Çamurun karakterizasyonu ve miktarına bağlı olarak aşağıda verilen çamur filtresi türlerinden birisi seçilerek çamurun suyunu alma işlemi gerçekleştirilebilir [10]:

- İç içe geçen tabakalardan oluşan filtrepres (recessed plate filter press)
- Ardarda dizilmiş çerçeveli plakalardan oluşan filtrepres (plate and frame filter press)
- Döner vakum filtre
- Santrifüj
- Döner kayışlı filtre (belt filter)
- Diatome toprağı ile ön kaplama yapılmış basınçlı filtre (pressure pre-coat diatomaceous earth filter)
- Borusal filtre (tube filter)
- Kağıt filtre (paper filter)
- Kartuj filtre (cartridge filter)
- Torba filtre (bag filter)

Plakalı pres filtreler

Basınçlı filtreler, çamurdaki suyun bir basınç ve güç yardımıyla birbiri ardına dizili gözenekli bez plakalardan geçirilmesi suretiyle, çamur hacmini azaltan sistemlerdir. Düşük basınçlı ve yüksek basınçlı plakalı pres filtreler endüstriyel tesislerde en çok kullanılan mekanik su alma sistemleridir (Bkz. Şekil 3.25).

Pres filtrelerin, çamur kekinde yüksek katı madde konsantrasyonlarının sağlanması, filtrelenen çamur suyunun berraklığı ve katı maddelerin yüksek oranda tutulabilmesi avantajlarının yanı sıra, kompleks bir yapıya sahip olması, işletme maliyetinin yüksek olması ve filtre bezinin ömrünün kısa olması gibi dezavantajları da vardır. Düşük basınç filtrelerinde (80-150 psig) çamur katı madde içeriği % 20-40' a kadar artırılırken yüksek basınç filtrelerinde (150-225 psig) bu oran % 30-50' dir [18].



Şekil 3.25. Düşük basınçta çalıştırılan plakalı filtre pres [18]

Bantlı pres filtreler

Bantlı pres filtreler; çalışma prensibi oldukça basit, sürekli beslemeli mekanik su alma düzenekleridir. Kimyasal şartlandırma, graviteli drenaj ve çamurun suyunu almak için mekanik olarak basınç uygulaması kademelerinden oluşur. Bantlı pres filtreler, kentsel nitelikli büyük hacimli her türlü arıtma çamurunun suyunu almak için etkin olarak kullanılabilir [28].

Sıkıştırılmalı filtreler

Sıkıştırılmalı filtreler, çamuru su geçirgen membranlar arasında sıkıştırarak suyunu alan sistemlerdir. Filtrelerin içerisindeki bantlar ve silindirler çamurun sıkıştırma gücünü artırır. Polielektrolitin kullanıldığı atık çamurlarda, flokların sıkıştırılması ve suyunun alınması için oldukça etkin bir teknik olan kompresyon sistemi, bu tip çamurların filtrasyonu için geliştirilmiştir. Mekanik olarak daha karmaşık olan kompresyon filtreleri, santrifüjlere ve vakum filtrelere oranla daha az enerji gerektirir. Ancak, metal kaplama endüstrilerinde atık çamur miktarının azlığından dolayı, bu filtrelerin maliyeti yüksek olduğundan pek ekonomik değildir [18].

Santrifüjler

Santrifüjler, gravite yoğunlaştırıcılarla aynı prensiple çalışan sistemler olmakla beraber , çamuru hızlı çevirerek hızdan dolayı binlerce kat daha büyük birgüç ve basınç yaratır. Artan basıncın etkisiyle çöktürme prosesi hızlanır ve sıkıştırma verimi artar. Polielektrolit gereksinimi ve yüksek oranlarda katı madde içeriği elde edilemediğinden metal endüstrilerinde santrifüjlerin kullanımı gün geçtikçe azalmaktadır [18].

Vakum filtreler

Vakum filtreler büyük hacimlerdeki kentsel nitelikli arıtma çamurlarının suyunun alınmasında yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. Fakat sistemin kompleks oluşu, şartlandırıcı gereksinimleri ve işletme maliyetinin yüksek oluşundan dolayı kullanımı son yıllarda azalmıştır. Tipik bir vakum filtre, daha önceden şartlandırılmış fitrelenecek yağ çamurun bulunduğu, hazne içinde kısmen batık durumda olan, yatay konumdaki döner bir tamburdan ibarettir. Çamurun şartlandırılması amacıyla yaygın olarak kireç, demir 3 klorür ve polimerler kullanılır [28].

Vakum filtreler, % 3' den daha yüksek katı madde konsantrasyonuna sahip metal hidroksit çamurlarının şartlandırılmasına bağlı olarak, çamurun suyunun alınmasında oldukça verimli çalışır [5]. Bu filtreler, tamburun çamur haznesindeki derinliğine ve dönme hızına bağlı olarak çamurun katı madde oranını % 20-30 oranına kadar arttıran sistemlerdir [18].

İnsinerasyon

Atık çamurları bertaraf etme yollarından biri, onların yakılmasıdır. Termal olarak işlem gören çamurlar, genellikle suyu alınmış, ancak, işlenmemiş çamurlardır.

Çamurların, içerdikleri organik madde nedeniyle belli bir ısı değeri vardır. Ancak su içeriği % 10' dan fazla olan ve yağ içeriği yanma için yeterli enerjiyi sağlamayan çamurların yakılmasında, insineratörleri, atılan atıkların zararsız bileşenlere parçalanmasını sağlamak üzere, gerekli olan yüksek sıcaklığa getirebilmek amacıyla

ilave gaz veya sıvı yakıt kullanmak gerekir [17]. Yakma işlemi öncesinde çamurun ısıtılması da çamurun yanmasını kolaylaştırır ve yanma sırasında ilave yakıt gereksinimini azaltır.

Nihai bertarafa gidecek olan çamurun hacminin azaltılması, atık çamurun içinde bulunan bileşiklerin stabilizasyonu veya yok edilmesi, hatta toksik maddelerin bile zararsız hale getirilmesi gibi avantajlara sahip çamur yakma işleminin diğer çamur bertaraf işlemleri ile kıyaslandığında pekçok yararları vardır. Ancak, özellikle endüstriyel nitelikli bazı çamurlar; uçucu maddeler, klorürler, florürler, toksik bileşenler ve benzeri maddeler içerir ve bu tür maddelerin varlığı yakma işlemlerinin işletme masraflarını arttıran hava kirliliği kontrol sistemlerinin yapılmasını gerektirir. Çamurlar özelliklerine bağlı olarak; döner fırınlar, çimento fırınları, buhar kazanları ve akışkan yataklı yakıcılar gibi yakma sistemlerinde yakılabilir [28].

Islak hava oksidasyonu, piroliz ve ani kurutma ile yakma işlemleri de atık çamura uygulanan diğer ısı işlemlerdir. Islak hava oksidasyonu adıyla anılan ve patentli bir proses olan Zimpro prosesi, belirli basınç ve sıcaklık altında hâm çamurun sulu ortamda oksidasyonu prensibine dayanan bir sistemdir. Piroliz işlemi, dışarıdan hava girişi olmadan yapılan kontrollü bir yakma işlemidir ve kapalı bir sistemde yapıldığı için hava kirlenici emisyonlar kontrol altındadır ve hava kirliliğini önlemek üzere ek bir sisteme gerek yoktur. Ani kurutma, sıcak gaz içeren bir ortama çamurun enjekte edilmesi suretiyle çamur katı maddelerinden suyun hızlı bir şekilde uzaklaştırılması işlemidir [28].

Çamur çürütme ve kompostlaştırma

Atıksu çamurları, çok fazla zehirli madde içermediği takdirde aerobik ya da anaerobik koşullarda çürütülerek, hacimce çok azalmış, gübre değeri çok yüksek ve kararlı bir yapıda çamur ve anaerobik çürütmeden metan biyogazı elde edilebilir.

Aerobik çürüme ile anaerobik çürüme kıyaslandığında aerobik çürümenin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [28]:

- Kolayca bertaraf edilebilecek kokusuz, humusa benzer, biyolojik olarak stabil bir son ürün elde edilir
- Oluşan çamurun su alma karakteristikleri çok iyidir.
- Uçucu katı madde indirgenmesi anaerobik çürüme ile elde edilene yakındır.
- Substrattaki BOI konsantrasyonları oldukça düşüktür.
- Çamurun gübreleme değeri yüksektir.
- Yatırım maliyeti düşüktür.
- İşletme problemleri azdır.

İyi çürütülmüş olsalar bile, atıksu arıtma çamurlarının doğrudan tarımsal amaçlı kullanımı ya da bertaraf edilmesi uygun değildir. Çürütülmüş çamurlar, hala bir miktar patojenik organizma ve/veya kimyasal toksinler içerebilir. Çamurun çürütülmesinin ardından yapılan kompostlaştırma işlemi, emniyet ve estetik açıdan kullanıma uygun, nihai ürün elde edilebilen bir aerobik biyolojik çamur stabilizasyonu yöntemidir [28].

Tehlikeli ve toksik maddeler içeren çamurların gübrelemede kullanımı ise oldukça sakıncalıdır. Bu çamurlar, toprakta ağır metal ve tuz gibi maddelerin birikimine neden

olarak çoraklaşma ve ağır metallerin bitkilerin bünyesine geçmesi gibi çevre ve insan sağlığı için zararlı, istenmeyen sonuçlar doğurabilir [17].

Düzenli depolama

Düzenli depolama, katı atıkların ve arıtma çamurlarının halk sağlığı ve güvenliğine zarar vermeyecek şekilde depolanması ve üzerlerinin örtülmesi işlemidir. Çamur depolama işlemlerinin uygulanmasında ana amaç, çamur hacminin azaltılarak deponi alanındaki mevcut depolama kapasitesini attırmaktır. Bu nedenle, düzenli depolamaya verilecek olan çamurların önceki kısımlarda bahsedilen doğal veya mekanik yöntemler uygulanarak suyu alındıktan sonra depolanması gerekir. Suyu alınmış ve serbest su ihtiva etmeyen arıtma çamurları tek başına veya evsel katı atıklarla karıştırılarak depolanabilir. Kentsel katı atık depolama tesislerine gönderilen çamurlar genellikle çürümüş, kurutma yataklarında kurutulmuş ve suyu alınmış çamurlardır. Su içeriği, % 65-80 arasında olan çamurların deponi alanına kabulü özel izne bağlı iken, katı madde içeriği daha yüksek olan çamurlar problem yaratmaksızın depolanabilir. Bunlar düzenli depolama tesislerinde depolandıktan sonra üzerleri toprakla örtülerek çevresel etkileri minimize edilir. Genel olarak tehlikeli ve zararlı atık sınıfına giren endüstriyel nitelikli arıtma çamurlarının “mono deponilerde” nihai bertarafı düşünülmelidir.

Çamurun düzenli depolanmasında aşağıdaki hususlar gözönünde bulundurulmalıdır:

- Çamur veya katı atıklar, deponi alanında önceden hazırlanan yerlere kontrollü olarak boşaltılmalıdır.
- Çamur veya katı atıklar depolama sahasında sérildikten sonra dozer gibi ekipmanlarla sıkıştırılmalıdır.
- Çamur veya katı atıklar belli aralıklarla depolandıktan sonra üstü ince toprak tabakasıyla örtülmelidir.
- Kaplama malzemesi ile üzeri örtüldükten sonra sıkıştırılmalıdır.

Bu işlemler yapıldıktan sonra düzenli depolama alanlarının rekreasyon ve benzeri amaçlarla kullanılması mümkündür [28].

Atık çamurun arazide bertarafı

Atık çamurların araziye serilmesi yöntemi; nihai bertaraf yöntemi olarak düşünülmekle birlikte, amaç arıtma çamurlarının toprak şartlandırıcı olarak değerlendirilmesidir. Çünkü toksik olmayan arıtma çamurları, toprak özelliklerini iyileştirerek, erozyonu önlediği gibi bitkiler için yararlı besin maddeleri de içerir. Arıtma çamurlarının arazide değerlendirilmesi için çevre açısından zararsız olmaları, organik ve inorganik maddelerin yararlı bir halde madde donanımını sağlaması gerekir. Bu yöntem çoğunlukla ön işlemlerden geçmiş evsel nitelikli çamurlara uygulanır. Tankerlerle yayma, püskürtme ve toprak yüzeyi altına enjeksiyon ve karık yöntemi, çamurun arazide bertarafı için kullanılan yöntemlerdir [28].

4. METAL İŞLEM SANAYİNDE ATIK MİNİMİZASYONU

4.1. Atık Minimizasyonu Prosedürü

Endüstrilerde, oluşan atıkların arıtılması ve bertarafı kadar, atığın kaynağında (henüz atık oluşmadan) azaltımını amaçlayan atık minimizasyonu da oldukça önemli bir kavramdır. Aslında, son yıllarda atık minimizasyonu kavramı atık arıtımı ve bertarafından üstün tutulmuş ve çalışmalar bu konu üzerine yoğunlaşmıştır.

Atık minimizasyonu, geniş ve detaylı çalışma isteyen bir konudur. EPA bu konuya oldukça önem vermiş ve atığın kaynağında azaltımını ve geri kazanımını amaçlayan bir Atık Minimizasyon El Kitabı (Waste Minimization Opportunity Assessment Manuel, WMOA) hazırlamıştır. Bu el kitabı aynı zamanda atık minimizasyon oditi olarak da anılır. Bu program değişik adımlardan oluşur ve Şekil 4.1 bu adımları özetler [2].

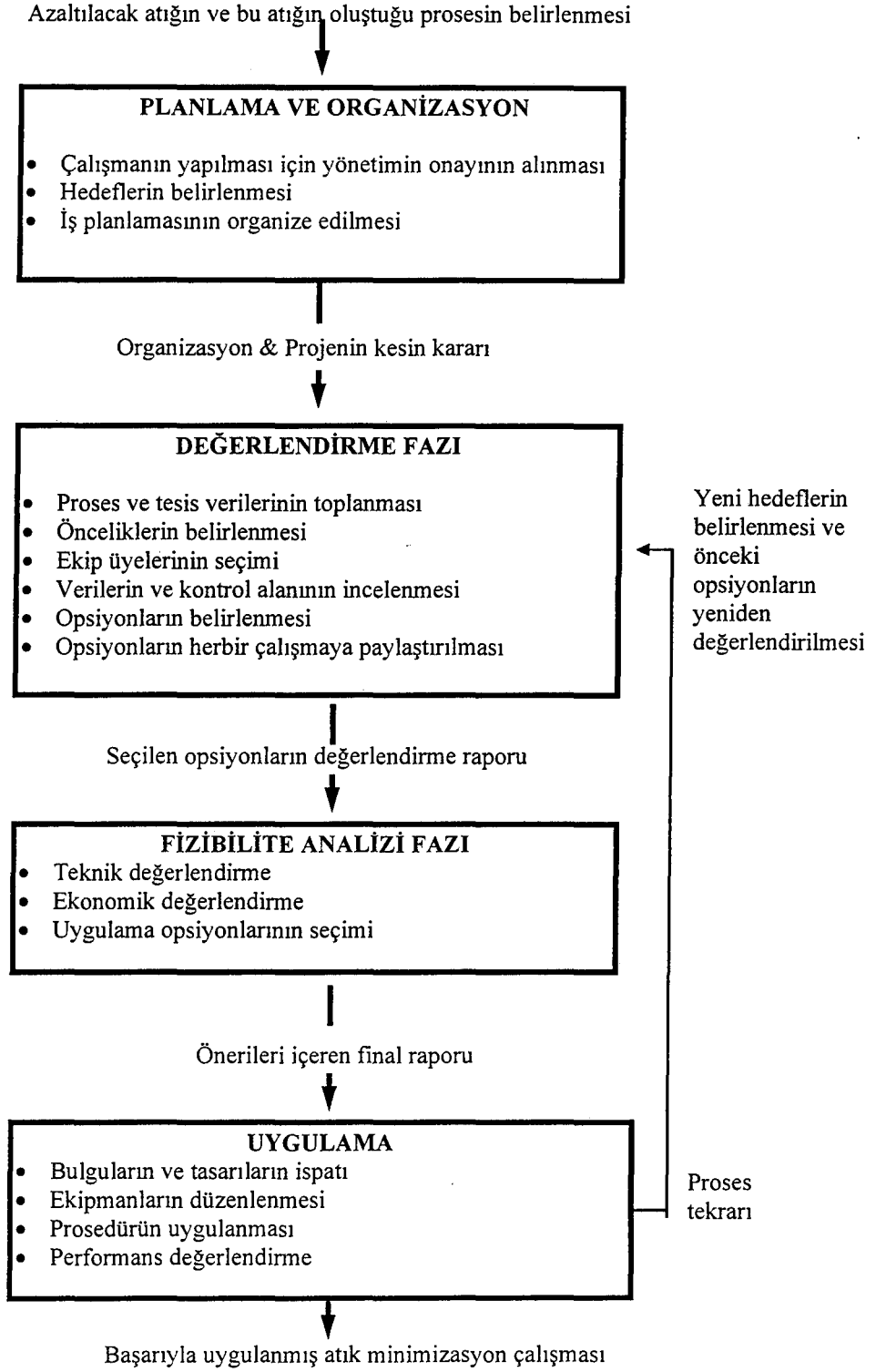
Planlama ve organizasyon: Minimize edilecek atığın ve program sonucunda ulaşılması istenilen hedeflerin belirlendiği ve çalışmanın başladığı fazdır [2].

Değerlendirme: Proses ve tesis verilerinin toplanması, atık akımlarının belirlenip atığın karakterizasyonunun yapılması ve potansiyel tehlikelerinin belirlenmesini amaçlar. Bu amaca yönelik olarak, prosesde girdi-çıkıtı dengesi (kütle denkliği) kurulabilir ve kayıplar incelenebilir. Önceliklerin belirlenmesinde, atığın miktarı, çevre talimatları, çalışanların iş güvenliği, atığın tehlikeleri ve çalışmanın ekonomisi gözönünde bulundurulur, bir öncelik sıralaması yapılır. Projede görev alacak ekip üyeleri, atığın olduğu ortamlarda çalışanlardan ve özellikle, atık akımı ve olduğu tesis hakkında bilgi sahibi kişilerden seçilir. Ekip tarafından, veriler ve proses, bakım operasyonları, hammadde depolama alanları ve ürünler incelenir. Bundan sonraki adımda teknik ve ekonomik değerlendirme yapılarak, devlet kuruluşları, teknik raporlar, ekipman satıcıları, danışmanlar, tesis mühendisleri ve operatörlerden bilgi alınarak, atık minimizasyonu için öneriler belirlenir ve ardından en fizibil olacak opsiyonlar seçilir [2].

Fizibilite Analizi: Eğer prosesde ve ekipmanlarda değişiklik yapılacaksa, bu değişikliğin ürünün kalitesinde ve atık miktarında meydana getireceği değişikliklerin fizibil olup olmadığı belirlenir [2].

Uygulama: En fizibil olan teknik ve ekonomik minimizasyon opsiyonu tesiste uygulanır ve uygulamalar, ekip tarafından periyodik olarak kontrol edilir[2].

Atık minimizasyonu genel anlamda, kaynağında azaltım ve geri kazanım olarak ayrılabilir. Kaynağında azaltım; iyi işlem uygulamaları, teknoloji değişiklikleri, hammaddelerdeki değişiklikler ve ürün değişikliklerini içerir. Geri kazanım ise; atıkların yeniden kullanımını içerir [2].



Şekil 4.1. Atık minimizasyon değerlendirme prosedürü[2].

4.2. Metal İşlem Sanayiinde Atık Minimizasyonu Opsiyonları

4.2.1. Hammadde hazırlanması ve depolanması

Proseslerde kullanılacak hammaddelerin uygunsuz bir şekilde hazırlanması ve depolanması bozulma ve eskimelere neden olabilir ve bu da başka atıklara ve tehlikelere yol açar. Hammadde hazırlanması ve depolanması sırasında aşağıdaki hususlar gözönünde bulundurulmalıdır [2]:

- Hammaddeler, imalatçıya gelmeden önce kabul edilebilir ya da edilemez olduğu ve zararlı olup olmadığı ön kontrolden geçirilmelidir.
- Hammaddelerin (özellikle kimyasalların) uygun depolama şartları belirlenmeli (uygun sıcaklık ve nem vb.) ve kimyasal varilleri kullanım ömrü bitene dek aynı şartlarda depolanmalıdır.
- Depolama alanı tozdan, kirletici bileşenlerden ve kimyasal döküntülerden korunmalıdır.
- Depolama alanı için, kimyasalların kullanım ömrünün dolmasını önlemek üzere envanter kontrolü yapılmalıdır.
- Hammaddeler ihtiyaca göre temin edilmelidir.
- Kimyasal maddelerin kullanım ömürleri ve etkinliği kontrol edilmeli, süresi dolanlar atık kategorisine alınmalıdır.

4.2.2. İmalat atıkları

Kaynağında azaltım teknikleri

İmalat işlemleri sırasında tezgahlarda kullanılan kesme, yağlama ve soğutma sıvılarının bir atık kaynağı haline gelmesini önlemek üzere aşağıda sıralanan bakım programı uygulanabilir [2]:

- Maksimum performans sağlayacak, uzun kullanım ömrüne sahip, kaliteli ve stabil kesme sıvılarının kullanılması
- Sıvılara eklenecek suyun saflaştırılması ve demineralize olması
- Sıvının kimyasal özelliklerinin kontrolü (pH, çözünmüş O₂ vb.),
- Sıvıda konsantrasyon kontrolü,
- Sıvının kirlenmesinin azaltılması,
- Yağ karterleri ve makinaların periyodik olarak temizlenmesi
- Tramp yağ kirlenmelerini önlemek üzere, conta ve boruların periyodik kontrolü
- Sıvılarda mikrobik gelişmeyi önlemek için, filtreleme ve santrifüjleme ile sıvının temizlenmesi,
- Sıvı kontrolü sorumluluğunun bir kişiye verilmesi,
- Sıvılara, sigara, yiyecek paketi gibi kirleticilerin atılmasını önlemek üzere atölyelerde iyi temizlik yapılması,
- Klor, sülfür, fosfor, fenol ve aerosol içerebilecek kimyasal aktif yağlayıcıların dikkatli kullanılması,
- Sentetik metal işleme sıvıları kullanılarak, sıvı kullanım ömrünün arttırılması,

- Soğutma amaçlı kullanılan sıvıların yerine, azot, karbon dioksit gibi gazların kullanılması, ancak bu gazların maliyeti yüksektir ve bu nedenle kullanımları sınırlıdır.

Metal işleme sıvılarının geri dönüşümü

Metal işleme sıvılarının değişik yöntemler kullanılarak geri dönüşümünün yapılması ve yeniden kullanılması hem yüksek fiyatlı yeni alım maliyetleini, hem de sıvıların bertaraf maliyetlerini azaltacaktır. Bu amaca yönelik olarak, aşağıda sayılan metodlar kullanılabilir [2]:

- Filtrasyon ve ultrafiltrasyonla suyun giderimi,
- Flotasyon yöntemiyle yağın sudan ayrılması,
- Sıvıdan katı kirleticilerin ayrılması için hidrokinon ile santrifüjleme yapılması. 5 mikrondan daha küçük boyutlu katıların ve az miktarlardaki yağın giderimi için etkin olarak kullanılabilir bu yöntem, mekanik olarak basit bir sistem olması ve işletim kolaylığı gibi avantajlara sahiptir.
- Santrifüjleme ile, metal talaşlarından yağların arındırılması,
- Metal işleme sıvılarından koku ve rengin giderilmesi için santrifüjleme ve pastörizasyon metodlarının birarada kullanılması.

4.2.3. Parça temizleme atıkları

Kaynağında azaltım teknikleri

a. Solventler:

İslatma tankları ve buharla yağ giderme sistemlerinde (vapor degreaser) kullanılan solventlerin kaynağında atık azaltımı için en önemli iki hedef, buharlaştırma kaybının minimizasyonu ve solvent kalitesinin korunmasıdır. Bu hedeflere yönelik olarak, aşağıda verilen yöntemler kullanılabilir ve atık minimizasyonu sağlanabilir [2] :

- Tankların üzerinde, kullanılmadığı zamanlarda kapak tertibatı bulundurulmalıdır. Bu yöntemle buharlaşma kaybı % 24-50 oranında azaltılabilir.
- Soğutma ceketlerine ilave olarak ek soğutma sisteminin kullanılması.
- Aynı anlamda isimli solventlerin zıt kirlenmelerinden sakınılması. Örneğin bir tank triklor etilene % 1' in onda biri kadar az bile olsa, bir miktar 1,1,1-triklor etan karıştırılması, asidik ortama sebep olur ve çözücüye kullanılamaz duruma getirebilir.
- Solventlerde asidik ortama sebep olabilecek su kirlenmelerinin önlenmesi,
- Solventlerin temizleme etkinliğini azaltacak ve asidik ortama neden olacak, tank dibinde birikmiş çamurların (organik katılar, çinko, alüminyum içeren) sık sık temizlenmesi,
- Solvent banyolarında uygun yenileme çözeltilerinin kullanılması,
- Tesisteki tüm solvent banyolarında aynı tip solvent kullanılması,
- Buharla yağ giderme sistemlerinde ısı kontrolü,

b. Sıvı temizleyiciler

Metal yüzeyi üzerinden organik kirleticiler, oksidasyon, pas ve kabartıları (scale) gidermek üzere kullanılan asit ve alkali içeren sulu temizleyicilerin kaynağında azaltımı için, tank içerisindeki çamurun sık temizlenmesi ve kuru temizleme/sıyırma metodları gibi yöntemler kullanılabilir.

c. Aşındırıcılar

Aşındırıcı kullanımının kaynağında azaltımı için;

- Cilalama operasyonları için gres içermeyen ve su bazlı tutkal kullanılması,
- Sıvı sprey aşındırıcı kompozisyonları kullanılması,
- İmalat ekipmanlarında su seviyesinin kontrolü,
- Alüminyum oksit ve seramik gibi sentetik aşındırıcıların kullanılması önerilebilir [2].

d. Çalkalama suları

Su kullanımının azaltılması ve banyo ortamından parça ile sürüklenen kirliliklerin azaltılması, parça yıkama operasyonlarında kaynağında azaltım için oldukça önemli bir adımdır. Bu amaca yönelik olarak, aşağıda sayılan yöntemler uygulanabilir[2]:

- Birden fazla parçanın işlem görmesi için kullanılan raf ve askı sistemlerinin fazla su kullanımını önleyecek şekilde dizayn edilmesi
- Çalkalama sistemlerinin uygun dizaynı ve işletilmesi
- Parça üzerinde spray yıkama yapılarak, suyun homojen dağılımının ve su tüketimi azaltımının sağlanması
- Yıkama tanklarında sıvı temizleyiciler için sis nozulları (fog nozzle) kullanılması
- Alkali temizleme operasyonlarından kaynaklanan çalkalama suları, asit temizleme operasyonlarında parça yıkamada kullanılabilir. Bu kombine yöntem, atıksu miktarını azaltacak ve böylece arıtım maliyeti düşecektir, ancak ihtimamli temizleme gerektiren parçalarda böyle bir yöntemin uygulanması sakıncalı olabilir.
- Çalkalama sistemlerinde deiyonize su kullanılması kimyasal banyolarının ömrünü uzatacaktır.

e. Kullanılan metaryallerin değiştirilmesi (media substitution)

Parça temizleme işlemlerinde kullanılan solventler, sulu temizleyiciler ve aşındırıcılar gibi kimyasalların daha az zararlı olan alternatifleri ile değiştirilmesi, potansiyel tehlikeleri azaltacaktır. Bu amaçla, aşağıda verilen değişiklikler uygulanabilir[2].:

- Perkloretilen (PCE) ve trikloretilen (TCE) yerine 1,1,1 trikloreten kullanılabilir.
- Benzen ve diğer toksik aromatikler, alifatik solventlerle yer değiştirilebilir.

- Solventler yerine alternatif olarak daha az toksik olan ve daha kolay parçalanabilir terpenler kullanılabilir. Ancak, buharla yağ giderme işlemlerinde tercih edilmez.
- Solventlere alternatif olarak sulu temizleyiciler kullanılabilir.
- Solventlerin yerine plastik veya tuz bazlı mekanik ve termal alternatifler kullanılabilir.

Geri dönüşüm metodları

Solventlerin gravite seperasyon, filtrasyon, distilasyon, ve yakma yöntemleriyle tesis içerisinde (on-site) ve geri kazanım tesislerinde (off-site) geri dönüşümü yapılabilir. Sulu temizleyiciler ise yağ ayırma ve kristalizasyon teknikleriyle geri kazanılabilir ve yeniden kullanılabilir.

4.2.4. Yüzey işlemleri ve kaplama atıkları

Kaynağında azaltım metodları

a. Proses çözeltileri

Yüksek konsantrasyonlarda ağır metaller, siyanür ve toksik bileşenler içeren proses çözeltilerinin kirlenmesi ve toksik atıkların oluşması aşağıda sayılan yöntemlerle azaltılabilir [2]:

- Proses banyolarının uygun dizaynı ve bakımı banyoların ömrünü uzatır.
- Parçaların işlemler arasında etkin bir şekilde yıkanması, çözeltilerin bir banyodan diğerine taşınımını engeller.
- Siyanür kaplama çözeltileri yerine daha az toksik serbest siyanür çözeltileri ya da siyanür içermeyen çözeltiler kullanılabilir.
- Krom (+6) çözeltilerine alternatif olarak daha az toksik olan krom (+3) çözeltileri kullanılabilir. Ancak, krom (+3) banyoları sert krom kaplama için uygun değildir.
- Metal parçalar, yüksek basınç altında mekanik olarak kaplanabilir.
- Elektronik uygulamalarda kimyasal buhar depozisyon (CVD) yöntemi fizibil olabilir.

b. Atık çalkalama suları

Atık çalkalama sularının miktarının azaltılması, yüzey işleme ve kaplama atıklarında önemli derecede azalma sağlayacaktır. Özellikle banyo ortamından sürüklenen kirleticilerin miktarının azaltılması, parçayı yıkamak için gerekli su miktarını azaltacaktır. Sürüklenme kirliliklerinin ve çalkalama suları miktarının azatılması için aşağıda sayılan birçok yöntem mevcuttur [2] :

- Parçanın çözeltiden çekme hızının azaltılması ve üzerindeki sıvının akıtılması için banyo üzerinde daha uzun süre bekletilmesi,
- Kaplama banyosu bileşiklerinin konsantrasyonunun azaltılması,
- Banyolarda yüzey gerilimini azaltan maddelerin (surfactan) kullanılması,

- Kaplama çözeltilerinin vizkozite ve yüzey gerilimini azaltmak üzere, sıcaklığının düşürülmesi,
- Metal parçaların kaplama tanklarına uygun pozisyonlarda yerleştirilmesi, banyo ortamına sürüklenen kirleticilerin banyoya tekrar geri dönmesini sağlayacaktır,
- Çalkalama tanklarının sürüklenme kirliliklerine meydan vermeyecek şekilde dizaynı,
- Çoklu yıkama tanklarının kullanılması,
- Suyun parça yüzeyine direk spreyleme yöntemiyle tutulması,
- Proses banyolarının mekanik olarak çalkalanması suretiyle etkinliğinin artırılması.

c. Arıtma atıkları

Atıksuların ve toksik metal çamurlarının azaltımı da atık minimizasyonu için önemlidir. Bu amaca yönelik olarak,

- Çamur miktarını arttıran kireç kullanımına alternatif olarak, kostik kullanılabilir,
- Kaplama banyolarında krom (+6) yerine, daha az toksik olan krom (+3) çözeltileri kullanılması toksik atıksu miktarını azaltır,
- Atık akımlarının ayrılması ve her birinin ayrı ayrı arıtılması arıtım verimini arttıracak ve çözeltilerin geri kazanımına olanak verecektir.
- Atık çamurun etkin bir şekilde susuzlaştırılması, atık hacmini azaltacaktır [2].

Geri kazanım metodları

d. Atık maddelerin yeniden kullanımı

- Kullanılmış asit ve alkali temizleyiciler, atıksu arıtımında pH ayarlamak üzere tekrar kullanılabilir.
- Asit temizleme-çalkalama suları diğer bir hafif asit aşındırma prosesinde yıkama suyu olarak kullanılabilir.
- Asit banyoları çalkalamalarından geri kazanılan su, alkali sürüklenme kirliliklerinin nötralizasyonunda kullanılabilir.

e. Metal geri kazanımı ve suyun yeniden kullanımı

Buharlaştırma, tere osmoz, iyon değiştirme, elektrolitik geri kazanım ve elektrodializ gibi ileri arıtım yöntemleriyle kullanılmış çözeltilerden metaller geri kazanılabilir ve çalkalama suları tekrar kullanılabilir. Bu yöntemler hakkında 5. Bölümde ayrıntılı bilgi verilecektir.

4.2.5. Boya atıkları

Kaynağında azaltım metodları

- Az miktarda ve değişik renklerde boya kullanan tesislerin küçük boyutlu kap ve fiçılarda boya alımı yapması, atık kap ve fiçıları azaltacaktır. İşlemler sonucunda oluşan tehlikeli olmayan atıklarla, potansiyel tehlikeli atıkların ayrılması, tehlikeli atık miktarını azaltacaktır.
- Boya tüketimi fazla olan tesisler, ambalajsız dökme boya alarak, bir konteyner içinde depolayabilir. Böylelikle, hem atık miktarı azaltılacak, hem de konteyner yeniden temizlenip kullanılabilir.
- Boya tüketiminin kontrollü bir şekilde yapılarak, artık boya oluşmasının önlenmesi, yeni alım maliyetlerini ortadan kaldıracaktır.
- Boyama işlemleri sırasında boyanın fazla püskürtülmesini engelleyen ekipmanlar kullanılması, gereğinden fazla tüketimi azaltacaktır.
- Boyayı uygulayan operatörlerin eğitilmesi, etkin boyama işlemi sağlayacaktır.
- Solvent bazlı boyalara alternatif olarak su bazlı, geçici radyasyonlu (radiation-curable coating) ve toz boyaların kullanılması potansiyel tehlikeleri azaltacaktır [2].

Geri kazanım metodları

Boya içerikli ekipmanlar (püskürtme tabancaları, fırçalar, silindirler vb.) sık sık çözücülerle temizlenir. Aşağıdaki yöntemler kullanılarak temizleme atıklarının geri kazanımı gerçekleştirilebilir [2] :

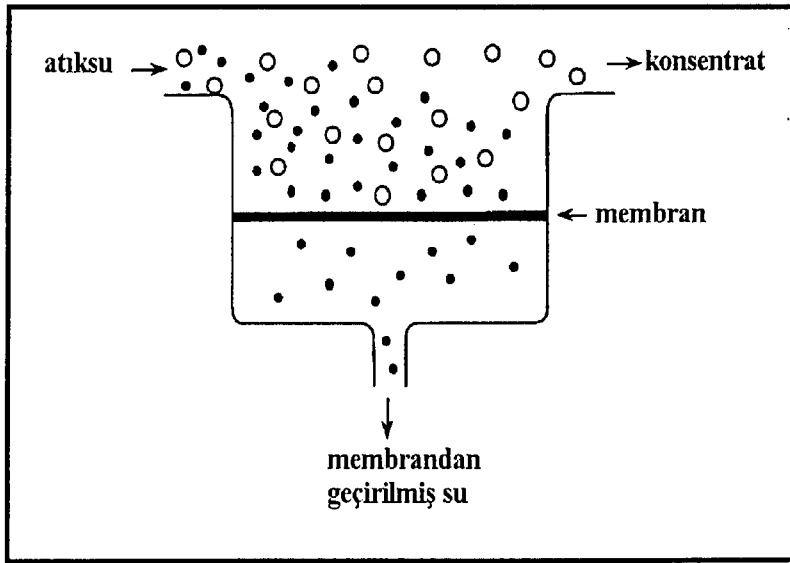
- Boya-solvent karışımları toplanabilir ve daha sonraki bir boya operasyonunda boya formülasyonunun bir parçası olarak kullanılabilir.
- Karışım, tesis içerisinde(on-site) ya da bir geri kazanım tesisinde (off-site) distile edilebilir ve mümkünse solvent ve boya yeniden kullanılabilir.
- Boya tortuları, solventten filtrasyon ve santrifüjleme yöntemleriyle ayrılabilir ve solvent yeniden kullanılabilir.
- Solventler tamamen kirleninceye kadar tekrar kullanılabilir.

5. METAL İŞLEM SANAYİİ SIVI ATIKLARININ İLERİ ARITIM YÖNTEMLERİYLE GERİ KAZANIMI

Metal işlem sanayiinde kullanım süresi dolan ve atık niteliği kazanan proses çözeltileri, kaplama çözeltileri, solventler, metal tuzları gibi sıvı atıklarının ve parça yıkama-çalkalama çözeltilerinin ters osmoz, elektrolitik geri kazanım, karbon adsorbsiyonu, buharlaştırma, kristalizasyon, elektrodializ ve iyon değiştirme gibi son yıllarda kullanımı oldukça artmış, ileri arıtım yöntemleriyle geri kazanımı ve yeniden kullanımı mümkündür.

5.1. Ters Osmoz Prosesi

Ters osmoz prosesinde su, bir membranın bir tarafından diğer tarafına geçirilmek suretiyle, daha az miktarda ve yoğun konsantrasyondaki çözelti fazı membranın arkasında kalır ve safsızlıklarından arındırılmış su fazı membranın diğer tarafına geçer. Sudan ayrılan çözelti, kirleticiler ya da krom, nikel, bakır bileşikleri gibi metal kaplama ve işleme proseslerinden kaynaklanan kullanılabilir kaplama banyosu sıvıları içerebilir. Geri kazanılan su, istenen su kalitesine ve tesisin ihtiyaçlarına bağlı olarak arıtılabilir ya da yeniden kullanılabilir. Şekil 5.1' de gösterildiği gibi, membrandan geçirilen su, nüfuz eden (permeate) ve membranın gerisinde kalan konsantre çözelti alıkonan (retentate) olarak tanımlanır [30].

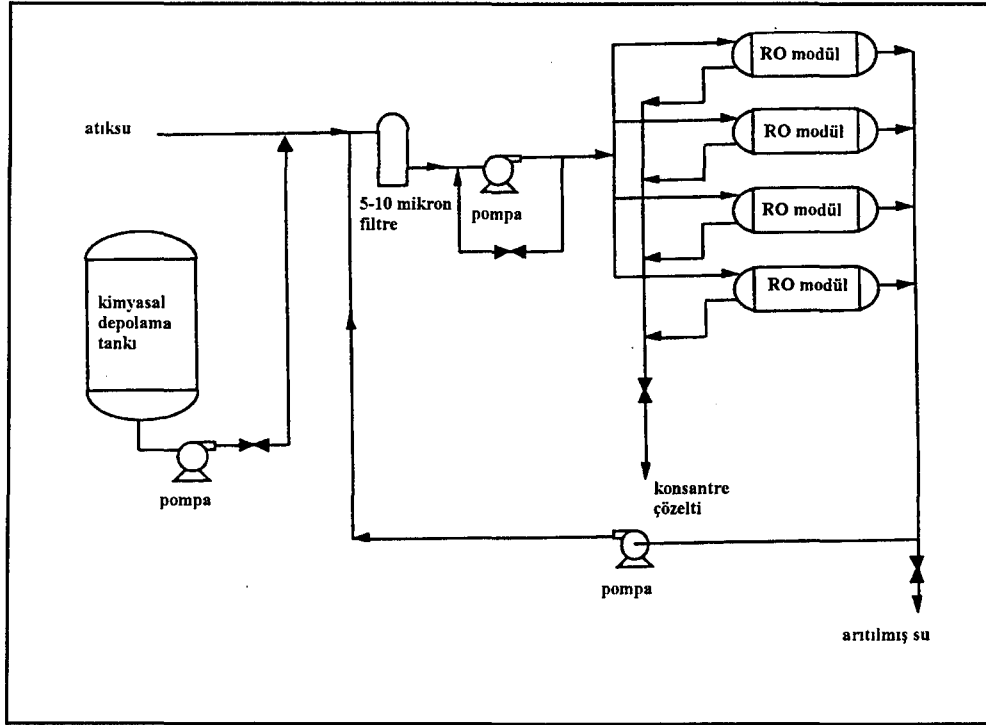


Şekil 5.1. Ters osmoz prosesinin şematik gösterimi [30]

Sistemden, sıvılar belli bir basınç altında (200-1200 psi) geçirilir ve membranın iki bölgesi arasındaki ozmotik basınç farkına dayalı olarak su ile konsantre sıvı birbirinden ayrılır. Ters osmoz prosesinin içerdiği temel unsurlar, membran, membranın içinde bulunduğu tank ve yüksek basınç pompasıdır (Bkz. Şekil 5.2). Sistemin sıvı geri kazanımı verimi sıcaklığa, işletme basıncına ve membranın yüzey alanına bağlıdır. Genellikle kullanılan membran türleri, borulu (tubuler), spiral ve içi boş fiber

membranlardır (hallow fiber) (Bkz. Şekil 5.3). Membranların hammaddeleri ise selüloz asetat, aromatik poliamidler ve çapraz bağlı poliamidlerdir.

Ters osmoz prosesinde, membranın kirlenip tıkanmasını önlemek üzere, mangan, kalsiyum ve demir tuzları gibi oksitleyici maddeleri gidermek, partikül maddeleri filtre etmek, yağ-gresi gidermek ve mikroorganizmaları parçalamak için sisteme verilen çözelti bir ön arıtmadan geçirilmelidir [13].



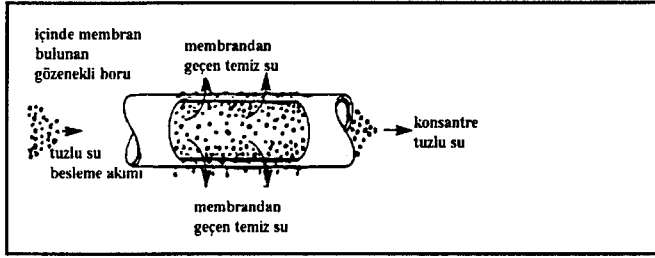
Şekil 5.2. Ters osmoz sisteminin şematik gösterimi [30]

Ters osmoz; özellikle metal kaplama banyolarından kaplama çözeltileri ve yıkama sularının geri kazanımı amacıyla oldukça geniş uygulama alanlarına sahiptir. Ağır metallerin giderimi için kullanılan bir ters osmoz prosesinin laboratuvar denemesiyle ilgili sonuçları Çizelge 5.1' de ve kaplama banyolarından su geri kazanım prosesi Şekil 5.4' de verilmiştir [30].

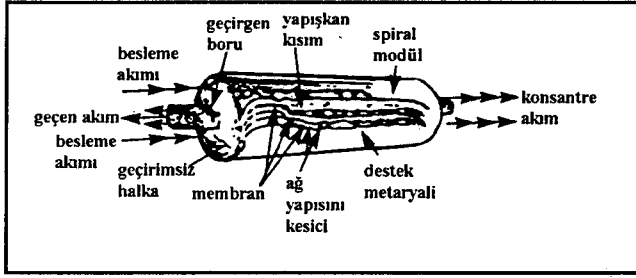
Nikel kaplama-yıkama suları %90' ın üzerinde ters osmoz prosesiyle arıtılabilir ve kaliteli ve tekrar kullanılabilir yıkama sularının geri kazanımı sağlanır. Halihazırda değişik özellikteki nikel banyoları için kullanılan en az 150 farklı ters osmoz prosesi vardır. Bu proseslerde en çok kullanılan membran türü selüloz asetat membrandır.

Bakır sülfat yıkama sularının geri kazanımı için kullanılan 12 adet ters osmoz prosesinde genelde kullanılan membran türleri, içi boş fiber poliamid, selüloz triasetat ve spiral membrandır. Bu membranların kullanım ömrü 1-3 yıldır.

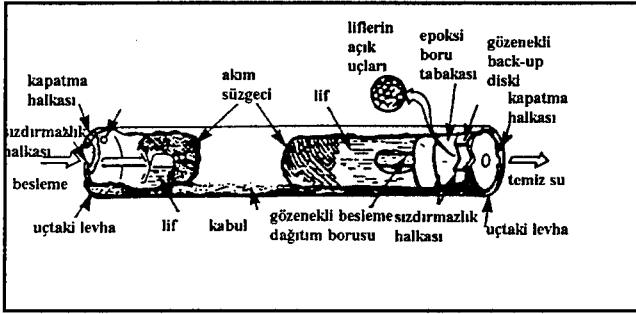
Çinko sülfat banyolarının geri kazanımı için kullanılan bir ters osmoz prosesinde, 45 galon/saat (170 L/saat)'lik atıksu beslemesinden % 88 geri kazanım verimi elde edilir [30].



(a) Borulu membran



(b) Spiral membran



(c) İçi boş fiber membran

Şekil 5.3. Ters osmoz prosesinde kullanılan membran türleri [13]

Kadmiyum ve krom yıkama suları da ters osmoz prosesiyle arıtılabilir. Kadmiyum uygulamalarında membranlar daha fazla kirlenmeye maruz kalırken, krom uygulamalarında membran kirlenmesi daha azdır.

Ters osmoz prosesi, deniz suyu ve tuzlu sulardan içme ve kullanma suyu elde edilmesi amacıyla da kullanılır. Ayrıca, buharlaştırıcılarda enerji ihtiyacını azaltmak ve proses etkinliğini arttırmak üzere ön konsantratör olarak da kullanılır. Bu uygulamalara ilave olarak, içecek endüstrilerinde, meyva sularını konsantre etmek amacıyla kullanıldığı uygulamalar da vardır [30].

Avantajları

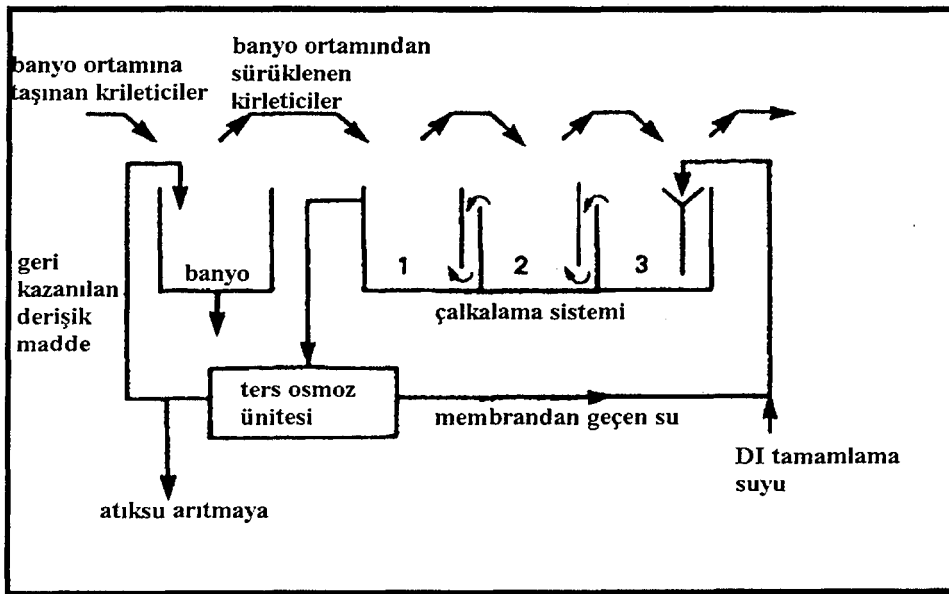
Ters osmoz prosesi uzun vadeli işletme sürecine sahiptir. Metal endüstrilerinden kaynaklanan yıkama sularının geri kazanımı için buharlaştırma prosesine kıyasla daha az enerji gerektirir [13].

Çizelge 5.1. Ters osmoz prosesinin ağır metallerin giderimi için laboratuvar ölçekli uygulama sonuçları [30]

Metal	Çalışma tipi	Atık tipi	Giriş konsantrasyon (ppm)	Çıkış konsantrasyon ¹ (ppm)	Giderme verimi (%)	Membran tipi ²
Krom	Kesikli	Saf bileşik	12.5	0.25-1.12	91-98	C-PEI
			0.94	0.028	97	CA
			8.65	0.06	93	CA
			9.35	1.4	85	CA
Bakır	Kesikli	Saf bileşik	12.5	0.0125	99.9	C-PEI
			0.7	0.035	95	CA
			6.5	0.065	99	CA
Kurşun	Kesikli	Saf bileşik	12.5	0	100	C-PEI
			0.7	0.005	99.5	CA
			6.5	0.205	97.8	CA
Nikel	Kesikli	Saf bileşik	12.5	0.87	93	C-PEI, pH=8
				0.25	98	C-PEI, pH=11
Çinko	Kesikli	Saf bileşik	12.5	0.375		C-PEI, pH=8
				0		C-PEI, pH=11
			10.0	0.14	CA	
			32.8	0.16	CA	
Kadmiyum	Kesikli	Saf bileşik	0.10	0.001	90	CA
			1.0	0.013	98.7	CA
Kromik asit	Sürekli akış	Endüstriyel	200	30	85	PB

¹ Çıkış konsantrasyonu giriş suyundaki konsantrasyon ve giderme verimi kullanılarak belirlenmiştir.

² CA: Selüloz asetat membran, C-PEI: Çapraz bağlı poliamid membran, AP: Aromatik poliamid membran, PB: Polibenzimidazol membran



Şekil 5.4. Ters osmozla geri kazanım prosesinin şematik gösterimi [30]

Dezavantajları

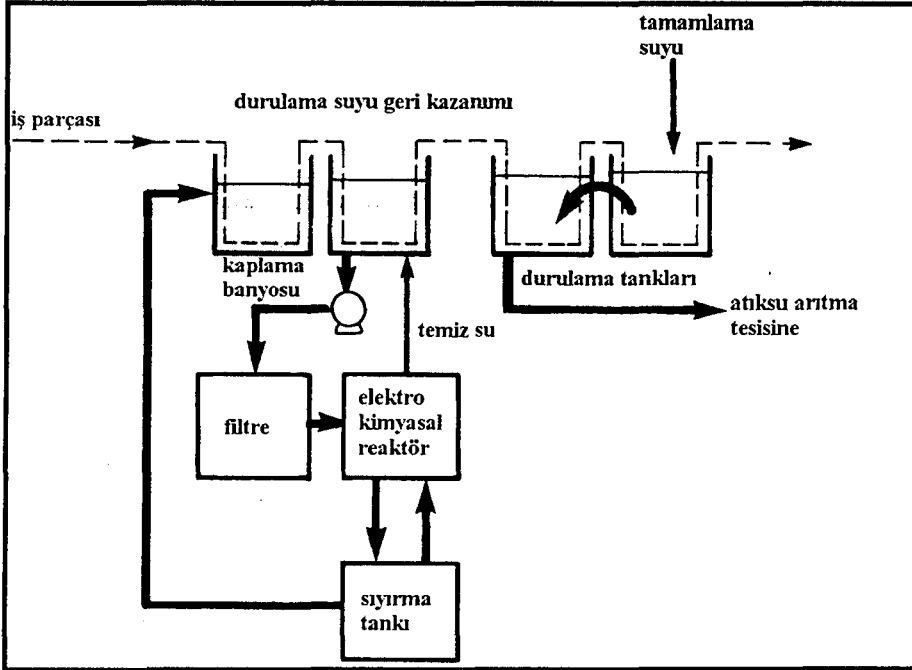
Ters osmoz ürünü, prosesin doğasından kaynaklanan teknoloji kısıtlamaları nedeniyle fazla konsantrasyonda olamaz. Sağlığa zararlı olabilen banyo ortamından sürüklenen kirlilikler kaplama banyolarına geri dönebilir. Kaplama banyosundan buharlaşan miktar RO konsantrasyonunu karşılamaya yetmeyebilir. Birbiriyle uyumsuz maddelerin uzaklaştırılması veya besleme çözeltisi içindeki RO uygulamalarından önce kompleks yapması sağlanmalıdır.[13]

5.2. Elektrolitik Geri Kazanım Üniteleri

Elektrolitik geri kazanım, proses banyoları ve yıkama sularında çözünmüş olan metallerin konsantrasyonlarını azaltmak amacıyla özel elektrokaplama ekipmanlarının kullanımını içerir. Bu prosesin yararları şöyledir [13]:

- Arıtım sonrasında metal çamuru oluşmaz.
- Siyanür oksidasyonunu ortadan kaldırır.
- Kullanılabilir metallerin geri kazanımını sağlar.
- Amonyak ve klor içeren aşındırma çözeltilerinin geri kazanımını sağlar.

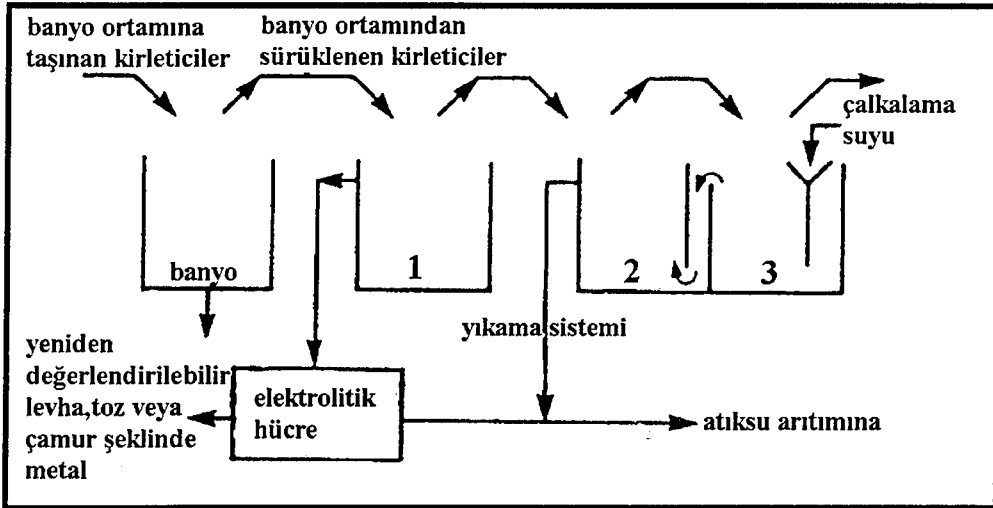
Elektrokaplama endüstrilerinden kaynaklanan atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılan bu sistemlerde; karbon fiber, paslanmaz çelik, titanyum gibi bir malzemedeki yapılmış katoda, elektrik akımı ile kaplama çözeltilerindeki metaller toplanır. Arıtılmış su ise yıkama banyosuna tekrar gönderilir. Şekil 5.5’ de Allied Metal Finishing, (Baltimore) tarafından uygulanan böyle bir elektrolitik geri kazanım sisteminde su akım döngüsü görülmektedir [18].



Şekil 5.5. Elektrolitik geri kazanım süreci[18]

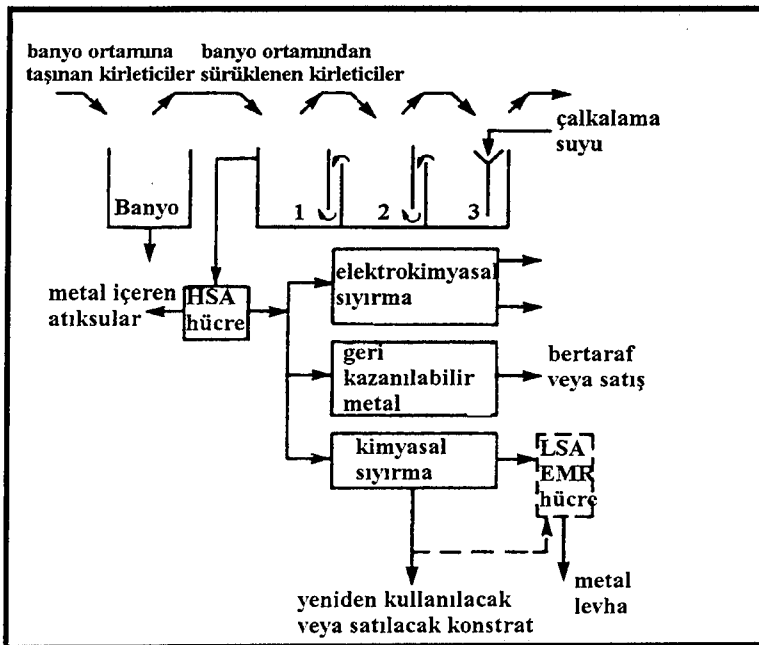
Metal işlem sanayiinde elektrolitik geri kazanım sistemleri, üç temel çeşide ayrılır:

1. Yıkama sularından yalnızca yan ürün kalitesinde metal geri kazanımının söz konusu olduğu birincil metodlar (Bkz. Şekil 5.6).



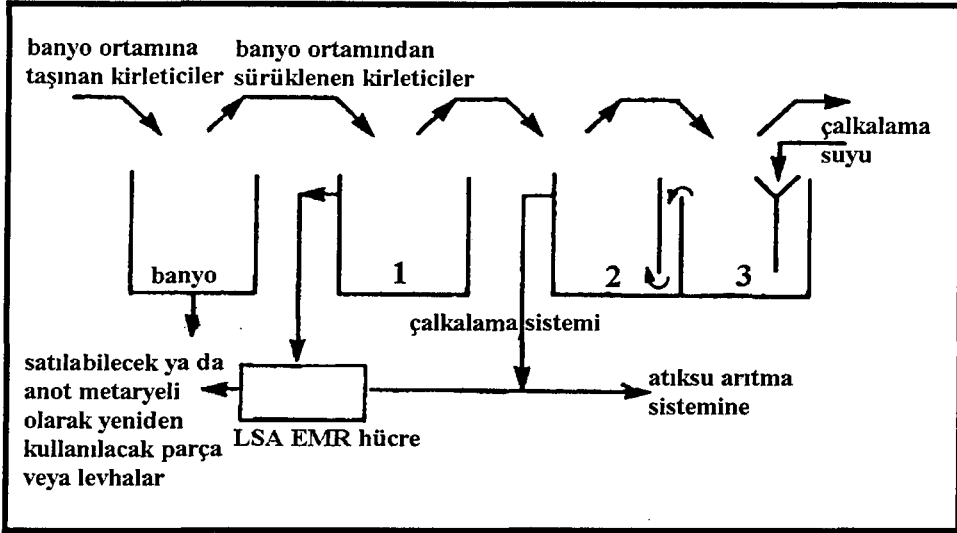
Şekil 5.6. Genel amaçlı ekstraktif hücre ile elektrolitik metal geri kazanımı [13]

2. Geniş yüzey alanlı substrat üzerinde yüksek performansla metal geri kazanımı (Bkz. Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Geniş yüzey alanlı hücre ile elektrolitik metal geri kazanımı [13]

3. Ticari değeri ve saflığı yüksek, levha veya külçe şeklinde metal geri kazanımı (Bkz. Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Küçük yüzey alanlı hücre ile elektrolitik metal geri kazanımı [13]

Uygulamalar:

Yıllardır, piyasada banyo ortamından sürüklenen yıkama sularından, altın ve gümüş gibi metallerin geri kazanımının gerçekleştirildiği küçük çaplı elektrolitik üniteler vardır. Söz konusu proses son yıllarda, bakır, kadmiyum ve çinko yıkama suları için kullanılmaya başlamıştır.

Prosesin, asit bakır (acid copper), platin ve çinko gibi metallerin geri kazanımındaki yeni uygulamalarında, paslanmaz çelik katodların yerine, platinlenmiş titanyum katot kullanılır.

Metal işlem sanayi için uygulanan bir elektrolitik geri kazanım ünitesini üretici firma şöyle tanımlar [13]:

- Bir yılda 350 galon (1325 L) kesikli kaplama banyosu sistemde arıtılabilir.
- Yaklaşık 5 m² lik bir taban alanı gerektirir.
- Yatırım maliyeti yaklaşık 6.000 US \$ (1987) dir.
- Siyanür banyolarından kadmiyum ve çinko geri kazanımı için paslanmaz çelik anotlar kullanılır.
- Asit banyoları için platinlenmiş titanyum anotlar kullanılır.
- Ünite, 110 Voltluk bir enerji ile çalışır.
- Üç haftalık tipik arıtma döngüsünde, 17 oz/gal. siyanür banyosu (6 oz/gal. kadmiyum içeren) arıtımından, 2 ppm siyanür içeren çıkış suyu meydana gelir.

5.3. Karbon Adsorbsiyonu Prosesi

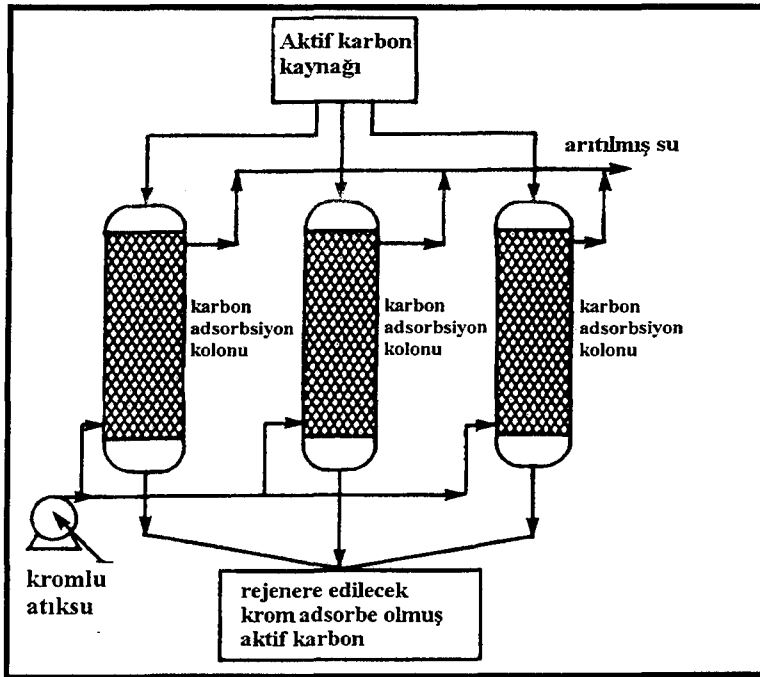
Karbon adsorbsiyonu sıvılardan, çözülmüş organiklerin ve inorganiklerin giderimi ve/veya geri kazanımı amacıyla kullanılan bir ayırma teknolojisidir. Bu sistemlerde kullanılan metaryal granül aktif karbondur(GAC). Aktif karbon,

adsorbsiyonu sağlayacak karbonun yüzey alanı/miktar oranını arttıracak şekilsiz formlarından oluşur.

Bu teknolojinin temeli, aktif karbon içeren silindirik yapıda basınçlı kolonlardır. Atıksu arıtımı, sistemin akış dizaynına göre aşağı akışlı ya da yukarı akışlı olarak gerçekleştirilebilir. Yukarı akışlı sistemlerde, karbon yatağın genişlemesi ve yatağa akıcılık kazandırılması ya da yatağın genişlememesi için akış hızı ayarlanabilir. GAC sistemlerinde yatağın genişlemesi, kabul edilebilir basınç düşüşü olmaksızın, süspans katıların giderilmesine izin verir. Aşağı akışlı sistemlerde ise süspans katıların önceden filtre edilmesi gerekir [13].

Karbon adsorbsiyonu sistemlerinde ömrü biten aktif karbon malzemesinin atılması ya da rejenerasyonu gerekir. En çok kullanılan rejenerasyon sistemleri termal yolla veya asit ve bazın kullanıldığı kimyasal yolla gerçekleştirilir.

Metal işlem sanayii atıksularında kaplama banyolarından su geri kazanımı ve yağ/gres giderimi için aktif karbon adsorbsiyonu kullanılabilir. Şekil 5.9’ da krom parlatma (chrome polishing) atıksuları için paralel dizaynı verilen aktif karbon sistemlerinde % 99’ un üzerinde giderme ve krom geri kazanım verimleri elde edilebilir[13].



Şekil 5.9. Aktif karbon adsorbsiyon sistemi [13]

3.9.4. Buharlaştırma (Evaporasyon) Prosesi

Buharlaştırma, bir çözelti veya sulu çamurdan, sıvı fazın bir enerji kaynağı kullanılarak buharlaştırılması prosesidir.

Buharlaştırma prosesleri, vakum veya atmosferik basınç altında çalışma durumuna göre vakum buharlaştırıcılar ve atmosferik buharlaştırıcılar olarak ayrılır. Atıksudaki kirletici bileşenlerin sıcaklığa karşı stabil olmaları durumunda atmosferik

buharlaştırıcılar, yüksek sıcaklıklarda bozunabilen atıklar (çinko ve kadmiyum çözeltileri) için ise, daha düşük sıcaklıklarda çalıştırılabilen vakum buharlaştırıcılar kullanılır [32].

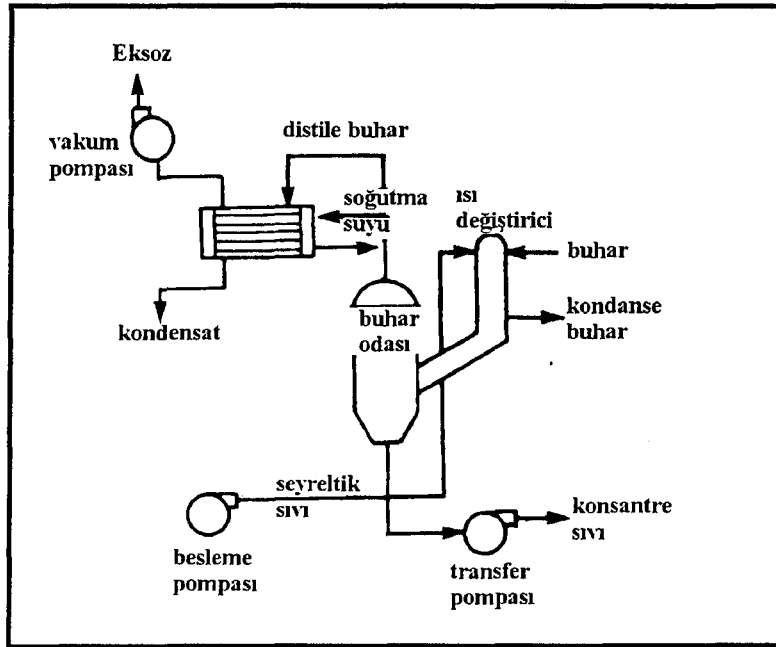
Buharlaştırma prosesleri

Tek etkili ünite (Single effect unit)

Bu sistemlerde sıvının kaynama sıcaklığına kadar ısıtılması için buhar kullanılır. Sıvının kaynamasından elde edilen buhar bir hazne içerisine toplanır ve yoğunlaştırılır. Proseste konsantre sıvılar, tankın üst kısmından pompalanır. Sistemin enerji gereksinimi yaklaşık 1200 Btu/lb (666 kcal/kg) su 'dur (Bkz. Şekil 5.10) [13].

Çok etkili ünite (Multiple effect unit)

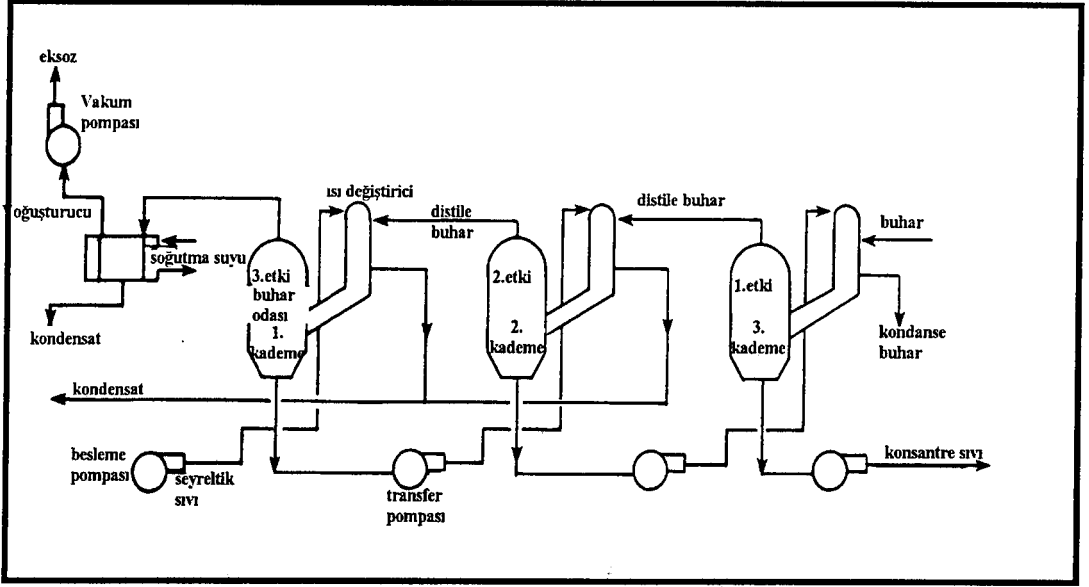
Çok etkili üniteler bir seri tek etkili buharlaştııcıdan meydana gelir. Birinci buharlaştııcıda oluşan buhar, ikincisinde, sıvının kaynaması için ısı kaynağı olarak kullanılır. Birincisinden daha düşük basınçtaki ikinci buharlaştııcının çalışmasıyla kaynama tamamlanır. Etki sayısına bağlı olarak değişmekle birlikte, prosesin enerji gereksinimi yaklaşık 200 Btu/lb (111 kcal/kg) su 'dur (Bkz. Şekil 5.11) [13].



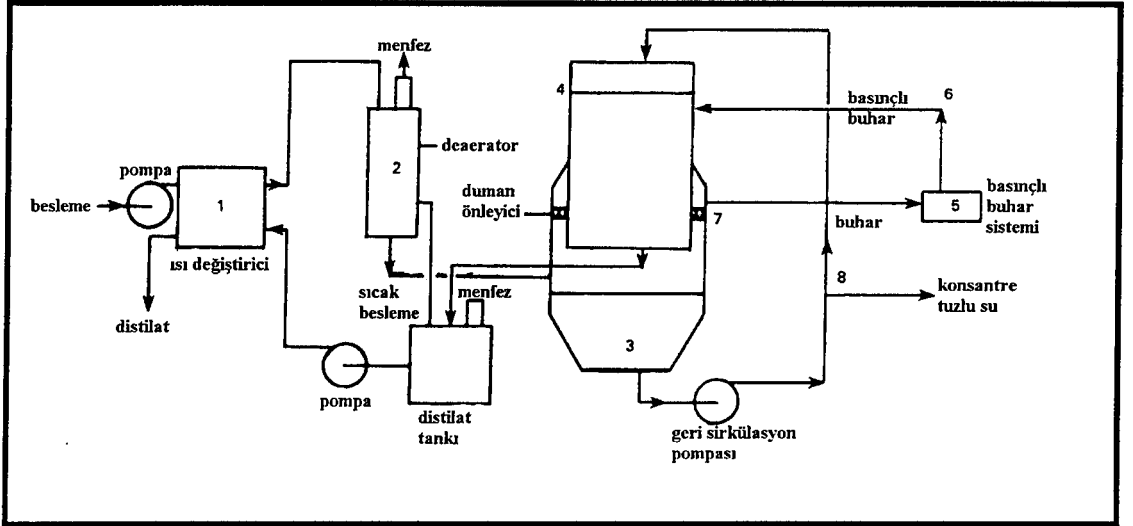
Şekil 5.10. Tek etkili buharlaştırma sistemi [13]

Buhar sıkıştırımalı (vapor recompression) buharlaştııcı

Bu prosesinde, sıvının başlangıç ısıtması için buhar kullanılır. Üretilen buharın basınç ve sıcaklığı daha yüksek bir basınç ve sıcaklığa çıkartılır. Sıkıştırılan buhar bir buhar haznesinde biriktirilerek daha fazla buhar elde edilmesi için ısı kaynağı olarak kullanılır. Bu sistemin enerji gereksinimi 40 Btu/lb (22.2 kcal/kg) su 'dur (Bkz. Şekil 5.12) [13].



Şekil 5.11. Üç etkili bir buharlaştırma sistemi [13]



Şekil 5.12. Buhar sıkıştırma uygulamalı buharlaştırıcı [13]

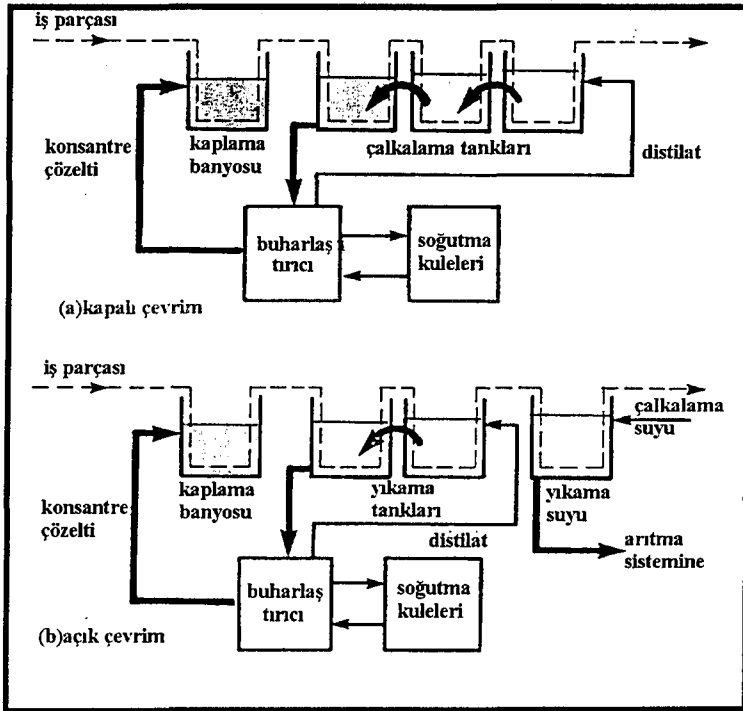
Buharlaştırıcılar, dizayn şekillerine göre de paket buharlaştırıcılar, film buharlaştırıcılar ve zorlanmış sirkülasyonlu (forced circulation) buharlaştırıcılar olarak ayrılır. Paket buharlaştırıcılar, hem atmosferik hem de vakum buharlaştırma için kullanılır. Film buharlaştırıcılarla çözünübilirlik noktasına kadar yoğunluğu artırılan çözeltiler önemli miktarlarda katı maddeye dönüşür. Zorlanmış sirkülasyonlu buharlaştırıcılar da süspansen katılar içeren çözeltilerin buharlaştırılması amacıyla dizayn edilmiştir [32].

Buharlaştırma prosesinin uygulamaları

Buharlaştırma prosesi, metal işlem sanayinde kaplama banyolarından yıkama sularıyla sürüklenen metallerin (krom, nikel, çinko ve bakır gibi metaller) geri kazanımı ve alüminyum atıksularından fosforik asit geri kazanımı amaçlarıyla kullanılabilir. Şekil 5.13' de kaplama banyoları için kullanılan bir buharlaştırma sistemi verilmiştir [13].

Prosesin diğer uygulama alanları, kağıt endüstrisinde kullanılan sıvıların konsantre edilmesi, tuzlu sulardan ve deniz suyundan içme suyu elde edilmesi, değişik tipteki atıksu karışımlarından (ısıtma suları, soğutma suları, endüstriyel yıkama suları) su geri kazanımı gibi alanlardır [13].

Fazla karmaşık bir sisteme sahip olmayan buharlaştırma prosesi, yüksek geri kazanım verimi, uzun kullanım ömrü ve geniş uygulama alanlarına sahip olması gibi avantajlarının yanı sıra, özellikle eski sistemlerinin enerji tüketiminin fazla olması gibi bir dezavantaja da sahiptir [13].



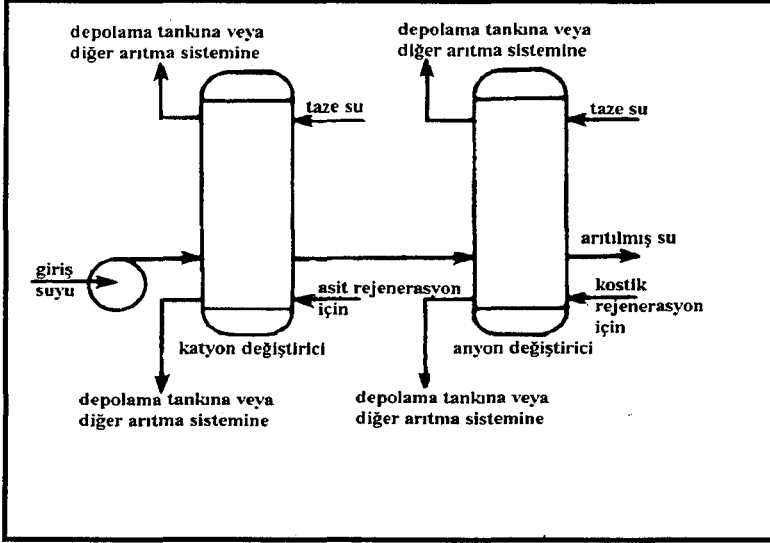
Şekil 5.13. Buharlaştırma yöntemiyle geri kazanım sistemi [13]

5.5. İyon Değişirme Prosesi

İyon değişirme prosesi, atık akımlarının (atıksular, banyo ortamından sürüklenen bileşenler, proses banyoları gibi) geri dönüşümü ve geri kazanımı amacıyla ileri arıtım teknikleri içerisinde en fazla uygulama alanına sahip bir teknolojidir. Prosesin, metal iyonlarının tutulması için yaygın olarak kullanılan türü ise katyon değiştirici reçinelerle geri kazanımdır. Bu tür reçineler, asidik yapıya sahip maddeleri içerirken, diğer bir grup olan anyon değiştirici reçineler bazik esaslıdır. Katyon

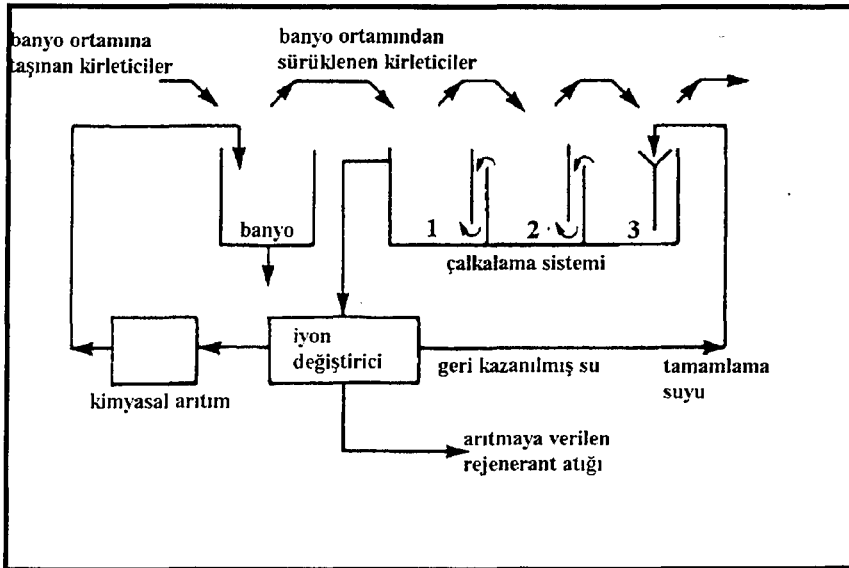
değiştirici reçineler stiren ve divinil benzenin katyonik formlarından oluşurken, anyon değiştiriciler stiren-divinil reçinenin anyonik formlarını içerir (Bkz.Şekil 5.14) [13].

Metal işlem sanayiinde uygulanan tipik bir iyon değiştirme sisteminde sabit reçine yatağı, yıkama suyundan metal katyon ve anyonlarını ayırma ve değiştirme özelliğine sahiptir.

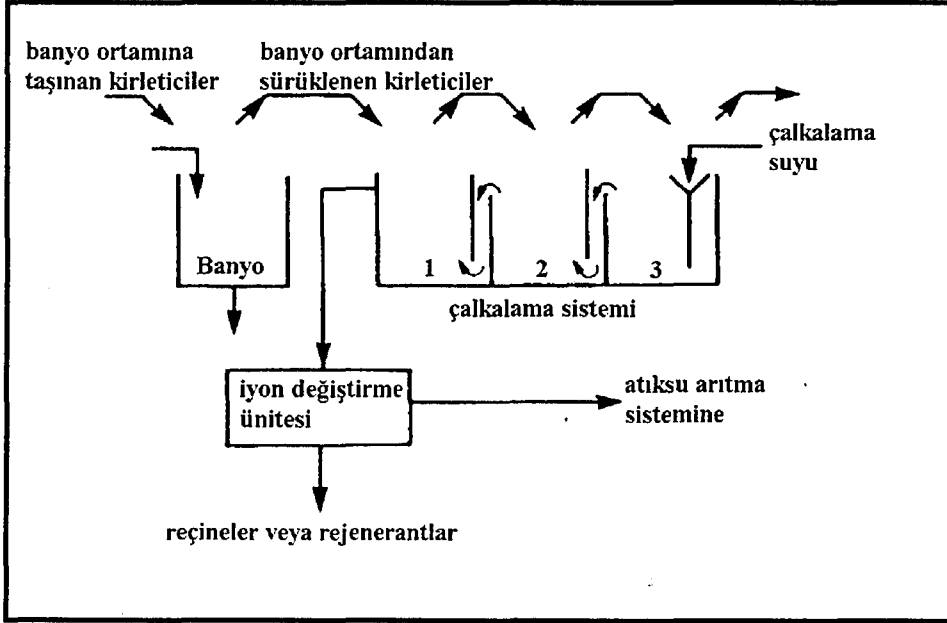


Şekil 5.14. İyon değiştirme sistemi [13]

Diğer geri kazanım sistemlerinin tersine iyon değiştiriciler, sisteme verilen suyun yoğunluğundan etkilenmez. Ancak, yine de çok yüksek konsantrasyonlarda su beslenmemesi iyi olur. Genellikle, metal iyonu tutma seviyesi yüksek olan bu prosesinde yeni rejenere edilmiş bir kolondan deşarj edilen sudaki metal konsantrasyonu 0.1 mg/L ' den daha az olabilir. Kullanılan iyon değiştirme sistemleri, kaplama banyosuna geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz olarak ikiye ayrılır (Bkz.Şekil 5.15 ve 5.16) [13].



Şekil 5.15. Metal geri dönüşümlü iyon değiştirme sistemi [13]



Şekil 5.16. Metal geri dönüşümsüz iyon değiştirme sistemi [13]

İyon değiştirici için, bir değerlikli iyonlara kıyasla, daha yüksek çekim gücüne sahip iki ve üç değerlikli iyonlar (iki değerlikli kadmiyum, nikel katyonları ve iki değerlikli kromat anyonları), proses tarafından seçici olarak giderilir. Kullanılan reçinelerin kullanılabilirlik kapasitesi dolduğunda, sulandırılmış asit çözeltisiyle temizlenip rejenere edilir [13].

İyon değiştirme prosesinin uygulamaları

İyon değiştirme prosesi, su arıtımında yumuşatma, karbonat giderme ve toplam deiyonizasyon amacıyla, metal sanayii geri kazanım proseslerinde ise kromik asit, nikel sülfat, bakır sülfat gibi metal tuzlarının geri kazanımı amacıyla kullanılır. İyon değiştirme prosesi ile metal işlem sanayiinde metal tuzlarının orjinal konsantrasyonları elde edilemese de, mümkün olduğu kadar yeniden kullanılabilir ve satılabilir kalitede metal tuzu geri kazanımı sağlanır.

Kanada Montreal'de bakır, nikel ve krom metallerinin atıksulardan iyon değiştirme prosesiyle geri kazanımının gerçekleştirildiği küçük kapasiteli bir tesisin performansı ile ilgili veriler Çizelge 5.2' de verilmiştir.

Avantajları

İyon değiştirme prosesi, sıvı akımlardan her tür metalin geri kazanımı için uygulanabildiğinden, oldukça kullanışlı bir geri kazanım teknolojisidir. Prosesden çıkan su, arıtma yapılmadan deşarj edilebilir niteliktedir. Bununla birlikte, reçinelerin rejenerant ve yıkama sularının mutlaka arıtılması gerekmektedir. Ayrıca, diğer ileri arıtım teknolojileriyle kıyaslandığında düşük bir yatırım ve işletme maliyeti gereksinimine sahiptir. Rejenerasyon kimyasalları ve reçine yıkama sularının arıtımı da göz önünde tutulduğunda sistemin maliyeti artar [13].

Çizelge 5.2. Metal işlem sanayii atıksularından iyon değiştirme yoluyla metalleri geri kazanım sistem performansını gösteren veriler [13]

	Kromat CrO ₃	Nikel Ni	Bakır Cu
Kaplama banyosu (mg/L)	260 000	84 000	82 000
Birinci yıkama suyu (mg/L)	170	460	260
İkinci yıkama suyu (mg/L)	10	17	6
Geri dönüşüm ürünü (mg/L)	53 000	22 000	35 000
Çıkış suyu konsantrasyonu (mg/L)	20	1.3	0.9
Çıkış suyu debisi (ort.) (L/dk)	1.6	15	10

Dezavantajları

Prosesde geri kazanılan metal tuzları ile rejenerant asidi ayırmak oldukça güçtür. Reçinelerin rejenerasyonu sonucu oluşan atık asidin arıtımı da ek bir problem getirebilir. İyon değiştirici reçinelerin kapasitesinin dolup dolmadığının sürekli kontrol edilmesi gerekir ve kontrol için ihtiyaç duyulan cihazlar oldukça pahalıdır [13].

5.6. Kristalizasyon Prosesi

Kristalizasyon, katı partiküllerin homojen bir faz içerisinde formasyonudur. Bu işlem, yeni bir fazın çok küçük partiküllerinin şekil aldığı süper doygun bir çözeltide oluşur. Küçük partiküllerin şekil alması çekirdekleşme (nucleation) olarak adlandırılır. Kristalizasyon işlemini sağlayan itici güç, sisteme verilen besleme çözeltisinin konsantrasyonu ile kristalize edici çözeltinin, aynı sıcaklıklardaki çözünürlüğü arasındaki farktır.

Kristalizasyon teknolojisi, sisteme verilecek atık çözelti, yüksek oranda kristalize edilebilecek tuz konsantrasyonlarına sahipse, ekonomik bir yöntemdir. Metal işleme endüstrilerinde yıkama sularının tuz konsantrasyonları düşüktür. Bu nedenle metal yıkama suları için bu teknoloji fizibil değildir. Şekil 5.17' de verilen ve kostik sodanın geri dönüşümü için kullanılmakta olan kristalizasyon sistemi yeniden kullanılabilir kostik ve asit çözeltileri ile metal tuzları veya çamurları için fizibil bir yöntem olabilir [13].

Kristalizasyon prosesinin uygulamaları

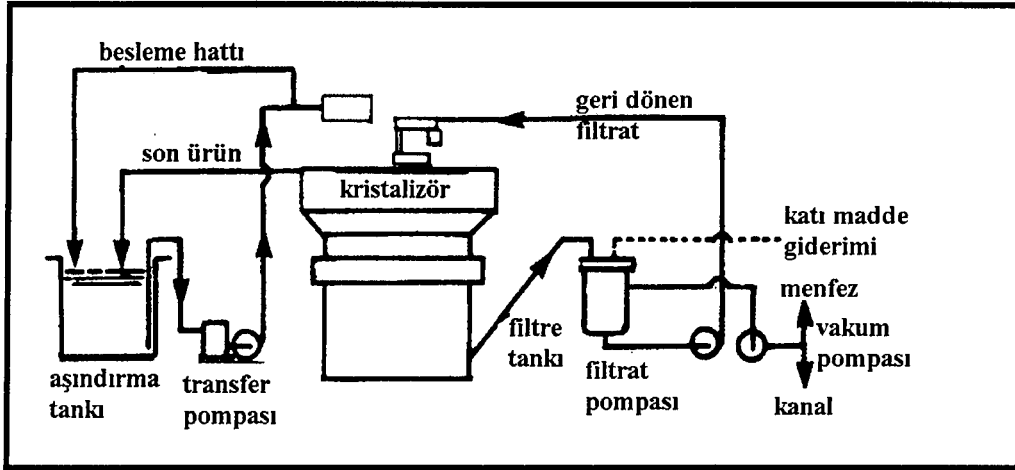
Fuji Sash prosesi

Bu proses bir Japon firması olan Fuji Sash Endüstrisi tarafından, alüminyum aşındırma çözeltilerinden kostik sodanın (NaOH) geri kazanımı amacıyla 1980 öncelerinde geliştirilmiş bir prosedir. Kostik sodanın geri kazanımı, alüminyum hidroksitin Al(OH)₃, kontrollü bir şekilde çöktürüldüğü bir kristalizasyon kulesine aşındırma çözeltisinin sürekli olarak pompalanması vasıtasıyla gerçekleştirilir. Prosesin işlemesi sırasında kristalizatörün alt kısmında toplanan Al(OH)₃ kristalleri, buradan çekilir ve santrifüjleme ile suyu alındıktan sonra yeniden kullanım için aşındırma tankına gönderilir [13].

Böyle bir geri kazanım sistemi, endüstride kostik soda alımını % 80 oranında azaltabilir. Sistemde üretilen hidrate alümin kristaller bir kazanç kaynağı olabilir.

Fakat tüm bu özelliklerine rağmen bu teknoloji Amerika' da çok geniş bir kullanım alanına sahip değildir.

Bakır temizleme çözeltilerinden, bakır sülfatın kristalizasyonu ve kristallerin giderimi yöntemiyle asit çözeltilerinin rejenerasyonunda da yaygın olarak kullanılan bu proses, çoğunlukla metal işleme endüstrileri ve elektronik endüstrileri tarafından kullanılır.



Şekil 5.17. Kostik sodanın kristalizasyon yöntemi ile geri kazanım prosesi [13]

EFCO kristalizasyon prosesi

Monett' deki EFCO Corporation firması, bir kristalizasyon prosesini, aşındırma çözeltilerinden, çözünmüş alüminyumun atıksu arıtma tesisine deşarj etmeden önce giderimi amacıyla kullanır. Sistem, satılabilir ve yeniden kullanılabilir alüminyum çamuru (% 70-80 alüminyum) ve serbest kostiğin geri kazanımı amacıyla sürekli olarak çalıştırılabilir durumdadır [13].

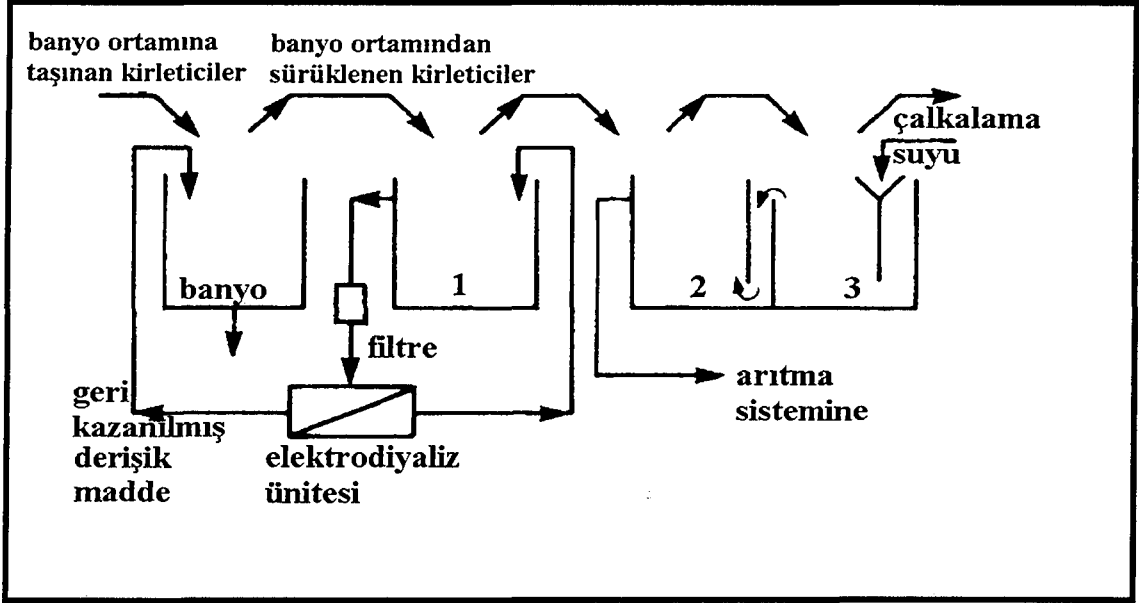
5.7. Elektrodializ Prosesi

Elektrodializ, iyon değiştirme membranlarının üstüste dizilmesiyle oluşturulan bir sistemden (stack), iyonik maddelerin seçici geçirgenlikle iletilmelerinin sağladığı bir prosesdir. Bu kitlenin iki ucundaki elektrotlar elektrodializ prosesinin gerçekleşmesini sağlar (Bkz. Şekil 5.18) [13].

Elektrodializ ünitesiyle, bir kaplama prosesinde, iyonik maddeler, su oranı daha yüksek olan geri kazanım yıkama çözeltilerinden (recovery rinse) ekstrakte edilerek yüksek konsantrasyonda buhar içine toplanırlar. Ürün konsantrasyonu yalnızca membrandan iyonlarla geçen suyla taşınan iyon hacmiyle sınırlanır. Elektrodializ sonucunda elde edilen konsantre ürün, proses banyolarına geri döndürülebilir veya geri kazanım için yeniden işlemden geçirilebilir [13].

Elektrodializ prosesi, metal işleme endüstrilerinde yıkama sularından altın, gümüş, nikel ve kalayın geri kazanımı amacıyla başarılı bir şekilde kullanılır. Elektrodializ ünitesinde yıkama işlemi yavaş bir sirkülasyon şeklinde gerçekleştirilerek, parlak nikel kaplamada kullanılır. Sirkülasyonlu yıkama prosedürü,

organik kirliliklerin sürekli giderimini sağlar ve kesikli arıtım ihtiyaçlarını elimine eder [13].



Şekil 5.18. Elektrodializ sistemi [13]

6. ATIKSU YÖNETİMİ VE METAL İŞLEM SANAYİİ İLE İLGİLİ YASAL MEVZUAT

6.1. Türkiye' deki Durum

Endüstrilerde atıksu yönetiminin yasal hükümlere dayandırılması ve alıcı ortamlara verilen atıksuların, bu ortamlara zarar vermelerinin kontrolü amacıyla ülkemizde Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği uygulanır.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 9 Ağustos 1983 tarih ve 2872 sayılı Çevre Kanunu ile mezkur konuda ek ve değişiklikler yapan kanun hükümlerine uygun olarak hazırlanmış olup, ülkenin yeraltı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin her türlü kullanım amacıyla korunmasını, en iyi biçimde kullanımının sağlanmasını ve su kirlenmesinin önlenmesini ekonomik ve sosyal kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere su kirliliği kontrolü esaslarının belirlenmesi için gerekli olan hukuki ve teknik esasları ortaya koyar [19].

Yönetmeliğin beşinci bölümünde, tüm endüstrileri ilgilendiren hükümlerin yer aldığı Atıksuların Boşaltım İlkeleri verilmiştir. Bu bölümde, atıksuların alıcı su ortamlarına boşaltılmasıyla ilgili hem temel hem de detaylı açıklamalar ele alınmıştır.

6.1.1. Kanalizasyon sistemlerine boşaltım esasları

Alıcı ortam standartları verilmeden önce, kanalizasyon sistemlerine atıksu boşaltımı için uygulanacak temel ilkeler şunlardır [33]:

1. Kanalizasyon sistemi bulunan yerlerde, her türlü atıksuların kanalizasyon şebekesine bağlanması, ilke olarak bir hak mecburiyetidir.
2. Atıksu oluşmasına sebep olan gerçek ve tüzel kişiler, kanalizasyon sisteminden ve arıtma ile deşarj tesislerinden yararlanmalarının doğuracağı bütün harcamaları karşılamakla yükümlüdürler.
3. Bir endüstriyel atıksuyun kanalizasyon sistemine doğrudan bağlanabilmesi için;
 - kanalizasyon sisteminin yapısına ve çalışmasına zarar verip engel olmaması,
 - kanalizasyon sisteminin bağlandığı arıtma tesisinin çalışmasını ve verimini olumsuz yönde etkilememesi,
 - bir klasik biyolojik arıtma tesisinde artılmayacak maddeler içermemesi gerekmektedir.

6.1.2. Alıcı su ortamına doğrudan boşaltım esasları

Alıcı su ortamlarında kirlenmenin önlenmesi için yapılacak uygulamalarda aşağıdaki genel esaslar geçerlidir[33]:

1. Kent dışında kalan ve doğrudan alıcı ortama deşarj yapan atıksu kaynakları için endüstriye ait ya da ortak arıtma tesisleri yapılarak bunların arıtılması gereklidir.

2. Deşarj standartlarının sağlanması amacıyla, atıksuların yağmur suları, soğutma suları, az kirli yıkama ve buna benzer sularla seyreltilmesi yasaktır.
3. Tehlikeli ve Zararlı Maddeler Tebliğinde yer alan maddelerin atıksularda bulunması ve alıcı ortamlara deşarjları bu tebliğde öngörülen şartlarda geçerlidir.
4. Her türlü katı atık, arıtma çamurları ve fosseptik çamurlarının alıcı su ortamlarına boşaltılmaları yasaktır.
5. Gerçek veya tüzel kişiler, faaliyet türlerine göre, alıcı su ortamlarına verdikleri atıksular için bu yönetmelikte verilen deşarj standartlarını sağlamakla yükümlüdürler.
6. Aynı sanayi kuruluşu içinde birden fazla sektörün bulunması halinde, bu sektörler için ayrı ayrı verilen değerler arasında en kısıtlayıcı olanı esas alınır.
7. Sulama ve drenaj kanallarına atıksu deşarjında, alıcı su ortamına doğrudan boşaltımda kullanılan hükümler aynen geçerlidir.

6.1.3. Endüstriyel atıksu deşarj standartları

Bu bölümde, Türkiye’de kurulu halde bulunan endüstri tipleri küçük sanayi bölgeleri, organize sanayi bölgeleri ve diğer küçük işletmeler göz önüne alınarak standartlar endüstri bazında ayrı ayrı hazırlanmıştır. Çeşitli endüstriyel atıksular karışımı ise, karışık endüstriler sektörü olarak ayrıca grup standartlarıyla temsil edilir. Öte yandan, evsel nitelikli atıksuların alıcı su ortamlarına deşarjlarında uyulması gereken standart değerler de benzer şekilde verilmiştir [33].

Endüstrilerin üretim tiplerine göre on altı farklı sektör oluşturulmuştur. Bu sektörler için uyulması gereken standartlar ise, parametreler bazında tablolar halinde verilmiştir.

Metal Sanayii ile ilgili kısımda on yedi tane alt grup bulunmaktadır. Bunlar, genelde metal hazırlama ve işleme, galvanizleme, dağlama, elektrolitik kaplama, metal renklendirme, çinko kaplama, su verme ve sertleştirme işlemi, iletken plaka imalatı, akü imalatı, sırlama-emayeleme, metal tozlama ve zımparalama, metal cilalama ve vernikleme, laklama ve demir dışı metal sanayi, alüminyum üretimi, dökümhane ve şekillendirme tesisleridir. Metal sanayii ile ilgili olarak verilen tablolarda; KOI, BOI, AKM, pH gibi genel parametrelerle birlikte, spesifik olarak, endüstride gerçekleşen işleme göre değişen metal konsantrasyonları (krom, kurşun, bakır, nikel, kadmiyum, çinko vb.) verilmiştir.

Metal işleme ile imalat yapan tesisler, Tablo 15.2’ de (Bkz. Çizelge 6.1) verilen standartları alıcı su ortamlarına atıksu boşaltımlarında esas alabilirler. Ancak, tesisin gerçekleştirmekte olduğu işlemler, bu on yedi grup içerisinde birden fazla sektörü içeriyorsa verilen standartlar içinden en kısıtlayıcı olanları dikkate alınmalıdır.

Çizelge 6.1. Genelde metal hazırlama ve işleme tesisleri için alıcı ortama deşarj standartları [33]

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE (2 saatlik)	KOMPOZİT NUMUNE (24 saatlik)
KOI	(mg/L)	200	100
AKM	(mg/L)	125	50
Yağ ve gres	(mg/L)	20	10
Amonyum azotu	(mg/L)	100	-
Nitrit azotu	(mg/L)	10	5
Aktif klor	(mg/L)	0.5	-
Sülfür	(mg/L)	2	-
Toplam krom	(mg/L)	2	-
Krom+6	(mg/L)	0.5	0.5
Kurşun	(mg/L)	2	-
Toplam Siyanür	(mg/L)	0.5	0.1
Civa	(mg/L)	0.05	0.01
Kadmiyum	(mg/L)	0.5	0.1
Alüminyum	(mg/L)	3	2
Demir	(mg/L)	3	-
Florür	(mg/L)	50	30
Bakır	(mg/L)	3	-
Nikel	(mg/L)	3	2
Çinko	(mg/L)	5	3
Gümüş	(mg/L)	0.1	-
Balık biyodeneyi		10	-
pH		6-9	6-9

6.1.4. Boşaltım izni esasları

Bu yönetmeliğin esaslarına uymak şartı ile, alıcı su ortamlarına her türlü evsel ve/veya endüstriyel nitelikli atıksuların menbağından deşarjı için idareden izin alınması zorunludur. Her atıksu deşarjı için bu yönetmelik çerçevesinde idarenin istediği çıkış suyu kalitesinin ve diğer şartların sağlanması gerekir. Alıcı su ortamına her türlü atıksu deşarjı için Mahalli Çevre Kurulları' nın alacağı karar ve görüşler doğrultusunda Büyükşehir Belediye hudutları içerisinde Büyükşehir Belediye Başkanlıkları. Büyükşehir Belediye hudutları dışında ise mahallin en büyük mülki amiri yetkilidir[33].

6.1.5. Deşarj izninin verilmesine ilişkin esaslar

Endüstrilere, deşarj izni aşağıdaki esaslara göre verilir [33]:

1. Atıksu deşarj izni 3 yıl süre ile geçerlidir.
2. İlgili idare bir alıcı su ortamının durumuna göre alıcı su ortamına deşarj izni vermemek ve deşarjları bu yönetmelikte öngörülen sınırların ötesinde kısıtlamakla yetkilidir.
3. Deşarj izni alan kurum, kuruluş ve işletmeler atıksu deşarj standartlarını aşmamaya kanunen yükümlüdürler. İzin sahibi olmak bu nedenle cezai ve hukuki müeyyideden kurtulmayı gerektirmez.
4. Su ortamının durumuna ve izin sahibinin konulan hükümlere uygun şekilde deşarj yapmaması durumlarında idare deşarj iznini sınırlandırabilir veya geri alabilir.

5. Derin deşarj izni, İller Bankası Genel Müdürlüğü'nün görüşü ve Çevre Genel Müdürlüğü' nün uygun görüşü alınmak suretiyle Büyükşehir Belediye hudutları içerisinde ilgili Büyükşehir Belediye Başkanlığı, Büyükşehir Belediye hudutları dışında ise mahallin en büyük mülki amiri tarafından en geç altı ay içerisinde üç yıl süreyle verilir.

Metal işleme tesisleri, yukarıda sayılan tüm bu genel hükümleri uygulamak durumundadır. Eğer tesis, atıksularını alıcı su ortamlarına değil de kanalizasyona deşarj ediyor ise ve kanalizasyon sistemi tam arıtma ile ya da derin deniz deşarjı ile sonuçlanıyorsa, bu tür tesisler, Yönetmelik Tablo 25' de (Bkz. Çizelge 3. 26) verilen atıksuların atıksu altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartlarına uymak zorundadır.

Çizelge 6.2. Atıksuların altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartları [33]

Parametre	Kanalizasyon sistemleri tam arıtma ile sonuçlanan atıksu altyapı tesislerinde	Kanalizasyon sistemleri derin deniz deşarjı ile sonuçlanan atıksu altyapı tesislerinde
Sıcaklık (°C)	40	40
pH	6.5-10	6.0-10.0
AKM (mg/L)	500	350
Yağ ve gres(mg/L)	250	50
Katran ve petrol kökenli yağlar(mg/L)	50	10
KOI (mg/L)	4000	600
Sülfat (mg/L)	1000	1000
Sülfür (mg/L)	2	2
Fenol (mg/L)	20	10
Serbest klor (mg/L)	5	5
Toplam azot (mg/L)	-(a)	40
Toplam fosfor (mg/L)	-(a)	10
Arsenik (mg/L)	3	10
Siyanür (mg/L)	10	10
Kurşun (mg/L)	3	3
Kadmiyum (mg/L)	2	2
Toplam krom (mg/L)	5	5
Toplam civa (mg/L)	0.2	0.2
Toplam bakır (mg/L)	2	2
Toplam nikel (mg/L)	5	5
Toplam çinko (mg/L)	10	10
Toplam kalay (mg/L)	5	5
Toplam gümüş (mg/L)	5	5
Klorür (mg/L)	10000	-
Yüzey aktif maddeler (mg/L)	Biyolojik olarak parçalanması Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır.	

(a) Bu parametrelere atıksu değerlendirmesinde bakılmayacaktır.

6.1.6. Atık çamurların bertarafı konusunda yasal mevzuat

Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan atık çamurların depolanması, işlenmesi, taşınması ve nihai bertarafı konusuna 2872 sayılı Çevre Kanunu, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği' nde yer alan bazı madde ve hükümlerle yasal bir düzenleme getirilmiştir.

2872 sayılı Çevre Kanununun 8, 11, 21, 28 ve 30 'uncu Maddelerinde atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesi konusunda bazı genel hükümler yer alır.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Madde 6, 18, 19, 20, 22, 23,26 ve 46' da içme kullanma, yeraltı suları ve alıcı su ortamlarına arıtma çamurlarının dökülmesini yasaklayan ve bu ortamlardaki kirliliği önlemeyi amaçlayan yasal hükümler yer alır.

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği 22, 24, 28 ve 31'inci Maddelerinde atık çamurların depolanmasına yönelik hususlar, Madde 34' de kompost tesislerine yönelik hususlar, Madde 38 ve 40' da çamurların yakılmasına yönelik hususlar, Madde 44' de atık çamurların tarımda kullanılabilme şartları ve Madde 45' de ise atık çamurların kullanma sınırları ve yasakları verilmiştir [34].

Atık çamurlarla ilgili hususların daha geniş ve kapsamlı yer aldığı Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği' nde ise tehlikeli atık sınıfı içerisinde yer alan atık çamurların yönetimi, bu yönetimde yer alan kişilerin görev ve sorumlulukları, atıkların ara depolanması, taşınması, nihai depolanması ve bertarafına ilişkin hususlar yer alır [26].

Bu yönetmelikte "Metal ve Plastiklere Yüzey İşlemleri Uygulanmasından Kaynaklanan Atıklar" arasında; krom, kobalt, bakır, molibden, nikel ve diğer ağır metalleri veya berilyum içeren çamurlar da yer almış, bu atıklar ekotoksik olarak nitelendirilmiş ve özel işlemlerle arazi depolanması yasal bertaraf yöntemi olarak verilmiştir [26].

Yönetmeliğin " Sınai Atıkların Bertarafı İşlemlerinden Kaynaklanan Atıklar" bölümünde endüstriyel atıksu arıtım tesislerinden kaynaklanan atıklar, zehirli ve ekotoksik olarak nitelendirilmiş ve bu atıklara yönelik yasal bertaraf yöntemleri verilmiştir. Suyu giderilmiş metal hidroksit çamurları, siyanür ve krom (+6) içermeyen katı metal hidroksit çamurları, suyu giderilmemiş metal hidroksit çamurları, siyanür veya krom (+6) içermeyen, katı olmayan metal hidroksit çamurları kontrol edilecek atıklar arasında yer almış ve biyolojik arıtım, fiziksel/kimyasal arıtım, metallerin ve metal bileşiklerinin ıslahı ve özel işlemlerle arazi depolanması yasal bertaraf yöntemleri olarak verilmiştir [26].

Ayrıca, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği' nde krom (+6), bakır, çinko, arsenik, selenyum, kadmiyum, antimuan, tellür, civa, talyum ve kurşun içeren atıklar ayrı ayrı sınıflandırılmış, bu atıklar arasında ağır metal içeren çamurlara ve bunların yasal bertaraf yöntemlerine de yer verilmiştir. Yönetmeliğin Ek -11 A bölümünde atıkların yer üstü depo tesislerinde depolanabilme kriterleri, Ek-11 B' de atıkların standart analiz yöntemleri ve Ek 12'de evsel katı atık depo tesislerine depolanmasına izin verilen atık konsantrasyonları yer alır [26].

6.2. ABD ' deki Durum

ABD' deki yasal uygulamalarda da Türkiye' de olduğu gibi atıksu deşarj standartları, kanalizasyon sistemine ve alıcı su ortamlarına olmak üzere ayrı ayrı belirlenmiştir. Amerika' da çoğunlukla EPA tarafından belirlenen deşarj standartları uygulanmaktadır.

Belediye Kanalizasyon Sistemine Deşarj: Kanalizasyon sistemine deşarj limitleri, atıksu akımlarının bir araya geldiğinde seyrelme etkisi ile toksik kirleticilerin limitlerin altına çekilebileceği ve kanalizasyon sisteminin, bir arıtma tesisi ile sonlandığı gözönünde bulundurulurken, alıcı ortam limitlerine kıyasla daha toleranslı tutulmuştur [6].

Alıcı Ortamlara Deşarj: Alıcı ortamlara deşarj standartları, toksik kirleticilerin sucul yaşam ve insan sağlığı üzerindeki tehlikeleri gözönünde bulundurulurken, içme suyu standartları gibi çok düşük düzeylerde tutulmuştur. Eğer, alıcı ortam özel koruma alanına giriyorsa veya balıkçılık ve rekreasyon amaçlı kullanılıyorsa, Amerikan Halk Sağlığı Servisi (U.S. Public Health Service), bu standartları daha da alt limitlere çekebilir. Çizelge 6.3' de Amerika' da uygulanan metal işlem sanayii için geçerli alıcı ortam standartları verilmektedir [6].

Çizelge 6.3. ABD' de uygulanan alıcı ortama deşarj limitleri [6].

PARAMETRE	DEŞARJ LİMİTLERİ
pH	6.5-9.0
Katyonlar (mg/L):	
Amonyak	< 2.5
Arsenik	< 1.0
Bakır	< 0.5
Baryum	< 1.0
Çinko	< 1.0
Demir	< 2.0
Gümüş	< 0.05
Kadmiyum	< 0.05
Kalay	< 2.0
Krom:	
Krom (+3)	< 1.0
Krom (+6)	< 0.5
Kurşun	< 0.1
Mangan	< 1.0
Nikel	< 2.0
Selenyum	< 0.01
Anyonlar (mg/L):	
Florür	< 1.5
Klor	< 150
Nitrat	< 45
Siyanür	< 0.05
Sülfat	< 250
AKM (mg/L):	< 20
Yağ (mg/L):	< 10

7. TEI-TUSAŞ MOTOR SANAYİ A.Ş.'DE SU KULLANIMI VE ATIKSU YÖNETİMİ

7.1. Tesisin Tanıtımı

Tusaş Motor Sanayii A.Ş. (TEI), başta uçak olmak üzere helikopter, gemi motoru parça imalatı, motor montajı ve motor testi alanlarında faaliyet gösteren , yüksek teknolojiye sahip bir metal işleme tesisidir. Tesis 1985 yılında Türk-Amerikan ortak teşebbüsü olarak, Eskişehir Muttalıp mevkiinde 506.000 m² lik bir alanın 50.000 m² sine kurulmuştur. Bu alan parça imalat, motor montaj, ofisler, yardımcı tesisler, motor test ünitesi ve sosyal tesisleri içine alır.

Tesis (a) parça imalat, (b) motor montaj ve (c) motor test olmak üzere üç bölümden oluşur. İmalat bölümünde 89 adet tezgah ile talaşlı imalat (tornalama, frezeleme, delme, yüzey taşlama ve slot broşlama) ve fabrikasyon (soğuk metal şekillendirme, delme, derin çekme, gaz altı kaynağı, punta kaynağı ve dikiş kaynağı) yoluyla ticari ve askeri uçak, gemi, helikopter motorları ve gaz türbinlerine ait bazıları Çizelge 7.1’de verilmiş olan 225 çeşit parça imalatı yapılmaktadır. İmal edilen parçaların ait olduğu motor tipleri ise Çizelge 7.2’de görülmektedir.

Çizelge 7.1. TEI’ de imal edilen parçalardan bazı örnekler

Talaşlı İmalat	Fabrikasyon
Kompresör ve Türbin Diskleri	Flame Holder
Airseal ve Shroud	Augmenter Duct
Muhtelif Şaftlar	Exhaust Duct Liner
Rulman Yatak Muhafazaları	Augmenter Mixing Duct
Motor Bağlantı Elemanları Koplinler	Yanma Odası Parçaları
Ring ve Linkler	Swirl Frame

Çizelge 7.2. Motor tipleri ve kullanım yerleri

Motor Tipi	Kullanım Yeri
F 110-129/100	F 16 tipi uçaklar
J 79	F 4/104, KFIR tipi uçaklar
J 85	F 5/T 38/T 2C/ SAAB 105 tipi uçaklar
LM 2500/5000	Gemiler, güç vericiler
CF 6, TF 39	B-747, C-5A/B tipi yolcu uçakları
CFM 56	Airbus, B-737, DC-8 tipi ylcu uçakları
Gaz Türbinleri	Güç Vericiler
T 700, CT 7	Skorsky, CASA helikopterleri
JT-8D	B-727, DC-9, MD-80 tipi uçaklar

Tesiste motor parça imalatı için nikel, demir, alüminyum, çelik ve titanyum alaşımli Inco 718, Inco 713, Waspaloy, Hastelloy, Titanium, Rene 41, Rene 95, Rene 88 gibi dövme, döküm, sac, bar ve tübe bazlı ham malzemeler kullanılmaktadır.

TEI' de ayrıca talaşlı imalat ve fabrikasyon dışında imalata yönelik özel prosesler, test ve kalite kontrol teknikleri kullanılmaktadır(Bkz. Çizelge 7.3).

Çizelge 7.3. TEI'de kullanılan özel prosesler ve muayene teknikleri

Özel Prosesler:	Muayene Teknikleri
	NDT (Tahribatsız Muayene) Teknikleri:
• Kimyasal Frezeleme	• Eddy Current Kontrol
• CNC Hassas Taşlama	• Ultrasonik Kontrol
• CNC Bilyalı Dövme (Shotpeen)	• Radyografik Kontrol
• CNC Metal Püskürtme (Plasma Spray)	• FPI (Fluorescent Penetrant Inspection)
• Kimyasal Metal Kaldırma	• Manyetik Partikül Kontrolü
• Vakumlu Isıl İşlem ve Braze Kaynağı	
• Sert Krom & Nikel Kaplama	DT (Tahribatlı Muayene) Teknikleri:
• Sermetal Boyama	• Makro/Mikro yapı muayeneleri
• Islak & Kuru Mekanik Temizleme	• Plazma değerlendirmesi
• Alkalin & Titanyum Temizleme	• Kaynak Testi
	• Özel proseslerin kontrolü ve kimyasal analizler
	• Çekme Testi
	• Sertlik Testi

Motor Montaj bölümünde, F/110-100 ve F/110-129 motorlarının montajı yapılmaktadır. Motor Test ünitesinde ise montajı bitmiş uçak motorları son teste tabi tutulmaktadır. Bu testten geçen ve olumlu sonuç veren motorlar satış bölümüne teslim edilmektedir. Tesiste, yılda ortalama olarak 36 adet motor monte edilerek testten geçirilmektedir.

Ayrıca, tesisin motor muayene, yedek parça temini ve Hava Kuvvetleri tesislerinde teknik temsilcilik gibi satış sonrası hizmetleri de bulunmaktadır.

Yılda 283 gün çalışılan bu tesiste vardiya sayısı 1-3 arasında değişmekte, 311 mavi yakalı (işçi) ve 139 beyaz yakalı (ofis elemanı) olmak üzere toplam 450 personel görev yapmaktadır.

7.2. Tesiste Su Tüketimi

Tusaş Motor San.A.Ş.(TEI)'de, tüketilen su, fabrika içerisinde imalata yönelik özel proseslerde, lavabo ve duşlarda, yemekhanede, yangın hatlarında; fabrika dışarısında ise sosyal tesislerde ve bahçe sulamada kullanılmaktadır.

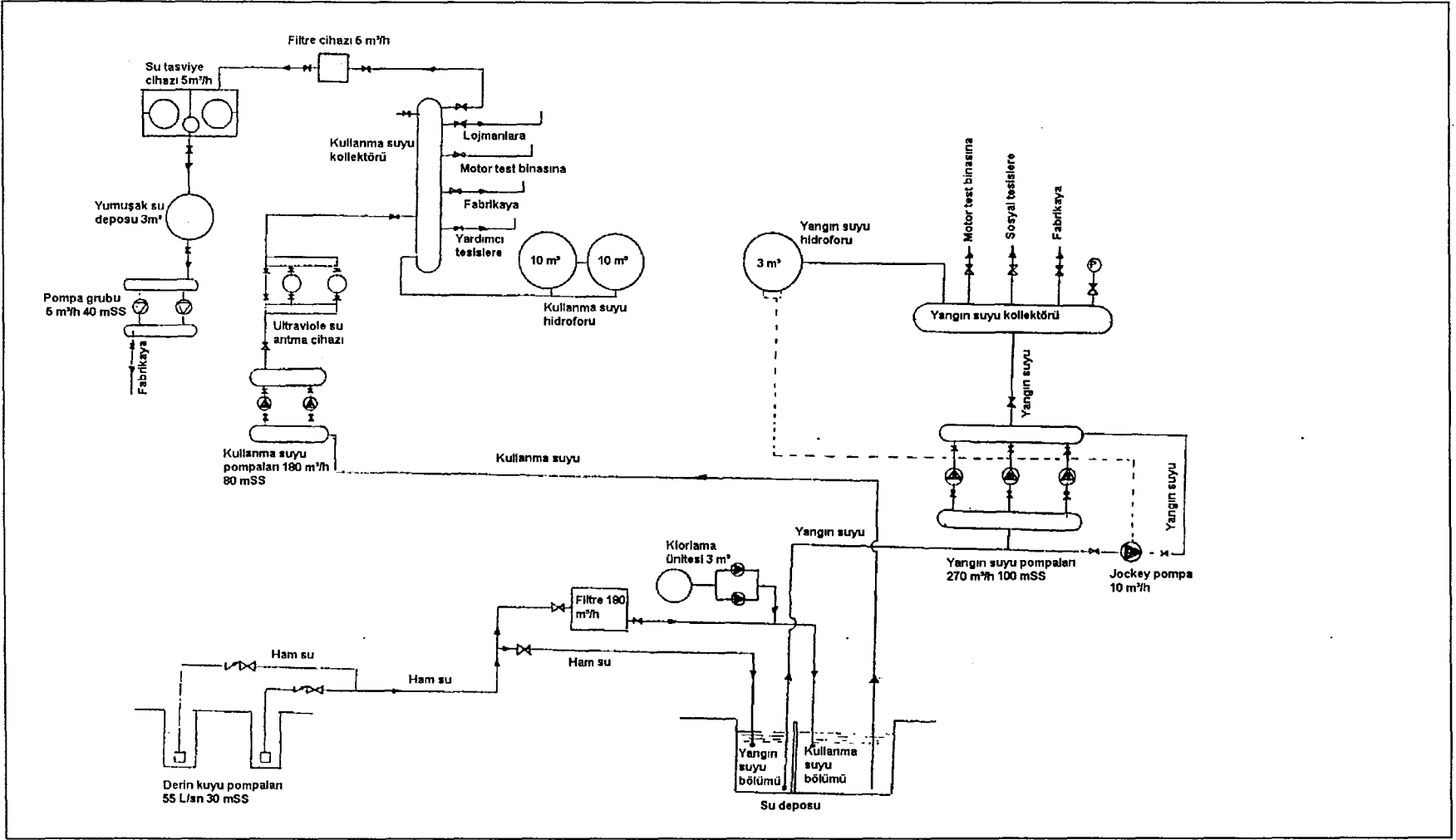
Tüketilen suyun kaynağı, fabrika sahası içerisinde bulunan 4300 ton/gün kapasiteli iki adet derin kuyudur. Derinliği 96 m olan bu iki kuyudan 55 L/sn'lik iki pompa ile, 1000 m³ hacimli su deposuna besleme yapılmaktadır. Bu depoda toplanan ham su iki hatta ayrılmaktadır.

Hattın biri, bir pompa ile yangın hidroforuna, oradan da kollektöre su beslemektedir. Kollektörden alınan su, yangın suyu olarak sosyal tesisler, motor test binası, parça imalat ve montaj atölyelerinin yangın hatlarına verilmektedir.

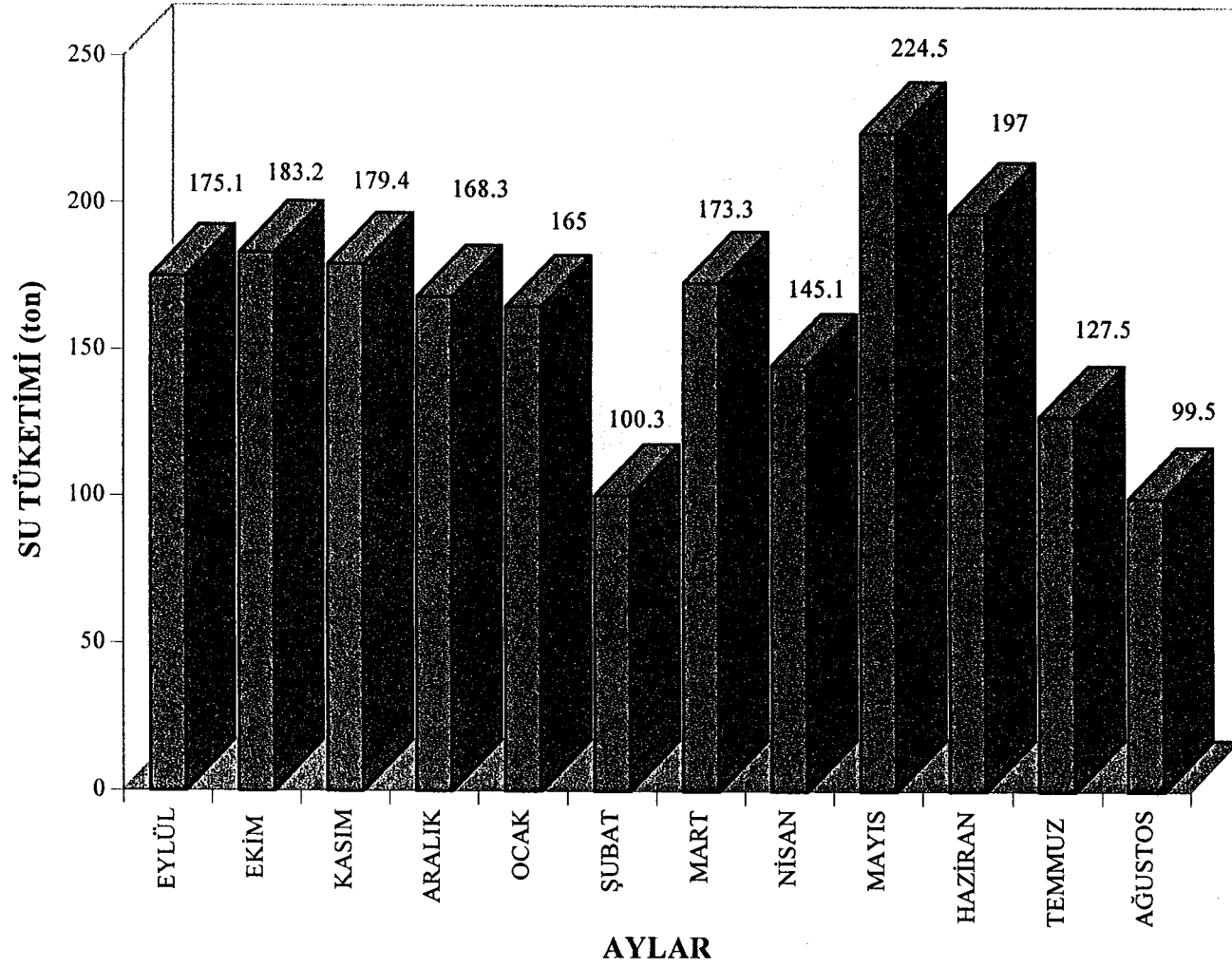
Diğer hatta ise su önce 180 m³/saat kapasiteli filtre sisteminden geçirilip, ardından 3 m³ kapasiteli klorlama sistemine verilmektedir. Kullanma suyu olarak ayrılan

bu su, içindeki mikroorganizmalarından arındırılmak üzere 180 m³/ saat kapasiteye sahip ultraviyole su arıtma cihazından geçirilmekte ve buradan çıktıktan sonra ana kollektöre gönderilmektedir. Ana kollektörden sosyal tesislere, motor test binasına, fabrika lavabo, duş ve yemekhanesine direkt olarak verilen suyun diğer bir hattı da özel proseslerde kullanılacak suyu oluşturmaktadır. Bu hattan alınan kullanma suyu, öncelikle 5 m³/saat kapasiteli kum filtresinden geçirilerek filtre edilmekte ve ardından 5 m³/saat' lik deiyonize su ünitesinde iyon giderme işlemine tabi tutulmaktadır. Buradan alınan deiyonize su, 3m³ kapasiteli yumuşatılmış su deposuna, buradan hatlarla kimyasal aşındırma, krom-nikel kaplama, X-Ray kontrol ünitelerine gönderilmektedir. Şekil 7.1' de kullanma suyu hatları ve ön arıtma işlemleri verilmiştir.

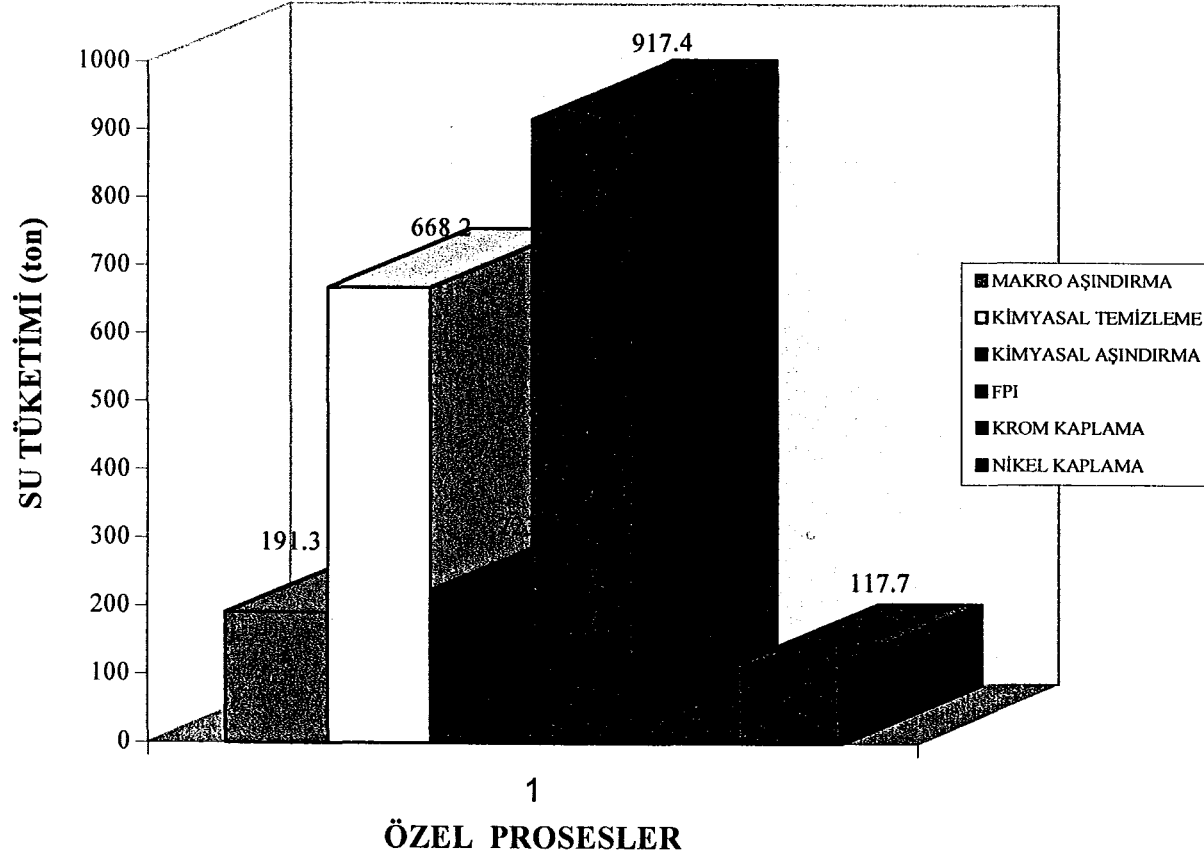
Özel proseslerde tüketilen su miktarını belirleyecek bir sayaç sistemi bulunmadığından, her bir üretim prosesinde tüketilen su miktarını belirleyebilmek üzere, detayları EK 3' de verilen bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda özel proseslerde tüketilen su, aylar bazında hesaplanmış ve yıllık ortalama su tüketimi çıkarılmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçları Şekil 7.2, 7.3 ve 7.4' deki grafiklerde verilmektedir.



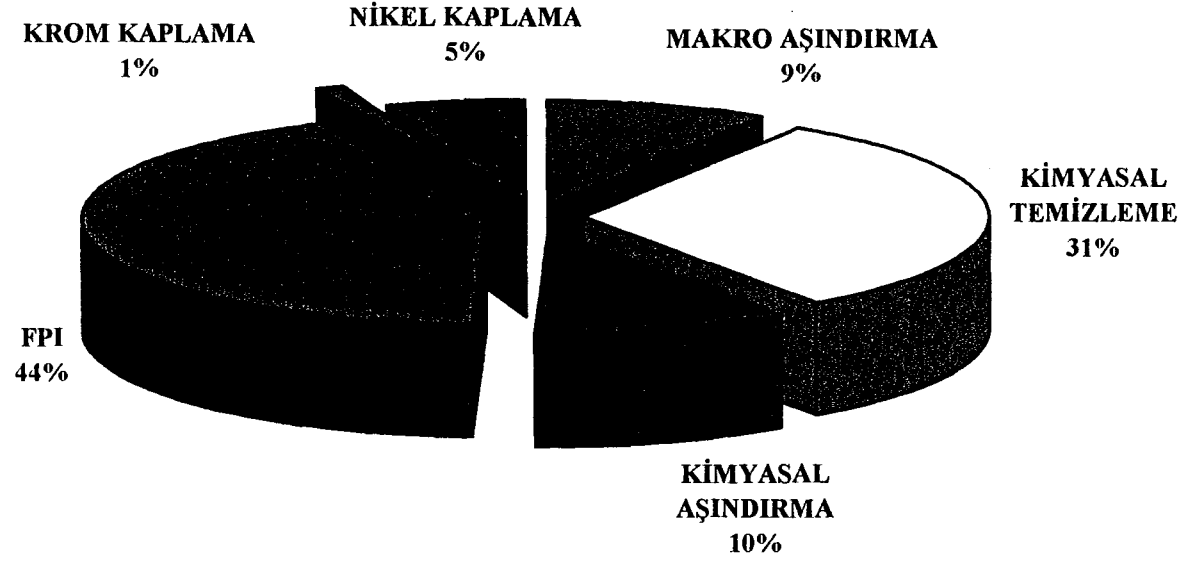
Şekil 7.1. TEI' deki kullanma suyu hatları akım şeması



Şekil 7.2. TEI' de özel proseslerdeki su tüketiminin aylar bazında dağılımı



Şekil 7.3. TEI' de özel proseslerdeki yıllık su tüketim miktarları



Şekil 7.4. TEİ' de özel proseslerdeki su tüketiminin dağılımı

7.3. Tesiste Atıksu Kaynakları ve Atıksu Karakterizasyonu

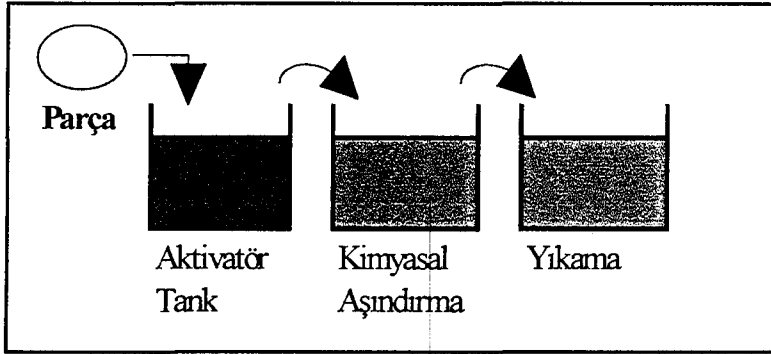
Tesiste su tüketilen krom ve nikel kaplama, makro aşındırma, kimyasal aşındırma ve FPI ünitelerinin her birinde tüketilen su miktarları 7.2 Bölümünde verilmişti.

7.3.1. Atıksu kaynakları

Kimyasal Aşındırma Prosesi:

Bu proses bir yüzey işlemi olup, parça yüzeyinin asitle aşındırılarak inceltmesini kapsamaktadır. İşlemin amacı, bir çeşit kimyasal frezeleme ile parçaların ağırlığını azaltmaktır. Proseste, iki adet aşındırma tankı, iki adet yıkama tankı ve bir adet aktivatör tankı olmak üzere beş ayrı tank bulunmaktadır (Bkz. Şekil 7.5). Tankların içerikleri Çizelge 7.4.' de verilmiştir.

Kimyasal aşındırma prosesinde inkonel parçalar işlem görmektedir. Parça, işlem öncesinde asite dayanıklı plastik malzemeden yapılmış bir maske ile kaplanarak, işleme hazırlanmaktadır.



Şekil 7.5. Kimyasal aşındırma prosesinin şematik gösterimi

Çizelge 7.4. Kimyasal aşındırma prosesi tank içerikleri [35]

TANK ADI	ADET*	KONSANTRASYON
Aktivatör	1	HCl ⁻ 20 Be
Kimyasal aşındırma	2	HCl ⁻ 3-6 N
		HF ⁻ 1.5-2.5 N
		HNO ₃ ⁻ 1.5-2.5 N
		FeCl ₃ .6H ₂ O min 185 g/L
LAB (Lineer Alkali Sülfanik Asit)	0.25 g/L	
Su		
Yıkama	2	Deiyonize su

*Kimyasal aşındırma ve yıkama tanklarından ikişer adet bulunmakta ve tanklar gerektiğinde eşanlı kullanılabilir.

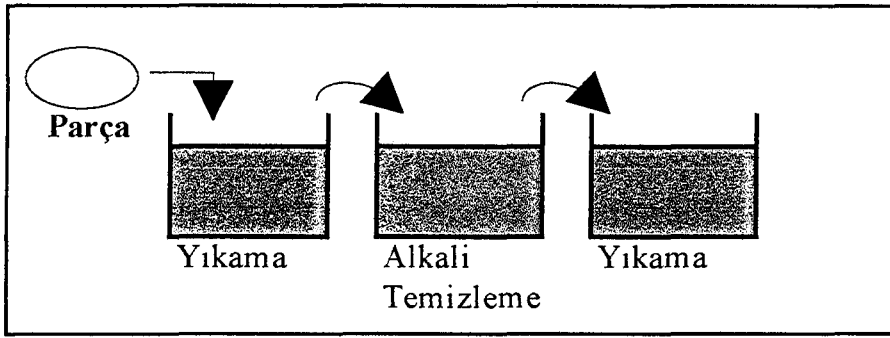
Maskelenmiş parçanın üzerindeki aşındırılacak kısımlar belirlenmekte ve maskeleri söküldükten sonra işleme hazır olan parça, birkaç dakika süre ile aktivatör

tankında bekletilmektedir. Bu tanktan çıkarılan parça, kimyasal aşındırma sıvısının bulunduğu tanka daldırılmakta ve bir süre bekletilmektedir. Tanklarda bekleme süreleri herbir parça için özel proses açıklamalarında verilmiştir. Aşındırma işlemi tamamlandıktan sonra parça, yıkama tankına alınmakta ve aşındırma sıvısı temizleninceye kadar parça yüzeyine su tabancası ile su tutularak yıkanmaktadır.

Alkali Temizleme Prosesi

Bu prosesin amacı, parçanın işlenmesi sırasında üzerinde kalan yağlardan parçayı arındırmaktır. Ünite, turco vitro-klene içeren alkali temizleme tankı ve su içeren yıkama tankından meydana gelmektedir (Bkz. Şekil 7.6). Proseste, imal edilen parçaların hemen hemen tümü alkali temizlemeye tabi tutulmaktadır.

Değişik proseslerden gelen temizlenecek parça, önce alkali temizleme tankına daldırılmakta ve işlem gören malzemenin türüne bağlı olarak öngörülen süre boyunca bekletilmektedir. Daha sonra yıkama tankına alınmakta ve tabanca ile su püskürtmek suretiyle alkali sıvısı temizleninceye kadar yıkanmaktadır. Son olarak basınçlı hava ile kurutulmaktadır. Eğer parça FPI prosesinden alkali yıkamaya gönderilmişse işleme girmeden önce de su tankı üzerinde tutularak su tabancası ile yıkanır.



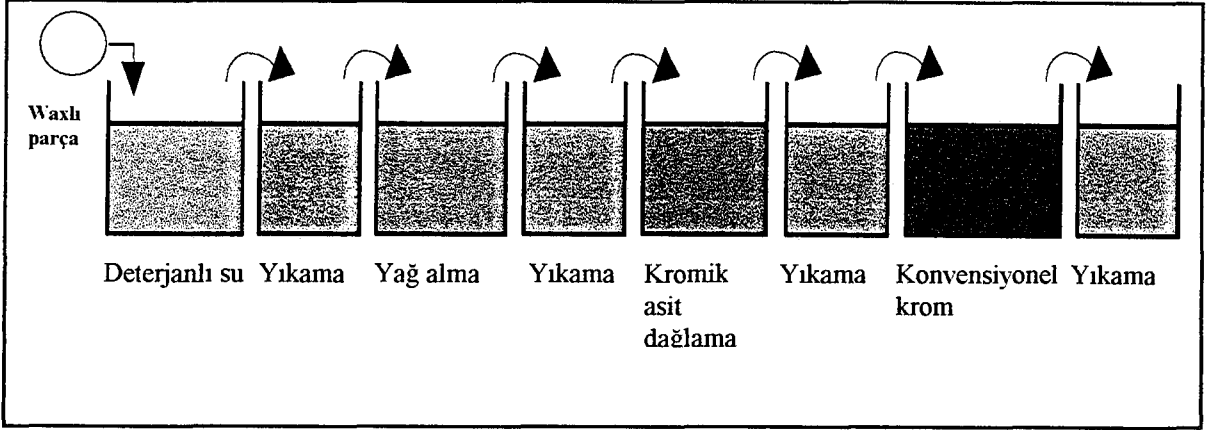
Şekil 7.6. Alkali temizleme prosesinin şematik gösterimi

Krom Kaplama Prosesi

Parçaların yüksek sıcaklığa dayanımını arttırabilmek amacıyla yüzey dayanıklılığını arttırmak üzere uygulanan, tank içerikleri Çizelge 7.5' de verilen krom kaplama prosesinde (Bkz. Şekil 7.7) paslanmaz çelik malzemeler işlem görmektedir.

Öncelikle parça yüzeyi aside dayanıklı "wax" adı verilen parafin maske ile tamamen kaplanmaktadır. Yüzeydeki pislikleri kabartmak ve yağ alma işlemine hazırlamak için parça deterjanlı suda bekletilmekte ve yıkanmaktadır. Bu işlemin ardından kaplamanın yüzeye daha iyi tutunabilmesi ve yüzeyde boşluk oluşmaması için parça üzerindeki yağ alınmaktadır. İkinci bir kez yıkama işleminden sonra parça, kromik asit dağlama işlemine sokulmaktadır. Bu işlemin amacı, parçanın yüzeyinden 1/100 000 inch kalınlığında söküm yaparak yüzeyi pürüzsüz hale getirmek suretiyle parçayı krom kaplamaya hazırlamaktır.

Son olarak parça, konvensiyonel krom tankında, parçanın büyüklüğü ve şekline göre değişen 12-48 saatlik sürelerde bekletilerek belli bir miktar elektik akımı altında, elektrokimyasal olarak krom kaplanmaktadır. İşlem sona erdiğinde parça, son olarak yıkanmakta ve 180 °C ' de kurutulmak üzere fırına gönderilmektedir.



Şekil 7.7. Krom kaplama prosesinin şematik gösterimi

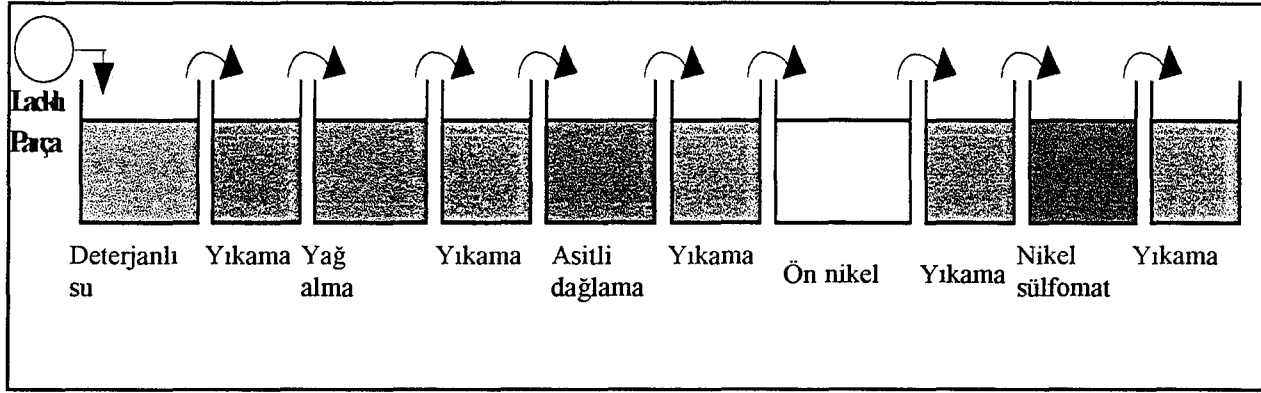
Çizelge 7.5. Krom kaplama prosesi tank içerikleri [35]

TANKLAR	ADET	KONSANTRASYON
Deterjanlı yağ alma	1	Radikal , su
Yağ alma (elektro-degrease)	1	100-150 g/L Elfox OC Salt
Kromik Asit Dağlama	1	225-275 cc/L H ₂ SO ₄ , 8-10 cc/L HF ⁻
Konvensiyonel Krom	1	300 g/L CrO ₃ , 2.5-4.2 g/L saf H ₂ SO ₄
Krom Sökme	1	% 50 HCl, ya da 30 cc/L Chrome stripper
Yıkama Tankları	2	Deiyonize Su

Nikel Kaplama Prosesi

Bu prosesin amacı, kullanım yerinde atmosferik koşullara bağlı olarak meydana gelebilecek paslanmayı önlemek amacıyla parça yüzeyinin dayanıklılığını arttırmak üzere nikel ile kaplanmasını sağlamaktır. Tank içerikleri Çizelge 7.6' da verilen bu proseste (Bkz. Şekil 7.8) işlem gören parçalar, kullanılacağı alanlarda paslanmaya maruz kalabilecek yüzeyi zayıf olan (rene ve süper alloy malzeme) parçalardır.

Parça yüzeyi öncelikle PVC malzemenen yapılmış "lack" adı verilen bir maske ile kaplanmakta ve parçalar, krom kaplama prosesine benzer şekilde yağ alma amacıyla deterjan ve kostik içerikli sudan geçirilmektedir. Yıkama işleminden sonra, yüzeydeki kostiği temizlemek ve yüzeyde aşındırma yapmak amacıyla asitli dağlama yapılmaktadır. Kaplamaya hazırlık için yıkama işleminden geçirilen parçaların yüzeyine ön kaplama işlemi uygulanmaktadır. Yıkamadan sonra nikel sülfomat tankında belli bir akım altında elektro kaplama işlemi gerçekleştirilmektedir. Tanklarda bekleme süreleri işlem gören parçaya göre değişmektedir. Kaplama işlemi bittikten sonra parça son bir kez daha yıkanmakta ve 230 °C de kurutulmak üzere fırına gönderilmektedir.



Şekil 7.8. Nikel kaplama prosesinin şematik gösterimi

Çizelge 7.6. Nikel kaplama prosesi tank içerikleri [35]

TANKLAR	ADET	KONSANTRASYON
Deterjanlı Yağ Alma	1	Radikal, su
Yağ alma (electro-degrease)	1	100-150 g/L Elfox OC Salt
Asitli Dağlama	1	300-350 cc/L H ₂ SO ₄ , deiyonize su
Ön nikel	1	240 g/L Nikel klorit, HCl, deiyonize su
Nikel sülfomat	1	665 cc/L Nikel sülfomat, 40 g/L Nikel tuzu 0.44 cc/L Wetting agent B, 3.5-7 Nikel klorit 30-40 g/L Borik asit
Nikel sökme	1	% 50 Nitrik asit
Yıkama Tankları	2	Deiyonize su

FPI Prosesi

Bu proses, parça yüzeyinde çatlak kontrolünü amaçlayan tahribatsız bir muayene işlemidir. Tesiste işlem görmüş parçaların hemen hemen tümü, bu processten geçmektedir.

Öncelikle parçaya penetrant adı verilen, vizikositesi çok düşük ve parça yüzeyindeki çok ince çatlaklara nüfuz edebilen yağ tatbik edilmekte ve 15-30 dakikalık bekleme süresinden sonra ön yıkama yapılmaktadır.

Yüzeydeki penetrantın tamamen temizlenmesi amacıyla parçaya deterjan özellikli bir madde olan emülsifiyer (emulsifier) uygulanmakta, iki dakikalık bekleme süresinin ardından son yıkama işlemi gerçekleştirilmektedir.

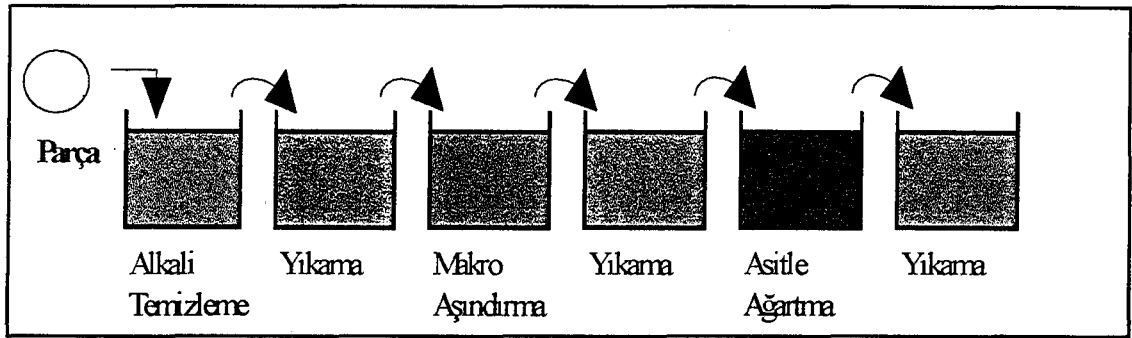
Parça, fırında 50 °C' de 30 dakika süre ile kurutulduktan sonra developer uygulaması yapılmaktadır. Toz veya sprey şeklinde uygulanan bu madde, penetrantı soğurup dışarı çekerek çatlakın daha iyi görülmesini sağlamaktadır.

Tüm bu işlemlerden geçen parça, kapalı bir ortamda ultraviyole ışık altına alınarak çatlak kontrol işlemi gerçekleştirilmektedir.

Makro Aşındırma:

Makro aşındırma işlemi, döküm parçalarda döküm hatalarını görmek için uygulanan, parça yüzeyini aşındırma işlemidir. Ayrıca parçanın moleküler yapısının incelenmesi (grain size) işlemine de bir hazırlık teşkil etmektedir.

Genellikle, nikel alaşımlı parçalara uygulanan bu işlem öncesinde parça alkali temizlemeye alınmaktadır. Yıkama işleminden sonra, parça makro aşındırma tankına girmektedir. Bu işlemin ardından tekrar yıkanan parça, asitle işlem görmek üzere ağartma tankına alınmaktadır. Ağartma işleminin ardından son kez yıkanan parça, incelemeye alınmak üzere labrotuvara gönderilmektedir. Şekil 7.9' da şematik görüntüsü verilen makro aşındırma prosesinin tank içerikleri de Çizelge 7.7' de verilmektedir.



Şekil 7.9. Makro aşındırma prosesinin şematik gösterimi

Çizelge 7.7. Makro aşındırma prosesi tank içerikleri [35]

TANKLAR	ADET	KONSANTRASYON
Alkali temizleme	1	% 5.6-6.9 Turco vitro klene, %93 su
Makro aşındırma	1	% 8-12 HCl, % 80.5-84.5 FeCl ₃ , Su
Ağartma	1	% 15.3-20 HNO ₃ , % 6.0-8.0 HF, Su
Yıkama	1	Deiyonize su

Solventle Temizleme

Solventle temizleme prosesinde, buharla temizleme yöntemiyle, metal parça üzerindeki yağlar, partikül şeklindeki kirlilikler ve maske kalıntıları giderilmektedir. Kapalı bir sistem olan bu proses, içinde 300 litre 1,1,1 tri kloreten bulunan bir tankdan oluşmaktadır. 90 °C' ye kadar ısıtılan triloretan buharlaştırılmakta ve buharı ile parça yüzeyi temizlenmektedir.

7.3.2. Atıksu karakterizasyonu

Bölüm 7.3.1.'de verilen özel proseslerden kaynaklanan atıksular, genelde metal işleme tesislerinde olduğu gibi düşük debilerde olmakla birlikte, çevre ve insan sağlığına zararlı toksik bileşenler içerebilmektedir. Atıksuyun tipik özellikleri; bir metal işlem sanayi olarak, bu grubun atıksu özelliklerine uymakta, toksik nitelik arzeden bu

tip atıksular, düşük organik madde,yüksek asidite, yüksek yağ-gres, ve ağır metaller (özellikle krom ve nikel) içermektedir.

Özel proseslerden kaynaklanan atıksuların tipik özelliklerini belirleyebilmek üzere, yıkama tanklarından alınan atıksu numunelerinde, AKM, KOI, demir, krom ve nikel analizleri yapılmış ve Çizelge 7.8' de verilen konsantrasyonlar ölçülmüştür. Buna göre, konsantre tankında biraraya gelen atıksulardaki KOI ve AKM' nin en büyük kaynağını FPI prosesi oluşturmaktadır. Atıksudaki yüksek nikel yükü, nikel kaplama hattından gelen yıkama sularından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, kimyasal aşındırma prosesinin yıkama tanklarından kaynaklanan atıksular, konsantre tankındaki atıksuda, düşük pH oluşturmaktadır.

Çizelge 7.8. TEI' deki parça yıkama tanklarının atıksu karakteristikleri

Parametre	pH	AKM (mg/L)	KOI (mg/L)	Demir (mg/L)	Krom (mg/L)	Nikel (mg/L)
Atıksu kaynağı						
FPI ünitesi	7.6	1820	4700	1.06	0.15	6.3
Kimyasal aşındırma yıkama tankı	2.5	24	154	0.53	0	4.6
Alkali temizleme yıkama tankı 1	7	8	44	0.1	0	0.26
Alkali temizleme yıkama tankı 2	6.8	15	38	0.08	0	0.3
Nikel-hattı yıkama tankı 1	6.5	5	37	0	0.2	0.44
Nikel-hattı yıkama tankı 2	6.7	8	39	0.25	0	1.77
Nikel-hattı yıkama tankı 3	5.4	12	36	0	0	58.45
Krom hattı yıkama tankı	6.6	10	27	0.48	18.7	1.70

ANAÇEVREM (Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi) tarafından, Haziran-Aralık 1996 döneminde gerçekleştirilen proje kapsamında aylık periyotlarla alınan giriş ve çıkış su numunelerinde yapılan atıksu analizleri ve sonuçları (Bkz.Çizelge 7.9) atıksu karakterizasyonu hakkında bilgi vermesi açısından önemlidir.

Çizelge 7.9. TEİ' de atıksu arıtma tesisine gelen ham ve arıtılmış atıksu analiz sonuçları^{(a), (b)} [17]

ÖLÇÜM NOKTASI	1	2	3	4	5	6	7
PARAMETRE							
Su sıcaklığı (°C)	17.1 (7) ^(c)	19.15 (7)	15.13 (4)	15.8 (4)	14.6 (2)	24.61(3)	15(8)
Elektriksel iletkenlik	3.3 (5)	13.1 (7)	1.14 (4)	2.85 (4)	0.03 (2)	0.27 (2)	2.4 (8)
pH	2.4 (7)	10.6 (7)	4.8 (4)	6.6 (4)	9 (2)	6.7 (3)	9.21 (8)
AKM (mg/L)	625 (7)	163 (7)	992 (4)	840 (4)	3104 (3)	6.7 (3)	9.21 (8)
BOI(mg/L)	5.6(2)	3.5(6)	323.51(3)	66(3)	95.4(2)	30.51(3)	15.7(7)
KOI(mg/L)	579(7)	159(7)	6500(4)	6300(4)	7937(3)	10881(3)	1253(8)
Çözünmüş oksijen	5.4(7)	6.4(7)	5.4(4)	6.1(4)	3.7(3)	5.2(3)	5.5(8)
Azot (organik) (mg/L)	5.5(7)	5.8(7)	11.2(4)	10.8(4)	2.9(3)	1.67(3)	4.7(8)
Yağ-gres(mg/L)	1.34(5)	0.01(5)	4.40(3)	1.9(3)	12.3(2)	0.15(2)	0.08(6)
Florür(mg/L)	35.1(7)	2.4(7)	11.2(4)	2.7(4)	74.2(3)	15.2(3)	4.51(8)
Klor (serbest) (mg/L)	1.6(7)	1.7(7)	2.3(3)	0.8(3)	204(3)	0.3(3)	1.7(8)
Klor (toplam) (mg/L)	5.7(7)	2.02(7)	3.6(3)	0.9(3)	268(3)	0.4	1.8(8)
Sülfat(mg/L)	2019(7)	1392(7)	78.8(4)	1010(4)	852(3)	978(3)	1160(8)
Sülfür(mg/L)	2(7)	0.8(7)	2.4(4)	1.5(4)	1.8(3)	.0.6(3)	0.1(8)
Alüminyum (mg/L)	0.87(4)	0.01(7)	77(4)	241(4)	41.5(2)	0.3(3)	0.12(8)
Bakır(mg/L)	8.7(7)	0.17(7)	0.3(3)	0.65(4)	513(3)	0.22(3)	0.06(8)
Civa(mg/L)	0.04(6)	0.006(5)	0.01(3)	0.003(3)	0.02(3)	0.05(3)	0(4)
Çinko(mg/L)	4.7(7)	0.49(7)	3.4(4)	2.3(4)	2.7(3)	0.36(3)	0.36(8)
Demir(mg/L)	11.4(7)	3.4(7)	89.5(4)	123.4(4)	7.7(2)	2.3(3)	2.3(8)
Kadmiyum(mg/L)	0.37(6)	0.2(6)	0.3(3)	0.2(3)	0.07(3)	0(3)	0(5)
Krom (toplam) (mg/L)	610(7)	8.4(7)	1.1(4)	0.9(4)	1.9(2)	1.3(3)	1.6(8)
Krom +6(mg/L)	4.7(7)	0.01(7)	0.05(4)	0.02(4)	0.24(3)	0.02(3)	0.04(8)
Kurşun(mg/L)	5.7(7)	1.8(7)	0.3(4)	1.02(4)	3.2(3)	1.04(3)	0.4(8)
Nikel(mg/L)	154.58(7)	0.3(5)	2.4(4)	21.8(4)	518(3)	12(3)	5.7(8)
Nitrit azotu(mg/L)	70(2)	5(2)	70(1)	20(1)	120(1)	30(1)	310(3)
Amonyum azotu(mg/L)			5.5(1)	4.9(1)			
Fenol(mg/L)	0.12(1)	0(1)	7(1)	4(1)	30(1)	10.6(1)	7.3(3)
Florür(mg/L)	55(1)	38(1)					

(a) tarihleri arasındaki yedi aylık dönemde ANAÇEVREM tarafından gerçekleştirilen atıksu analiz çalışmaları sonucunda elde edilen verilerdir.

(b) Tabloda verilen analiz sonuçları aritmetik ortalama değerlerine karşılık gelmektedir.

(c) Parantez içindeki sayılar analiz edilen örnek sayısını göstermektedir.

1. Krom redüksiyon hattı giriş atıksuyu
2. Krom redüksiyon hattı çıkış suyu
3. Bor yağı arıtma hattı giriş atıksuyu
4. Bor yağı arıtma hattı çıkış suyu
5. Kesikli arıtma hattı giriş atıksuyu
6. Kesikli arıtma hattı çıkış suyu
7. Kanalizasyona deşarj edilen su

Krom Hattı Atıksuları

Krom kaplama prosesinin kaplama banyolarından kaynaklanan kaplama sıvısı atıklarını, yıkama banyoları sularını ve atık kromik asit sıvısını içeren bu atıksuların tipik özelliği, yüksek oranda Cr (+6) içermesidir. Cr (+6), krom kaplama prosesinin yıkama tanklarından kaynaklanan atıksularda daha az, atık kromik asitte ise oldukça fazladır.

Kaplama banyosu atıkları pH değeri 1-3 gibi düşük iken, yıkama banyoları atıksuyunun pH değeri 6-7 arasında değişmektedir.

Atıksuyun organik madde içeriği çok düşük olduğundan BOI 'si ölçülemeyecek kadar az, KOI'si ise ortalama 100-500 mg/L arasında değişmektedir.

İşlem gören parçadan ve kaplama banyolarından birtakım partikül maddeleri getiren atıksularda AKM içeriği çok yüksek olmamakla birlikte, yaklaşık 50-300 mg/L civarında seyretmektedir.

Bu atıksuların diğer tipik özellikleri, çözünmüş O₂ içeriğinin düşük ve sülfat miktarının ise yüksek olmasıdır. Daha önceki dönemlerde yapılan atıksu analizlerinde çözünmüş oksijen içeriğinin 5 mg/L ve sülfatın da 2000 mg/L civarında olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, nötralizasyon tankına bağlı bir adet nikel yıkama banyosundan sürekli arıtma sistemine bir miktar nikel kaçağı da olmaktadır.

Konsantre Tankı Atıksuları

Konsantre tankına çok çeşitli kaynaklardan (nikel kaplama, FPI, kimyasal aşındırma, alkali yıkama, makro aşındırma, scrubber) atıksuların gelmesi tankta biriken atıksuyun karakterizasyonunu güçleştirmekte, zamana bağlı pik değişimler görülmesine neden olmaktadır.

Bu atıksular, asidik (pH 4-6 civarında) özellik göstermekle beraber, yıkama sularının konsantre tankına fazla verilmesi halinde nadiren de olsa pH' ı 8 civarına yükselmektedir.

Atıksular; nikel kaplama banyo atıkları ve nikel kaplama-yıkama sularını içerdiğinden nikel içeriği oldukça yüksektir. Daha önceki dönemlerde yapılan analizler, konsantre tankındaki nikel derişiminin 20-200 mg/L arasında değiştiğini göstermiştir.

Bu atıksular düşük de olsa 20-300 mg/L civarında BOI ile, değişkenlik göstermekle birlikte, 4000-8000 mg/L civarında seyreden KOI'ye sahiptir. KOI' nin en büyük kaynağı, FPI'da kullanılan developer, emülsifayer, penetran gibi kimyasal maddelerdir. Çünkü nikel kaplama-yıkama sularının KOI'si oldukça düşüktür.

Krom-Nikel kaplama prosesleri, tesis içerisinde aynı bölümde yer aldığından ve bu bölümün taban yıkama suları konsantre tankına geldiğinden dolayı atıksu çok düşük de olsa (1-5 mg/L) civarında Cr (+6) içerebilmektedir.

Atıksuyun diğer bir özelliği de krom kaplama atıksularına kıyasla çok daha yüksek oranda (4000-10000 mg/L) AKM içermesidir. Ayrıca, daha önceki dönemlerde yapılan analizlerde sülfat içeriğinin de yüksek (2000 mg/L civarında) olduğu gözlenmiştir.

Yağ/su karışımı olarak emülsiyon fazında gelen bu atıksuların başlangıç pH değeri 8 civarında olmakta, fakat yağ fazı ayırma işleminden sonra pH değeri, 2-3 seviyesine düşmektedir.

Bu atıksuların en büyük özelliği yüksek yağ içerikleridir. Ayrıca yağlı atıksu organik maddeler içerdiğinden atıksuda 300-600 mg/L civarında BOI ve yüksek miktarda (5000-10000 mg/L) seviyesinde ise KOI'ye rastlanmaktadır.

AKM ve sülfat miktarları diğer birimlerden gelen atıksulara göre düşük seviyelerde seyretmektedir. Daha önceki dönemlerde yapılan analizler sonucunda AKM'nin 200-1000 mg/L ve sülfatın ise 50-100 mg/L seviyelerinde seyrettiği anlaşılmıştır.

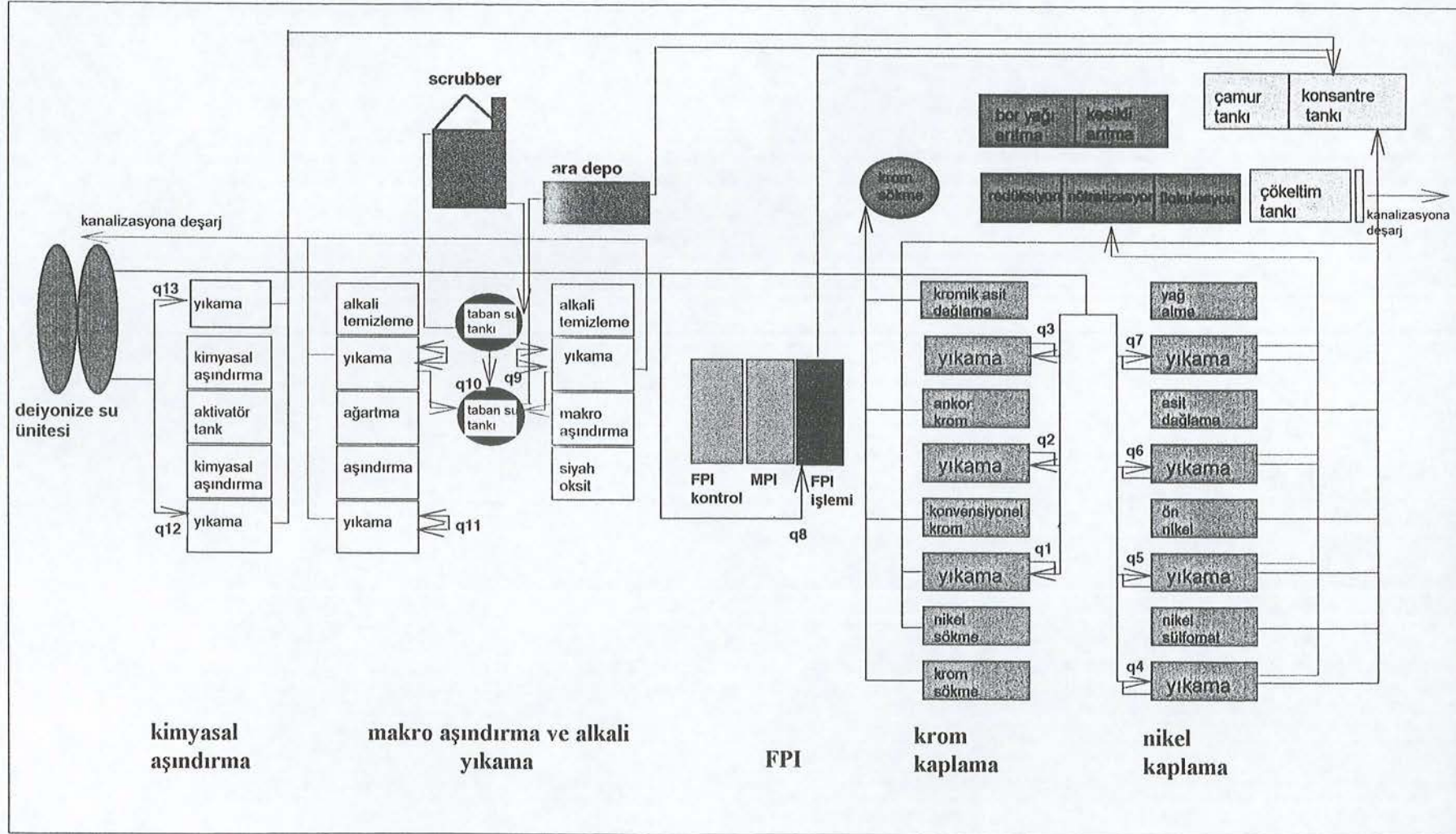
7.4. Atıksu Arıtma Tesisi

Tusaş Motor Sanayi A.Ş.(TEI)' deki atıksu arıtma tesisi, Goema Arıtma Sistemleri Ltd.Şti. tarafından kurulmuş ve 7 Şubat 1992'de devreye alınmıştır.

Kesikli ve sürekli olarak çalışan iki gruptan meydana gelen atıksu arıtma tesisinde özel proseslerden kaynaklanan endüstriyel atıksular kimyasal yöntemlerle arıtılmaktadır. Atıksu kaynakları arıtma tesisine gelen su hatları ve atıksu arıtma tesisinin bir arada şematik görünümü Şekil 7.10' da ve kesikli/sürekli arıtım tankları Şekil 7.11' de gösterilmiştir.



Şekil 7.11. TEI atıksu arıtma tesisi kesikli ve sürekli arıtım hatlarının genel görünümü



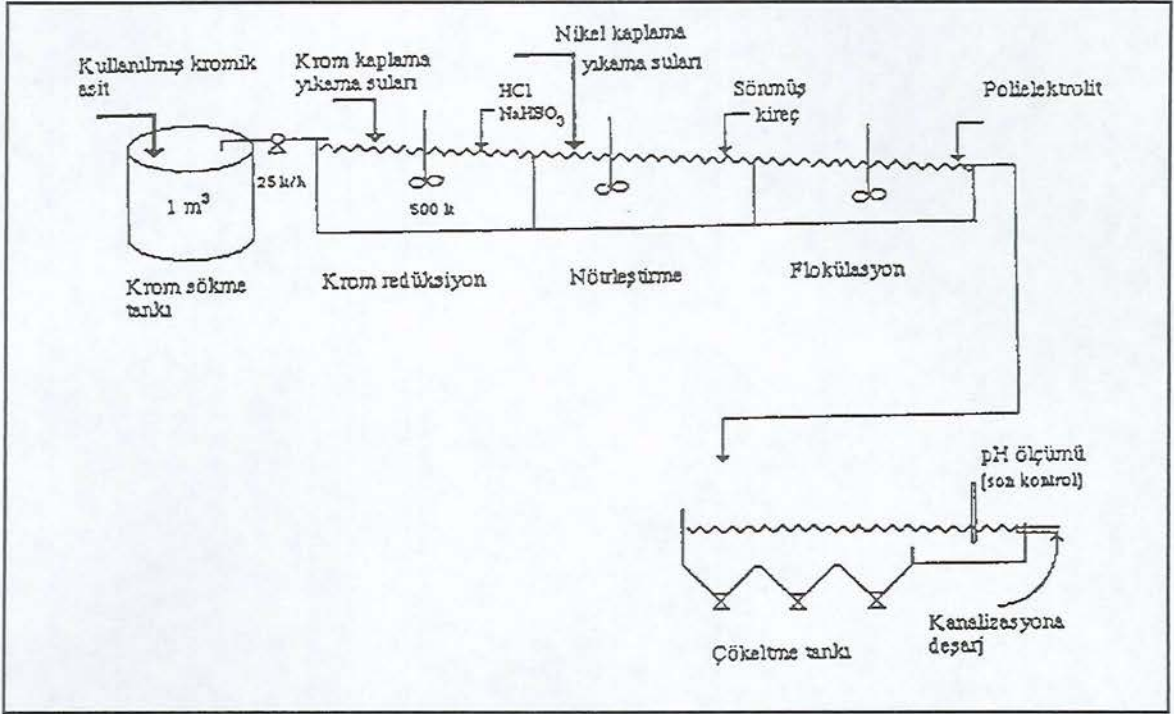
* q değçerleri, tanklara gelen su debileri olup, bu değçerler EK 3' de verilmiştir.

Şekil 7.10. TEI atıksu arıtma tesisine gelen su hatlarının şematik gösterimi

7.4.1. Krom redüksiyon sürekli arıtma tesisi

Krom kaplama prosesinden gelen proses atıksuları ve yıkama suları, akış şeması Şekil 7.12' de verilen ve otomatik kontrollü olarak sürekli arıtım yapabilen üniteye arıtılmaktadır (Bkz. Şekil 7.13). Arıtma tesisine gelen günlük atıksu miktarı değişkenlik göstermekle birlikte, ortalama 200-500 litre civarındadır. Atıksu, kaynak proseste işlem yapıldıkça kesikli olarak gelmektedir.

Sistemde krom sökme tankı dışındaki tüm tanklarda hem otomatik hem de manuel çalışabilen karıştırıcılar bulunmakta ve atıksu, arıtma işlemi sırasında karıştırılmaktadır.



Şekil. 7.12. TEI atıksu arıtma tesisine ait krom redüksiyon sürekli arıtma sistemi [17]

Krom sökme tankı, atık kromik asit depolama tankı niteliğinde olup, asitler otomatik ya da manuel olarak asit pompası ile krom redüksiyon tankına verilmektedir. Bu tankta kaplama-yıkama suları ile asit birleştirilmekte ve krom redüksiyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Öncelikle atıksuyun pH' ı gerekiyorsa HCl asit ilavesi ile 2-3 arasına ayarlanmaktadır. Ardından sodyum bisülfid (NaHSO_3) ilavesi ile Cr (+6) bileşikleri Cr (+3)' e indirgenmektedir.

Krom redüksiyon tankından taşma usulüyle nötralizasyon tankına gelen atıksulara kireç ilavesi yapılarak pH' ı 9 civarına yükseltilmekte ve Cr (+3) bileşiklerinin hidroksitleri şeklinde çökmesi sağlanmaktadır. Aynı zamanda bu tankta pH yükseltmek suretiyle nötralizasyon işlemi de gerçekleştirilmiş olmaktadır.



Şekil 7.13. TEI atıksu arıtma tesisine ait otomatik kontrol ünitesi

Nötralizasyon tankında krom bileşikleri giderilen ve nötralize edilen atıksular, taşma usulüyle flokulasyon tankına gönderilmektedir. Bu tankdaki işlemin amacı, polielektrolit ilavesi yardımıyla suda bulunan AKM' nin yumaklaşmasını ve sudan daha kolay ayrılmasını sağlamaktır.

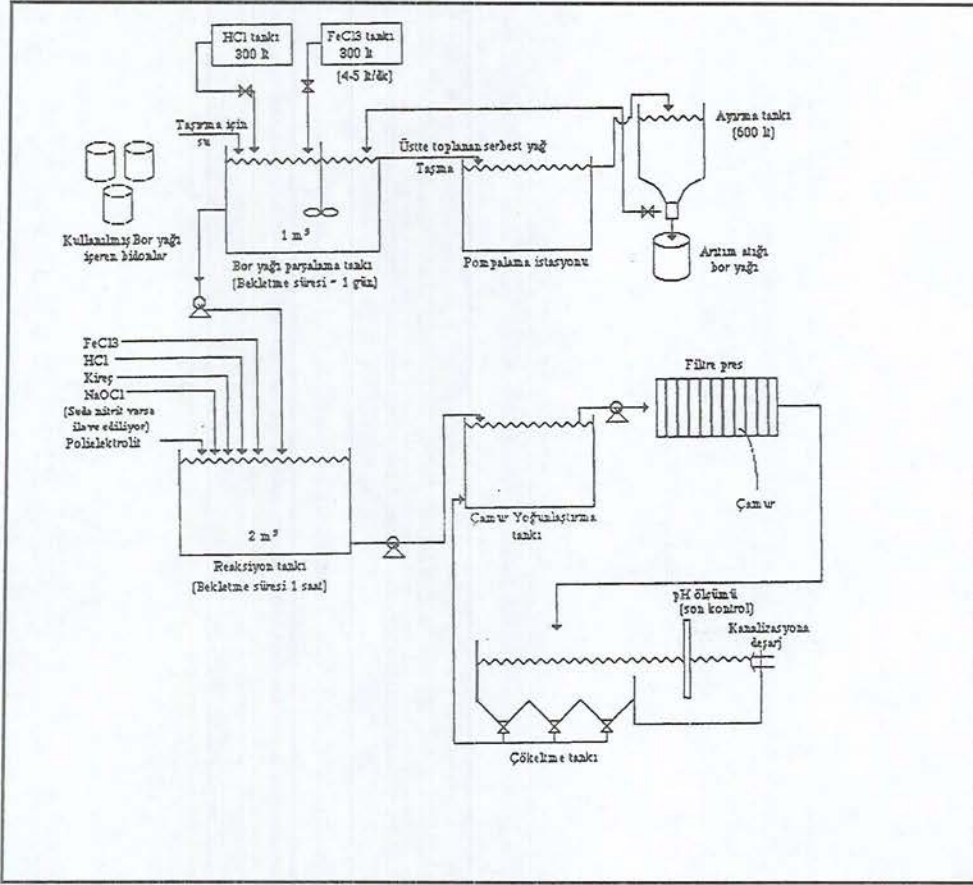
Flokulasyondan geçen atıksu, sürekli bir akış ile çökeltim tankına gelmekte ve bu bölümde katı maddelerin tamamen dibe çökmesi sağlanmaktadır. Çökelen çamurlar, zaman zaman çamur yoğunlaştırma havuzuna verilmektedir. Üst kısımdan taşma usulüyle akan arıtılmış sular ise son kez otomatik olarak pH kontrolü yapıldıktan sonra kanalizasyona deşarj edilmektedir.

7.4.2. Kesikli arıtma sistemi

Boryağı emülsiyon kırma ve su/yağ fazı ayırma işlemleri

Tesisin talaşlı imalat tezgahlarında kullanım ömrünü doldurmuş olan atık kesme sıvıları (bor yağı) 1.2 tonluk bor yağı tankında biriktirilmekte ve tank dolduğunda arıtma tesisine aktarılmaktadır.

Şekil 7.14 ' de akış şeması verilen sistemde, bor yağı tankında biriktirilmiş olan kesme sıvılarının bir seferde yaklaşık 1 tonu emülsiyon parçalama tankında işlem görmekte, yağ/su fazı ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Öncelikle HCl ilavesiyle pH, 3'e düşürülmekte ve emülsiyon kırma amacıyla 100 mg/L derişimindeki demir 3 klorür ($FeCl_3$) çözeltisinden atıksuyun litresi başına yaklaşık 15 ml ilave edilmektedir. Beş dakika karıştırma işleminden sonra 24 saat süreyle beklemeye alınmaktadır. Bekleme süresinin ardından üstte toplanan serbest yağ tabakası, su ile taşırılmak suretiyle savaktan geçirilerek pompalama istasyonuna alınmaktadır. Üstteki yağ tabakasının tamamı pompalama istasyonuna alındığında bu işlem sona ermektedir.



Şekil 7.14. TEI atıksu arıtma tesisine ait Bor yağı emülsiyonları yağ/su fazı ayırma sistemi [17]

300 litre kapasiteli pompalama tankı dolduğunda bu tankdaki atık yağ, ayırma tankına alınmaktadır. 600 litre kapasiteli ayırma tankı altında toplanan su fazı tekrar parçalama tankına geri döndürülürken, üstte toplanan atık yağ 200 litrelik varillere aktarılırak, varillerin üzeri etiketlenip atık yağ depo alanına gönderilmektedir.

Emülsiyon parçalama tankında bulunan yağı ayrılmış asidik karakterdeki atıksu, reaksiyon tankına alınmakta ve öncelikle karıştırma yapılmak suretiyle işleme başlanılmaktadır. Koagülasyon ve daha iyi çökeltme sağlamak için ortama 100 mg/L derişimindeki $FeCl_3$ 'den atıksuyun litresi başına yaklaşık 15 ml dozlanmaktadır. Daha

sonra kireç ilavesi yapılarak ortamın pH' ı 10 civarına yükseltilmekte, karıştırma işlemi durdurulup, 1 saatlik reaksiyon süresi başlatılmaktadır. Bu süre zarfında eğer mevcutsa ağır metallerin çökerek sudan ayrılması sağlanmaktadır.

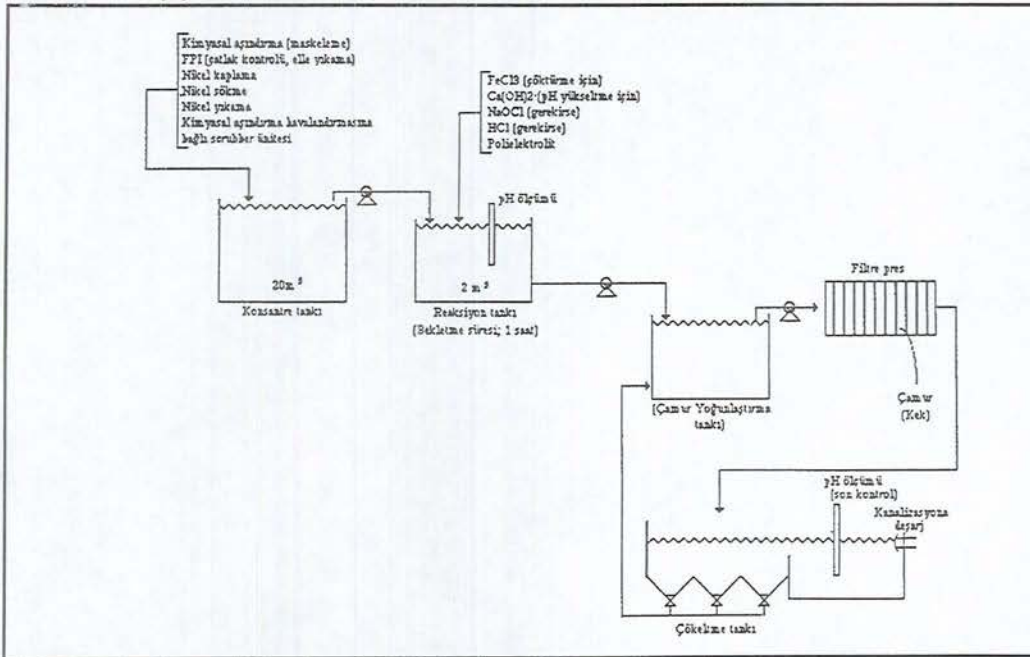
Reaksiyon tamamlandıktan sonra ortamın pH değerini 6.5-9 arasına getirebilmek üzere kireç veya HCl ilavesi yapılmaktadır. Son olarak flokulasyon amacı ile polielektrolit dozlaması yapılmakta ve 2-3 saatlik bekletme süresinden sonra arıtımı tamamlanmış atıksu, çamur yoğunlaştırma tankına alınmaktadır. Buradan filterprese ve ardından çökteltim tankına aktarılan suyun pH kontrolü son kez yapıldıktan sonra kanalizasyona deşarj edilmektedir. Bu üniteye ortalama olarak yılda 160-200 ton kesme sıvısı işleminden geçirilmekte ve arıtım sonrasında ortalama 18-20 ton suyu alınmış atık yağ oluşmaktadır.

Nötralizasyon ünitesi

Kesikli arıtma ünitesi, emülsiyon kırma ve yağlı atıksuların arıtımının yanısıra konsantre tankında toplanan proses atıksularının arıtımı ve nötralizasyonu için de kullanılmaktadır.

Konsantre tankında biriktirilen atıksular pompa yardımıyla reaksiyon tankına alınmaktadır. Karıştırma işlemiyle birlikte reaksiyon süresi başlamaktadır. Genellikle asidik karakterli olan bu suların öncelikle ağır metalleri (nikel) çöktürmek üzere kireç ilavesiyle pH'ı 10 civarına yükseltilmekte ve FeCl₃ ilave edilmektedir. Ardından karıştırma işlemi sona erdirilerek bir saatlik bekletme süresi başlatılmaktadır.

Bor yağı atıksuyuna uygulanan işlemlerde olduğu gibi reaksiyon süresi dolduktan sonra nötralizasyon işlemi yapılmaktadır. Polielektrolit ilavesinden sonra su iki-üç saat bekletilerek çamur yoğunlaştırma tankına verilmektedir. Şekil 7.15 de bu ünitenin akış şeması verilmiştir.



Şekil 7.15. TEI atıksu arıtma tesisi nötralizasyon ünitesi [17]

7.4.3. Arıtma tesisinde kullanılan kimyasal maddeler

Atıksu arıtma tesisinde kimyasal bir arıtma yapıldığından sistemde işlemler sırasında, belli amaçlara yönelik olarak Çizelge 7.10 'de isimleri ve yıllık tüketim miktarları verilen kimyasallar kullanılmaktadır.

Sıvı kimyasallar direkt kullanılırken, katı haldeki kimyasalların sulu çözeltileri hazırlanarak kapalı dozlama tankları içinde saklanmaktadır (Bkz. Şekil 7.16)

Kireç, sistemde kesikli arıtmada ve sürekli arıtmada pH'ı yükseltmek (nötralizasyon) ve kimyasal çöktürmeyi sağlamak amacıyla kullanılır. Kireç çözeltisi, 1000 litre suya 100 kg kireç ilave edilmek suretiyle hazırlanır. Karıştırıcı sistemi ve devir-daim yıkama sistemi sürekli olarak devrededir. Kireç çözeltisi, kesikli arıtma reaksiyon tankına manuel olarak ilave edilirken, sürekli arıtma nötralizasyon tankına otomatik dozlama yapılmaktadır

Çizelge 7.10. Arıtma tesisinde kullanılan kullanılan kimyasallar ve yıllık tüketim miktarları

KİMYASAL MADDE	YILLIK TÜKETİM
KİREÇ	1500 kg/yıl
HİDROKLORİK ASİT	1450 L/yıl
DEMİR 3 KLORÜR	500 kg/yıl
SODYUMBİSÜLFİT	250 kg/yıl
POLİELEKTROLİT	2 kg/yıl
SODYUMHİPOKLORİT	500 L/yıl

Hidroklorik asit (HCl), kesikli ve sürekli arıtımın her ikisinde de kullanılan diğer bir kimyasaldır. Kullanım amacı, atıksu alkalinitesinin yüksek olduğu durumlarda pH'ın düşürülmesi yoluyla nötralizasyonu sağlamaktır. Kesikli arıtma için kullanılan derişik HCl, 300 litrelik dozlama tankına seyyar pompa ile doldurulmaktadır. Derişik HCl gereken durumlarda reaksiyon tankına otomatik pH kontrolü ile miktarı kontrol edilerek dozlanmaktadır. Sürekli arıtma için ise, yaklaşık % 10'luk seyreltik HCl kullanılır. Seyreltik HCl, 300 litrelik HCl tankında, 200 litre suyun 100 litre derişik HCl ile karıştırılması suretiyle hazırlanır. Seyreltik HCl, krom redüksiyon ve nötralizasyon tankına otomatik kontrollü olarak dozlanır.

Demir 3 klorür, kesikli arıtma ünitesinde emülsiyon parçalama tankında yağ/su fazını ayırmak suretiyle emülsiyon parçalama işlemine yardımcı olmak ve reaksiyon tankında işlem gören atıksuda kimyasal çöktürmeyi sağlama amaçlarına yönelik olarak kullanılmaktadır. Dozlama tankında 30 kg FeCl₃'ün 300 litre suda çözülmesi suretiyle hazırlanır. Dozlama tankındaki konsantrasyonu 0.1 N ve bir seferde işlem gören 1300 litre atıksu için dozlanan miktar 10 litredir. İşletme koşullarında manuel dozlama süresi 60 saniyedir.

Sodyum bisülfid (NaHSO₃) krom redüksiyon tankında, Cr (+6)'yı Cr (+6)'e indirgemek amacıyla kullanılmaktadır. 30 kg toz NaHSO₃'ün 300 litre suda çözülmesi suretiyle hazırlanan çözelti, dozlama tankından krom redüksiyon tankına otomatik olarak dozlanmaktadır.



Şekil 7.16. TEI atıksu arıtma tesisi kimyasal depolama tanklarının görünümü

Polielektrolit, kesikli ve sürekli arıtma sistemlerinde, atıksuyun flokulasyonunu sağlayarak çamurların daha kolay çökmesine yardımcı olmak amacıyla kullanılır. Katyonik türdeki 300 gram toz polielektrolitin 300 litre suda, dozlama tankı içerisinde çözündürülmesiyle hazırlanır. Dozlama tankındaki konsantrasyonu 0.001N ve işletme koşullarında otomatik dozlama süresi 120 saniyedir. 1 L atıksu başına dozlanan polielektrolit miktarı 0.012 mg' dır.

Sodyum hipoklorit (NaOCl), reaksiyon tankında atıksuda nitrit fazlalığının olması durumunda, nitrit oksidasyonu amacıyla kullanılır. 300 litrelik dozlama tankının sıvı NaOCl ile doldurulmasıyla hazırlanan kimyasal, oksidasyonu sağlamak için potasyum iyodürlü kağıtla kontrol edilerek ortamda bir miktar fazlası olana dek ilave edilir.

7.4.4. Arıtma tesisi çamurları

Endüstriden kaynaklanan atıksuların içerdiği kirletici bileşenleri gidermek üzere yapılan kimyasal arıtma sonucunda, toksik bileşenler içerebilecek, katı atık niteliği taşıyan atık çamurlar oluşmaktadır.

Arıtma çamurlarının iki kaynağı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, kesikli arıtma tesisinin reaksiyon tankında arıtım işlemi geçmiş atıksular; diğer kaynak ise çökeltim tankı dip çamurlarıdır. Bu çamurların içerdiği katı maddeler özellikle kireç ve FeCl_3 'den meydana gelmektedir.

Çamur yoğunlaştırma havuzu 10 m³' hacminde ve 45° eğimli bir havuz olup, bahsedilen iki kaynaktan pompa vasıtasıyla gelen çamurlu sular bu havuzda birleşmekte ve biriktirilmektedir. Yoğunlaştırma havuzu doluncaya kadar burada bekletilen çamurlar zamanla dibe çökmektedir. Havuz dolduğunda bir yüksek basınç pompası vasıtasıyla önce üstteki berrak sıvıyı daha sonra dipteki çamur kısmını çektiirmek suretiyle çamurlar filterprese verilmektedir. Yüksek basınç pompasının kapasitesi 3 m³/saat'dir

Filterpresin plakaları arasından yüksek basınç altında geçirilen çamurlardan %35 kurulukta çamur keki elde edilmektedir (Bkz. Şekil 7.17). Filterpresten çıkan ve kanallarında toplanan filtrat ise çamur çökeltme havuzu başına geri verilmektedir. Bu işlem çamur yoğunlaştırma havuzu tamamen boşalana dek sürmektedir. Plakalar arasında biriken ve zaman zaman basınçlı hava verilmek suretiyle kuruması sağlanan %35 kurulukta çamur keki ortalama olarak 1-1.5 ayda bir filterpres açılarak, plaka yüzeyinden sıyrılmak suretiyle alınmakta ve filterpres temizlenmektedir. Bir boşaltımda ortalama 90-100 kg çamur keki alınmaktadır. 1-1.5 ayda bir temizlenen filterpresden çıkan çamur miktarı yılda ortalama 1.5-2 ton 'dur. Filterpres altındaki vagona boşaltılan çamurlar, fabrika sahası içinde bulunan 9.5 m³ kapasiteye sahip beton ile kaplı sızdırmaz yapıdaki çamur depolama alanına aktarılmakta ve üzeri raylı kapak sistemiyle kapatılmış olan bu alanda ön depolama yapılmaktadır (Aynı kapasiteye sahip bir adet yedek depolama tankı daha bulunmaktadır) (Bkz. Şekil 7.18).



Şekil 7.17. TEI' de arıtma çamurunun suyunu almak üzere kullanılan filterpres



Şekil 7.18. TEI' deki arıtma çamuru depolama alanının görüntüsü

Tehlikeli ve Toksik Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükümleri uyarınca atık çamurun yerüstü depo tesislerinde depolanabilme kriterlerine uygunluğunu belirleyebilmek amacı ile depolama alanındaki birikmiş atık çamurdan 9 Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği tarafından 15.11.1996 tarihinde alınmış olan kompozit numunede toksisite testi ve 15.1.1997 tarihinde alınmış olan kompozit numunenin ise Tübitak Marmara Araştırma Merkezi tarafından kimyasal bileşimi analiz edilmiştir.

9 Eylül Üniversitesi tarafından mikrobiyolojik olarak yapılan genel toksisite testi raporunda 38 gr/L' de canlılar için toksisite oluşturduğu belirtilmiştir. Yani, alıcı ortamın bir litre suyuna 38 gr çamur verildiğinde toksisite oluşmaktadır ve bu değer altında sucul ekosisteme verilebilmesi uygun görülmektedir.

Tübitak Marmara Araştırma Merkezi tarafından ise Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre analizi istenen parametreler ayrı ayrı ölçülmüş ve analiz sonuçları Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği EK-11A' da verilen "Atıkların Yerüstü Depo Tesislerinde Depolanabilme Kriterleri" ile kıyaslanmıştır.(Bkz.Çizelge 7.11). Ölçüm verilerinin yönetmelik hükümleriyle kıyaslanması sonucunda, tesis atık çamurunun yerüstü depo tesislerinde depolanabilme kriterlerine uygun olduğu tesbit edilmiştir.

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre tesis sahası içerisinde altı aydan fazla süre ile tehlikeli atıkların depolanması yasak olduğundan, biriktirilen atık çamurların, düzenli depolanarak bertaraf edilmesini sağlamak üzere, İzmit Atık ve Artıkları Yakma ve Değerlendirme Tesisi A.Ş.(İzaydaş) tesisleri ile bir anlaşma yapılmıştır. İzaydaş

yetkilileri tarafından atık çamur örnekleri alınmış ve yapılan analizler sonucunda, atık çamurun nikel içeriğinin fazla olmasından dolayı depolama tesisinde endüstriyel atıkların depolandığı özel lotta depolanması uygun görülmüştür.

Çizelge 7.11. TEI atıksu arıtma tesisi atık çamurunun kimyasal analiz sonuçları

PARAMETRE	ÖLÇÜLEN DEĞER	T.A.K.Y. EK-11 A
pH	7.95	4-13
Toplam organik karbon (mg/L)	2.2	40-200
Arsenik (mg/L)	0.015	0.2-1.0
Kurşun (mg/L)	0.1	0.4-2.0
Kadmiyum (mg/L)	0.05	0.1-0.5
Krom+6 (mg/L)	0.03	0.1-0.5
Bakır (mg/L)	0.4	2-10
Nikel (mg/L)	0.1	0.4-2.0
Civa (mg/L)	0.01	0.02-0.1
Çinko (mg/L)	0.05	2-10
Fenol (mg/L)	0.04	20-100
Florür (mg/L)	1.2	10-50
Amonyum Azotu (mg/L)	0.8	200-1000
Klorür (mg/L)	10	1200-6000
Siyanür (mg/L)	0.06	0.2-1.0
Sülfür (mg/L)	0.07	200-1000
Nitrit (mg/L)	0.3	6-30

7.5. TEI' de Atıksu Yönetiminin Yasal Açıdan Değerlendirilmesi

TEI' ye ait atıksu arıtma tesisinde, arıtılan sular, Eskişehir Kanalizasyon sistemine deşarj edilmektedir. Bundan dolayı, deşarj standartlarında Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği' ne göre, Tablo 25' in esas alınması gerektiği bilindiği halde, Eskişehir kanalizasyon şebekesi atıksularının arıtıldığı atıksu arıtma tesisi, henüz işletmeye alınmadığından, sular dolaylı yoldan da olsa, hala Porsuk Çayı' na deşarj edilmekte ve alıcı su ortamı Porsuk Çayı olmaktadır.

TEI' nin bir metal işleme endüstrisi olması sebebiyle tesis, S.K.K.Y' de yer alan endüstriyel atıksu deşarj standartları gruplandırmasına göre metal sanayi (genelde metal hazırlama ve işleme) sektörü olarak değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmeye bağlı olarak, alıcı ortamlara deşarjda S.K.K.Y. Tablo 12.5 esas alınacaktır.

Tesis, deşarj parametrelerini değerlendirmek ve deşarj standartlarını aşan parametreleri belirlemek üzere değişik dönemlerde farklı kuruluşlara atıksu analizleri yaptırmıştır (Bkz. Çizelge 7.12 ve 7.13). Yapılan analizler doğrultusunda tesis için problem yaratan ve deşarj standartlarını aşan parametreler için Haziran-Aralık 1996 döneminde ANAÇEVREM ile gerçekleştirilen proje kapsamında performans iyileştirme çalışmalarına başlanmıştır. Deşarj standartlarını hiçbir şekilde aşmamak ve çevreye verilen zararı en aza indirmek üzere atıksu arıtma tesisinin optimum koşullarda işletilmesi gerektiği bilindiğinden, tesis içi iyileştirme çalışmalarına TEI tarafından süreklilik kazandırılmıştır.

S.K.K.Y. Madde 37 uyarınca, tesisin yerine getirmekle yükümlü olduğu Atıksu Deşarj İzni' nin alınması için, 1996 yılı içinde gerekli prosedürler hazırlanarak,

16.12.1996 tarihinde ESKİ Genel Müdürlüğü' ne başvuru yapılmış ve ESKİ tarafından tesis atıksularının kanalizasyona deşarjı uygun görülerek, 18.2.1997 tarihinde tesise Deşarj İzni verilmiştir. Ancak, Deşarj İzni'nin sürekliliği için atıksu deşarj parametrelerinin 6 ayda bir olmak üzere resmi bir kuruluşa analiz ettirilmesi ve bu analiz sonuçlarının ESKİ' ye bildirilmesi gerekmektedir.

Çizelge 7.12. ANAÇEVREM tarafından Haziran-Aralık 1996 döneminde yapılan TEI' nin kanalizasyona deşarj suyu analiz sonuçları

ÖLÇÜM DÖNEMİ	Haziran 1996	Temmuz 1996	Ağustos 1996	Eylül 1996	Ekim 1996	Kasım 1996 (1)	Kasım 1996 (2)	Aralık 1996
PARAMETRE								
Su sıcaklığı (°C)	18.1	18.1	20.1	16	13.7	12.8	10.6	10.4
El. iletkenlik	16.86	1.88	0.34	0.04	0.05	0.01	0.01	0.08
pH	11.5	11.67	10.9	7.35	7.89	8.63	7.62	8.39
AKM (mg/L)	158	38	475	84	122	81	640	215
BOI(mg/L)	7.62	30.1	28.4	11.4	10.4	16.3	6.2	-
KOI(mg/L)	795	300	341	16	83	3146	4480	870
Çözünmüş oksijen	0.5	6.3	5.2	6.6	5.4	6.1	7	7.2
Azot (org.) (mg/L)	6.88	1.85	2.66	0.56	2.52	5.74	13.58	3.86
Fosfor (mg/L)	0.158	0	0.052	0.395	0.363	1	0.39	0
Yağ-gres (mg/L)	0.0139	0.048	0.01	0.2	0.06	0.19	-	-
Florür(mg/L)	1.3	12.85	1.03	11.9	2.1	1.6	2	3.1
Klor (serbest) (mg/L)	10.2	0.04	2.6	0	0.15	0.75	0.2	0.04
Klor (toplam) (mg/L)	10.6	0.06	2.61	0	0.17	0.89	0.33	0.07
Sülfür (mg/L)	0.56	1.49	0.56	0.4	0	0	0.08	0
Sülfat (mg/L)	1737.1	137.78	1407.9	112.28	1595.7	1024.6	1475.8	1792.9
Alüminyum (mg/L)	0.14	0.46	0	0	0	0.08	0.28	0
Bakır(mg/L)	0.09	0.03	0	0.085	0	0.04	0.17	0.085
Civa(mg/L)	0	0.003	0	0	0.001	0.001	0.0007	-
Çinko(mg/L)	0.4	0.23	0.08	0.16	0.52	0.595	0.575	0.29
Demir(mg/L)	4.2	1.25	4	0	0.35	6.8	1.85	0
Kadmiyum (mg/L)	1.02	-	0	0	0	0	0	0
Krom (toplam) (mg/L)	0.3	0.97	1.12	1.28	0.75	5.72	1.53	0.9
Krom +6 (mg/L)	0.0148	0.005	0.015	0.006	0.08	0.1	0.05	0.03
Kurşun (mg/L)	1.005	0.61	0	0	0.245	0.51	0.70	0.235
Nikel (mg/L)	0.295	0.55	6.2	0.58	15.01	6.375	11.5	5.58
Balık biyodenyi	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrit azotu(mg/L)	-	-	-	-	-	0	920	10
Fenol(mg/L)	-	-	-	-	-	10.9	9.4	1.7
Siyanür (mg/L)	-	-	-	-	-	4	15	5

Çizelge 7.13. Farklı kuruluşlarca değişik dönemlerde gerçekleştirilen TEI' nin kanalizasyona deşarj suyu analiz sonuçları

ÖLÇÜM YAPAN KURULUŞ	Osmangazi Ün. Şubat 1992	Osmangazi Ün. Mart 1992	Osmangazi Ün. Kasım 1993	9 Eylül Ün. Kasım 1996	TSE Kasım 1996	TSE Temmuz 1997
PARAMETRE						
Su sıcaklığı (°C)	-	10	5	-	-	-
El. iletkenlik	-	-	-	-	-	-
pH	8.9	7.9	7.91	8.74	8.6	7.53
AKM (mg/L)	3	30	22	416	253	50
BOI(mg/L)	-	-	-	3200	38	-
KOI(mg/L)	655	327	5	5540	133	622
Çözünmüş oksijen	-	-	-	-	-	-
Azot (organik) (mg/L)	2.8	-	-	13.4	110	-
Fosfor (mg/L)	0.2	-	-	1.41	3.22	-
Yağ-gres(mg/L)	6	1	14	10	9.5	32
Florür(mg/L)	5.3	-	-	0.92	0.85	-
Klor (serbest) (mg/L)	0.01	0.08	0.18	6.2	0.46	0.383
Klor (toplam) (mg/L)	-	-	-	10.2	0.56	-
Sülfür(mg/L)	0	0.024	0.001	2.4	0.387	-
Sülfat(mg/L)	-	740	180	833	190	537
Alüminyum (mg/L)	0	-	-	0	0.419	-
Bakır(mg/L)	0.1	1	0.6	0.03	1.5	0.096
Civa(mg/L)	0	0	0	-	0.008	-
Çinko(mg/L)	0	3.8	0.03	0.27	0.57	0.555
Demir(mg/L)	0.24	-	-	6.71	0.06	-
Kadmiyum(mg/L)	0	0	0	0	0	0
Krom (toplam) (mg/L)	0.15	0.15	2.7	3.42	0.618	0.189
Krom +6(mg/L)	0.02	-	-	0.28	0.367	0.167
Kurşun(mg/L)	0	0	0	0	0.151	0.097
Nikel(mg/L)	12.1	2.15	0.05	4.51	5.41	39.21
Balık biyodeneyi	2	-	-	5	9	-
Nitrit azotu (mg/L)	0.06	-	-	-	-	-
Amonyum azotu (mg/L)	2.8	-	-	-	-	-
Fenol(mg/L)	57.5	0.01	0.04	6.74	0.385	7.54
Siyanür (mg/L)	0	1.4	0	0.036	0.191	0.031
Klorür (mg/L)	5428	8154	638	-	-	480
Arsenik (mg/L)	-	0	0	-	-	-
Gümüş (mg/L)	-	0	0	0	0.378	-
Kalay (mg/L)	-	0	0	-	-	0.61

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

8.1. Materyal ve Metod

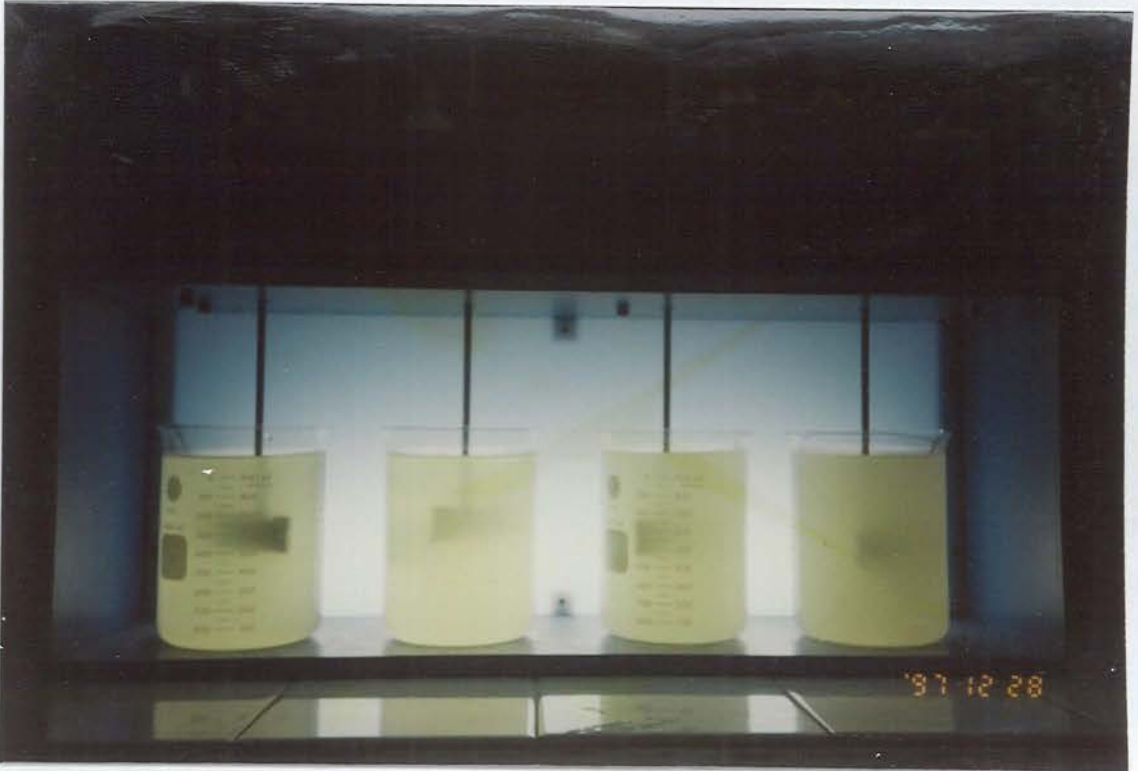
TEI Atıksu Arıtma Tesisi' nin mevcut performansının değerlendirilmesi ve performans iyileştirme çalışmaları sırasında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda bazı atıksu parametrelerinin analizleri gerçekleştirilmiş, verilerin analiz edilmesi ve yorumlanmasında ise metodoloji olarak deney tasarımı prensipleri kullanılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar aşağıdaki adımları içermektedir:

- 1) Tesisin karışık atıksularının bir araya toplandığı konsantre tankından deney başına 1 litre olmak üzere yaklaşık 30 litre atıksu numunesi alınmıştır.
- 2) Atıksuyun 1 litresinin ayrılarak, karakterizasyonunu belirlemek üzere pH, KOI, AKM, krom, nikel, sülfat, demir ve bulanıklık tayinleri yapılmıştır.
- 3) Jar testinde kullanılacak kireç, demir 3 klorür, alüminyum sülfat ve polielektrolit çözeltileri hazırlanmıştır.
- 4) Deney tasarımında belirlenen sıraya uygun olarak, Jar testlerinin yapılması aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir:
 - 4.1) 4 kavanoza birer litre numune dolduruldu.
 - 4.2) Atıksu pH değerleri kireç ilavesiyle istenen değerlere getirildi. İlave edilen kireç miktarı kaydedildi.
 - 4.3) Çöktürücü madde (demir 3 klorür veya alüminyum sülfat) ilavesi yapıldı.
 - 4.4) 30 sn 200 RPM' lik hızda, hızlı karıştırma yapıldı.
 - 4.5) 20 dk 90 RPM 'lik hızda yavaş karıştırma yapıldı.
 - 4.6) Yavaş karıştırma esnasında polielektrolit ilavesi yapıldı. Deneyin bu aşamasında flokların oluşma hızları gözlemlendi (Bkz. Şekil 8.1 ve 8.2)
 - 4.7) Karıştırma işlemleri tamamlanınca, karıştırıcılar durduruldu ve numuneler yarım saat süre ile çökelmeye bırakıldı.
 - 4.8) Çökeltme esnasında yumaklaşma ve çökeltme hızları gözlemlendi (Bkz. Şekil 8.3 ve 8.4).
 - 4.9) Çökelmenin ardından deney numunesinin berrak kısmı alınarak bir litrelik numune kaplarına dolduruldu.



Şekil 8.1. Demir 3 klorür ile yapılan çöktürme: Yavaş karıştırma anında görüntü



Şekil 8.2. Alüminyum sülfat ile yapılan çöktürme: Yavaş karıştırma anında görüntü



Şekil 8.3. Demir 3 klorür ile yapılan çöktürme: Çöktürme sonrasındaki görüntü



Şekil 8.4. Alüminyum sülfat ile yapılan çöktürme: Çöktürme sonrasındaki görüntü

- 5) Çöken sulu çamur numunesi İmhoff konisine alınarak yarım saat süreyle beklemeye bırakıldı. Bu süre sonunda konideki çamur yüksekliğinden çökebilen katı madde miktarı (ÇKM) ml/L olarak belirlendi. Çamur numunesi, partikül boyut analizini yapabilmek üzere numune kavanozlarına alındı.
- 6) Arıtılmış berrak suyun bulanıklığı ve çıkış pH' ı ölçüldü.
- 7) Spektrofotometre kullanmak suretiyle arıtılmış suda, KOI, krom, nikel, demir ve sülfat tayinleri yapıldı.
- 8) AKM sistemi kullanılarak AKM tayini yapıldı.
- 9) Deneylerin tamamlanmasının ardından giriş ve çıkış verileri kullanılarak her bir deney koşulunda her bir parametre için giderme verimleri hesaplandı.
- 10) Giderme verimlerine bağlı olarak, deney sonuçları değerlendirildi ve yapılan deney tasarımındaki en iyi giderme verimini sağlayan optimum koşullar seçildi.

8.1.1. Kullanılan alet/cihaz ekipmanlar ve laboratuvar malzemeleri

- 1) **Jar testi sistemi:** Arıtma tesisinde kullanılan kimyasal maddelerin tür ve miktarında optimizasyon sağlamak üzere yapılan deneylerde Velp Scientifica marka dört kavanozlu, karıştırma hızı ayarlanabilir Jar Testi Sistemi kullanılmıştır.
- 2) **Türbidimetre:** Atıksu ve arıtılmış suda yapılan bulanıklık analizlerinde Jenway marka 6035 model 0-19.99 NTU ve 0-199.9 NTU ölçüm aralığına sahip, % 0.5 hassasiyette türbidimetre kullanılmıştır.
- 3) **AKM sistemi :** Atıksu ve arıtılmış suda AKM tayinini yapmak üzere Sartorius marka atıksu süzme sistemi, bir litrelik nüjeli erlen ve küçük bir vakum pompası kullanılmıştır.
- 4) **AKM filtre kağıtları:** AKM tayini için atıksu, 5 cm çapında Sartorius marka 0.45 mikron gözenek aralığına sahip filtre kağıdından süzölmüştür.
- 5) **Etüv:** AKM filtre kağıtları, 103 ° C' de Nüve FN 400 model etüvde kurutulmuştur.
- 6) **Spektrofotometre:** Atıksuda ve arıtılmış suda KOI, krom, nikel, sülfat ve demir analizlerini yapmak üzere, standartlara uygun olarak hazırlanan reaktifler ile ölçölmek istenen parametrelerin reaksiyonu ve bu reaksiyon sonucunda oluşöan rengin adsorbansının standartlarda verilen dalga boylarında ölçölmesi prensibine dayanan Merck SQ 118 fotometresi kullanılmıştır.
- 7) **Termoreaktör:** KOI tayinini yapmak üzere reaksiyonun oluşması için numunelerin ısıtılması amacıyla Merck marka termoreaktör kullanılmıştır.

8) **Imhoff Konisi:** Arıtılmış suda ÇKM tayini yapmak için bir litrelik Imhoff konisi kullanılmıştır.

9) **Test Kitleri:** Fotometrede yapılan analizlerde, uluslararası standartlara uygun olarak hazırlanmış Merck marka deney kitleri kullanılmıştır.

KOI test kiti: Merck Spektroquant (100-1500 mg/L)
Krom test kiti: Merck Spektroquant (0.1-3.0 mg/L Cr)
Nikel test kiti: Merck Spektroquant (0.2-5.0 mg/L Ni)
Demir test kiti: Merck Spektroquant (0.2-2.5 mg/L Fe)
Sülfat test kiti: Merck Spektroquant (20-240 mg/L SO₄⁻²)

9) **Genel laboratuvar malzemeleri:** Numune kapları, balonjojeler, beherler, mezürler, erlenler, pipetler (10 ml, 5ml, 2 ml, 1 ml), piset.

8.1.2. Deneysel analiz metodları

Bulanıklık: Numunede bulanıklık tayini, SM 2130 B (nefelometrik yöntem) standardına dayalı olarak, türbidimetrede standart çözeltiye karşı, bulanıklığın NTU olarak ölçülmesi esasına göre yapılmıştır [36]

AKM: Su numunesi içerisinde bulunan askıda katı maddeler, su numunesinin filtre kağıdından geçmeyen kısmının, 103 °C' de etüvde bir saat kurutulması ve desikatörde soğutulup tartılması esasına dayanan, SM-2540 D standardındaki gravimetrik yöntemle analiz edilmiştir. Bu tayinde önce 25 ml su numunesi filtre edilmiş, daha sonra sabit tartıma getirilmiş olan filtre kağıdı üzerinde kalan maddelerle birlikte 103 °C' de kurutulduktan sonra tekrar tartılmıştır. Bu iki tartım arasındaki farkdan aşağıda verilen formüle göre askıda katı madde konsantrasyonu (mg/L) olarak tayin edilmiştir [36]

$$AKM = (A-B) * 1000 / \text{numune hacmi (ml)} \quad (8.1)$$

Bu formülde,

A= Filtre kağıdı+filtre edilebilen katı madde, mg

B= Filtre kağıdının ağırlığı, mg
cinsinden ifade edilmektedir.

ÇKM: Su numunelerinde çökebilen katı madde tayini SM-2540 F standardındaki volümetrik ölçüm yöntemine göre yapılmıştır. Bu yöntemle göre çökmüş katıları içeren numune, Imhoff konisine alınarak, yaklaşık 30 dakika- 1 saat süreyle çökelmeye bırakılmış ve ardından çökebilen katı hacmi ml/L olarak ölçülmüştür [36]

KOI: Numunelerde kimyasal oksijen ihtiyacı, gümüş sülfatın katalizör olarak görev yaptığı, sülfürik asit içerisinde numune ile potasyum dikromatın oksidasyon reaksiyonu ve bu reaksiyon sonucunda oluşan yeşil Cr (+3) iyonlarının absorbanasının 600 nm dalga

boyunda fotometrik olarak ölçülmesi prensibine dayalı (SM 5220 D, DIN 38409 H41 veya ISO 6060 standartları) spektrofotometrik yöntemle ölçülmüştür. Bu tayinde temel amaç, potasyum di kromat ($K_2Cr_2O_7$) miktarına bağlı olarak, oksijen miktarının ölçülmesidir ($1 \text{ mol } K_2Cr_2O_7 = 1.5 \text{ mol } O_2$). Analizler, Merck deney kitleri kullanılarak ve Merck SQ 118 model fotometrenin kullanım klavuzunda verilen prosedüre uygun olarak yapılmıştır [36], [37].

Krom (+6): Krom (+6) tayini, SM 3500-Cr D (kolorimetrik metod) standardına dayalı olarak, hidroflorik asit içerisinde çözülmüş difenil karbazidin krom (+6) ile reaksiyona girerek difenil karbozana okside olması ve bu reaksiyon sonucunda oluşan kırmızı-pembe renkli kompleksin absorbansının 540 nm dalga boyunda spektrofotometrik yöntemle okunması prensibine dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Analizler, Merck deney kitleri kullanılarak ve Merck SQ 118 model fotometrenin kullanım klavuzunda verilen deney prosedürüne uygun olarak yapılmıştır [36], [37].

Nikel: Su numunelerinde nikel tayini, SM 3500-Ni (spektrofotometrik metod), standardına dayalı olarak, nikel iyonlarının iyodine oksidasyonu ve ardından dimetil glioksim ile kırmızı-kahve bir kompleks oluşturması ve oluşan renkli çözeltinin absorbansının 446 nm dalga boyunda okunması prensibine bağlı olarak spektrofotometrik yöntemle ölçülmüştür. Analizler, Merck deney kitleri kullanılarak ve Merck SQ 118 model fotometrenin klavuzunda verilen prosedüre uygun olarak yapılmıştır [36], [37].

Demir: Numunelerde demir tayini, SM 3500 Fe D (spektrofotometrik fenantrolin metod) standardına dayalı, demir iyonları ile 1,10 fenantrolinin ($C_{12}H_8N_2.H_2O$) portakal rengi-kırmızı renkli bir kompleks oluşturması ve oluşan renkli çözeltinin absorbansının spektrofotometrede 510 nm dalga boyunda okunması esasına göre gerçekleştirilmiştir. Analizler, Merck deney kitleri kullanılarak ve Merck SQ 118 model fotometrenin klavuzunda verilen deney prosedürüne uygun olarak yapılmıştır [36], [37].

Sülfat: Sülfat tayini, SM 4500-SO₄²⁻ E (türbidimetrik metod), standardına dayalı olarak, sülfat iyonlarının baryum iyonları ile reaksiyona girerek, çözünemeyen baryum sülfat oluşturması ve çözeltide meydana gelen bulanıklığın 420 nm dalga boyunda fotometre ile okunması esasına göre gerçekleştirilmiştir. Analizler, Merck deney kitleri kullanılarak ve Merck SQ 118 fotometrenin klavuzunda verilen deney prosedürüne uygun olarak yapılmıştır [36], [37].

8.1.3. Deney tasarımı prensipleri

Bir ürün ya da prosesin geliştirilmesi ile ilgili olarak, tasarımcı tarafından performans iyileştirmeye yönelik olarak deneysel çalışmalar yapılır ve yapılan deneylerle ürün (prosesin) performansı gözlenir ve yeni tasarımın kullanılıp kullanılmayacağına karar verilir. Verilecek kararın güvenilirliği uygun deney stratejisinin seçimine bağlıdır. Deney stratejisini belirlerken birçok etkenin etkisi altında oluşan değişken (ürün ya da proses) üzerindeki istenmeyen etkenlerin etkilerinin ortadan kaldırılması ve etkilerin denetim altına alınabilmesi oldukça zor olmakta [38], [39].

Deney tasarımı, ürünün (proses) ilgilenilen kalite karakteristiğine etki eden kontrol edilebilir değişkenlerin değerlerini sistematik olarak değiştirerek ürün performansını etkileyecek değişken değerlerini belirlemede kullanılan bir tekniktir [38].

Deney tasarımı, aşağıda sayılan çok farklı alanlarda kullanılabilir ve tasarımcıya oldukça büyük yarar ve kolaylıklar sağlayabilir [38] :

1. Genel:

- Aynı anda birçok faktörün etkisinin görülmesinde,
- Faktörler arasındaki etkilerin araştırılmasında,
- Kaliteyi, güvenilirliği etkileyen faktörlerin araştırılmasında,
- Deneyle elde edilen bilginin arttırılmasında,
- Yap ya da satın al türündeki kararların alınmasında ve
- Ürünün fonksiyonunu ya da prosesin işleyişini gösterecek hipotetik model kurulmasında

2. Ürün/Proses tasarımı:

- Maliyet yönüyle etkin ürün ya da prosesin tasarımında,
- En iyi (robust) ürün ve süreç tasarımında
- Temel kalite karakteristiklerindeki değişkenliğin azaltılması ve iyileştirilmesinde ve
- Mühendislik, prototiplerin testi, en iyi tasarım parametrelerinin bulunması için gerekli geliştirme zamanının azaltılmasında,

3. İmalat:

- Ürün ve süreç kalitesinin iyileştirilmesinde,
- Problem kaynaklarının belirlenmesinde,
- Makina, imalat sistemi ve prosedürlerin belirlenmesinde,
- Spesifikasyonların belirlenmesinde ve
- Çıktının iyileştirilmesinde,

4. Test ve ölçüm:

- Ölçüm ekipmanlarının, laboratuvar kabiliyetlerinin ve prosedürlerin karşılaştırılmasında,
- Ölçüm hatasının belirlenmesinde,
- Kalibrasyon çalışmalarında,
- Değişkenlik kaynaklarının belirlenmesinde ve
- Test sonuçlarını etkileyen kontrol edilebilir faktörlerin belirlenmesinde,

5. Servis:

- Alternatif metodların (pazarlama planı, fatura vb. formlar, yerleşim) karşılaştırılmasında,
- Tedarikçi seçiminde,
- Yeni bir ekipmanın değerlendirilmesinde,
- Karmaşık bilgisayar model ve sistemlerinin işleyişinin anlaşılmasında,

Deney tasarımında kullanılacak deney stratejileri, tasarıma bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte, genellikle (a) tek faktörlü deney, (b) çok faktörlü deney, (c) tam faktöriyel deney ve (d) kesikli faktöriyel deney tasarımları kullanılmaktadır.

1) Tek faktörlü deney: Bu tasarımda, her defasında yalnızca bir faktör ele alınır ve bu faktörün ürün (proses) performansına etkisi araştırılır. Seçilen faktörün performansa etkisinin olmadığı belirlenirse, başka bir faktör seçilerek denemelere devam edilir. Yapılan bu deneylerde ürün (proses) performansını etkileyebilen birden fazla faktör olabilirse de, seçilen faktör dışında kalan etkilerin olmadığı kabul edilir. Bu deney stratejisinde, herhangi iki faktörün arasında olabilen etkileşimi ortaya çıkarmak mümkün değildir. Herbir faktörün ürün (proses) performansına olan etkisi araştırıldığından deney sayısı artacak ve dolayısıyla maliyetlerde bir yükselme söz konusu olacaktır [38].[40].[41].

2) Çok faktörlü deney: Bu deney stratejisinde, ürün (proses) performansını etkileyen faktörlerin her defasında bir tanesinin düzeylerinde değişiklik yapılarak diğer faktörlerin sabit tutulması ve faktörlerin hepsinin düzeylerinin aynı anda değiştirilmesi olmak üzere iki yaklaşım söz konusudur. Birinci yaklaşımda iki faktör arasındaki etkileşimi araştırmak mümkün değildir. İkinci yaklaşımda ise, ürün performansına etki edebilir faktörlerin tek başına etkisinin olup olmadığı söylenemez. Bütün faktörlerin düşük düzeyleri ile yüksek düzeyleri karşılaştırıldığından faktörlerin birleştirilmiş etkilerinden söz edilebilir [38], [40], [41].

3) Tam faktöriyel deney: Performansa etki eden faktör sayısının 1-5 olduğu durumlarda kullanılan bir deney stratejisidir. Tam faktöriyel deneyde, faktörlerin tek başına ve birlikte ürün performansına olan etkilerini belirlemek için gerekli deney sayısı (kombinasyon sayısı) a^k dır [38],[42].

a: Faktörün düzey sayısı (a= 2,3,4.....)

k: İlgilenilen faktör sayısı

Düzen sayısının belirlenmesinde yaklaşımlar aşağıdaki şekilde olabilir:

- Ürün (proses) hakkında sahip olunan bilgi ve/veya tecrübeye bağlı olarak performansa etkisi muhtemel düzeyler seçilerek deney yapılır (fixed effects)
- Düzeyler rassal olarak seçilir (random effects)
- Sabit ve rassal etkiler birlikte göz önüne alınır.

4) Kesirli faktöriyel deney: Ürün (proses) performansına etki eden faktör sayısının 5' den çok olduğu durumda kesirli faktöriyel tasarım kullanılır. Zaman, hammadde, işgücünden kaynaklanan yüksek maliyet nedeniyle faktör sayısının çok olduğu durumlarda tam faktöriyel deney ekonomik ve etkin olmayabilir. Bu durumda, faktörlerin ürün performansına etkilerini belirlemek amacıyla daha az deneyin yapıldığı deney stratejileri kullanılır. Bu tür deneylere kesirli faktöriyel deneyler denir ve gerekli deney sayısı,

a: faktör düzey sayısı,

k: ilgilenilen faktör sayısı

olmak üzere; a^{k-p} olarak belirlenir. $p=1$ için $\frac{1}{2}$ kesirli faktöriyel tasarım, $p=2$ için $\frac{1}{4}$ kesirli faktöriyel tasarım, $p=3$ için $\frac{1}{8}$ kesirli faktöriyel tasarım olarak isimlendirilir [38].

Deney tasarımının adımları

Bir deney tasarımı, ürün ya da süreç performansında ya da ürünün (sürecin) bazı temel karakteristiklerinde beklenenden farklı bir şekilde değişkenliğin olması durumunda söz konusu problemin tanımlanması ile başlayıp, problemin çözümlenip çözümlenmediğinin ortaya çıkarılması ile son bulan aşağıda verilen bir dizi adımda gerçekleştirilir [38]:

- 1. Problemin tanımlanması:** Performans iyileştirmesi yapılacak olan proses ya da ürünün problemi tesbit edilir.
- 2. Amacın belirlenmesi:** Yapılacak tasarım sonucunda ürün ya da prosesde ulaşılmak istenen performans verimi belirlenir.
- 3. Performans karakteristiğinin seçimi:** Ürün ya da prosesdeki performans göstergesi parametre seçilir ve çalışmalarda bu temel karakteristik üzerine yoğunlaşılır.

- 4. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin seçilmesi:** Bağımsız değişkenler olarak da ifade edilen performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin seçilmesi deney tasarımının en önemli aşamalarından birisidir. Son kullanıcı, tercih ettiği ürünün, belli bir düzeyde ve süreklilik arzedecek şekilde fonksiyonunu yerine getirmesini bekler. Aksi durum, ürün (proses) iyileştirilmesi gerekliliğini ortaya koyar. Bu nedenle ürün (süreç) performans karakteristiğini etkileyen faktörler başlangıç aşamasında titizlikle belirlenmelidir. Söz konusu faktörlerin seçilmesinde beyin fırtınası (brainstorming), proses akış şeması (process flow chart-process map), sebep sonuç diyagramı (cause effect diagram) gibi yöntem ve teknikler kullanılır.

Beyin fırtınası, problem ile ilgili bir grup personelin/uzmanın bir araya gelerek, ürün (proses) performansındaki değişkenliğin azaltılması amacıyla yürüttükleri tüm önerilerin ortaya çıkmasını amaçlayan kapsamlı bir faaliyettir.

Proses akış şeması, ürünün ilgili performans karakteristiği için yapılan bütün işlemleri içermekte ve dolayısıyla önemli faktörler üzerine yoğunlaşmayı kolaylaştırmaktadır.

Sebep-sonuç diyagramı ise, makina, malzeme, metod, ölçüm ve insan temelinde ilgilenilen performans karakteristiğine etkisi olan faktörlerin belirlenmesinde kullanılır ve çoğu zaman beyin fırtınasını gerekli kılar.

- 5. Faktörlerin düzeylerinin seçilmesi:** İncelenen performans karakteristiğine etki eden faktörler belirlendikten sonra, faktör düzeyleri seçilir. Bazı faktörler için sadece iki alternatif durum (var-yok, düşük-yüksek gibi) olmakla birlikte, bazıları için ikiden fazla alternatif (50, 68, 74 °C gibi) durum söz konusu olabilmektedir. Faktörler için seçilen düzey sayısı da, yapılacak deney tasarımını ve dolayısıyla tasarımdaki her bir deney için gerekli gözlem sayısını etkilemekte ve tasarımda sabit, rassal ve/veya karışık etkilerin oluşmasına neden olmaktadır.

6. **Deney tasarımının seçilmesi:** İncelenen proses veya ürün için en etkin (süre, maliyet ve deney sayısı açısından) deney tasarımı şekli seçilir.
7. **Verilerin toplanması:** İlgilenilen performans karakteristiğine etkisi olan faktörler ve uygun tasarım belirlendikten sonra, analiz için verilerin toplanması gerekir. Bu amaca yönelik olarak deney tasarımına göre yapılacak deney sayısı ve her bir deney için gerekli gözlem sayısı formül ve tablolar yardımıyla belirlenir. Yapılan deney ve gözlemlere göre rassallaştırma ilkesi temelinde gerekli veriler toplanır. Bunun için, tamamen rassallaştırma, basit tekrarlar ve blok içinde rassallaştırma yöntemlerinden birisi seçilerek kullanılabilir.
8. **Verilerin analiz edilmesi:** Seçilen tasarıma dayalı olarak yapılan deneylerden toplanan verilerin analizinde farklı yaklaşımlar söz konusudur. Verilerin analizinde, ilgilenilen performans karakteristiğine beklenen yönde etkisi olan faktör ve/veya etkileşimler belirlenir. Bu amaçla, normal-olasılık grafiği (normal probability plot) ve varyans analizi (analysis of variance) kullanılır. Varyans analizinde, incelenen faktörlerin etkili olup olmamasına ilişkin hipotez test edilir. Normal-olasılık grafiği ise, performans karakteristiğine etkisi olan ve olmayan faktör ve/veya etkileşimlerin ortalama etkilerine karşı gelen olasılıkları temelinde ölçekli bir grafik kağıdı üzerinde gösterilmesidir.
9. **Sonuçların yorumlanması:** İlgilenilen ürün performansına etkisi olan faktörler ve en uygun düzeyleri belirlendikten sonra, sadece kritik olan faktör ve/veya etkileşimler yer alacak şekilde bir model oluşturulur ve analizi yapılır. Böylesi bir analiz, yapılan çalışma duyarlılığı açısından gereklidir. Analizde kurulan model temelinde deney için elde edilmiş verilere ilişkin bazı grafikler oluşturulur. Sapmalarla tahmin değerlerinin de karşılaştırıldığı analizde, verilerin bir tür kontrol grafiği formatında dağılımına, sapmalar için modelin normal dağılımını temsil edip etmediğini belirtecek şekilde histograma ve sapmalar için normal olasılık grafiğine yer verilmektedir. Seçilen kritik faktörler temelinde oluşturulan modelin doğruluğu sınanır.
10. **Doğrulama deneylerinin yapılması:** Yapılan deney tasarımı sonucunda belirlenen kritik faktör ve/veya etkileşimlerin ürün performansını gerçekten istenilen yönde etkileyip etkilemediğinin testinin yapıldığı bu adımda, faktörler uygun düzeylerine getirilir ve gerektiği kadar ek deneyler yapılır. Kritik olarak belirlenen faktörler temelinde kurulan modelin sınanmasından elde edilen sonuçlara bağlı olarak böylesi bir adıma gerek kalmayabilir ancak uygulamada genellikle tavsiye edilmektedir.

8.2. Mevcut Sistem İçin Yapılan Deney Tasarımı Çalışması

1. Problemin tanımlanması

TEI (Tusaş Motor San.A.Ş.) işletmesine ait olan, özel proseslerden kaynaklanan atıksuların içerdiği kirletici bileşenlerin (KOI, AKM, krom, nikel ve anyonların) giderilmesi, atıksu nötralizasyonu ve ayrıca tezgahlardan kaynaklanan yağlı

emülsiyonların parçalanarak yağın sudan ayrılması ve geriye kalan atıksuyun arıtılması amaçlarıyla kurulan atıksu arıtma tesisinde işletmeden kaynaklanan değişik karakterizasyondaki sular; kesikli ve sürekli olmak üzere iki bölüm halinde arıtılmakta ve kanalizasyona deşarj standartlarını sağladıktan sonra deşarj edilmektedir. Ancak, istenen arıtım her zaman sağlanamamakta ve yapılan atıksu analizlerinde, bazı parametrelerin zaman zaman kanalizasyona deşarj standartlarını aştığı görülmektedir. Etkin arıtmanın sürekliliğinin sağlanamamasının nedeni ise, arıtma tesisinde ham atıksuyun kalitesine bağlı olarak optimum işletme koşullarının sağlanamamasıdır. Özellikle konsantre tankı atıksularının karakterizasyonundaki değişimler ve yüksek nikel konsantrasyonu, tesisi için en önemli problemlerden birisidir.

2. Amaç

TEI Atıksu Arıtma Tesisi'nin kesikli arıtım ünitesinde, konsantre tankı atıksularının arıtımında kontrol edilebilir değişkenleri belirleyerek bu değişkenlerin kontrol altında tutulmasını sağlamak suretiyle, atıksu arıtma tesisinin arıtım performansını iyileştirmek ve bu performansın sürekliliğini sağlamaktır.

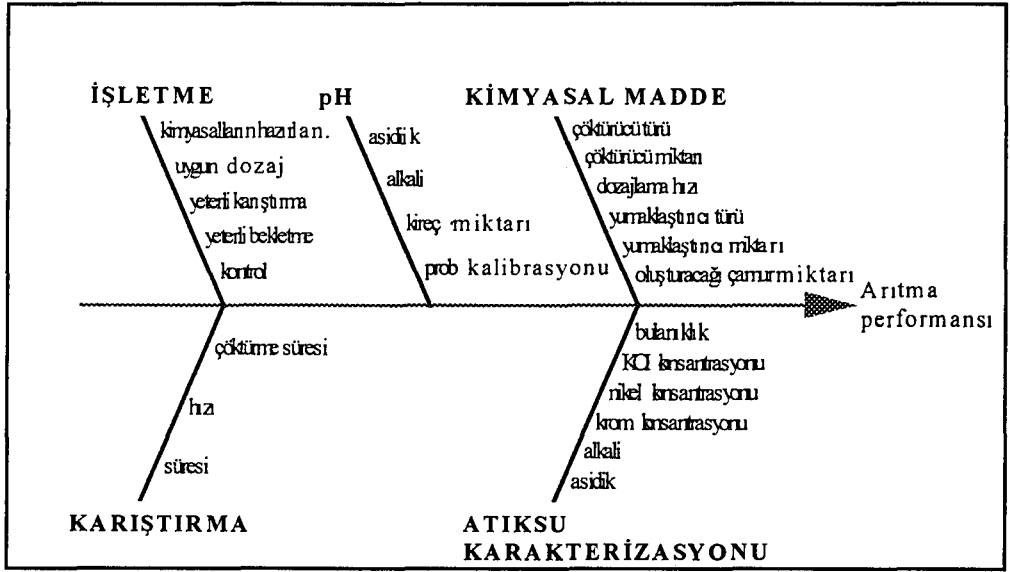
3. Performans karakteristiklerinin seçimi

Daha önceki dönemlerde yapılmış olan atıksu analizleri, proses atıksularının karakterizasyonu ve arıtım sonucunda sağlanması gerekli olan deşarj standartları göz önünde bulundurularak, aşağıda sayılan parametrelerin giderme verimleri (% olarak), performans karakteristikleri olarak seçilmiştir:

- Atıksuda bulanıklık giderme verimi
- Atıksudaki AKM giderme verimi
- Atıksuda KOI giderme verimi
- Atıksuda krom giderme verimi
- Atıksuda nikel giderme verimi

4. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin seçimi

Performans karakteristiğini etkileyen faktörleri belirlemek üzere inceleme ve araştırmalar yapılmış ve Şekil 8.5' deki diyagramda gösterilen faktörler belirlenmiştir:



Şekil 8.5. Kesikli arıtım ünitesinde arıtma performansına etki eden parametrelerin gösterildiği balık kılıçlı diyagramı

5. Faktörlerin düzeylerinin seçimi

Faktörlerin düzeylerinin belirlenmesi amacıyla işletme koşulları incelenmiş ve literatür taraması yapılmıştır. Buna göre iki düzeyli tasarıma karar verilmiş (düşük düzey ve yüksek düzey) ve Çizelge 8.1’ de verilen düzeyler belirlenmiştir.

Çizelge 8.1. Deney tasarımında seçilen faktörlerin düzeyleri

	Düşük düzey (-)	Yüksek düzey (+)
Kimyasal madde türü	$Al_2(SO_4)_3$	$FeCl_3$
Kimyasal madde miktarı	450 mg/L	900 mg/L
pH	9	11

6. Deney tasarımının seçimi

Performansı etkileyen üç parametrenin iki düzeyinin dikkate alınacağı, “ 2^3 tam faktöriyel” bir deney tasarımı seçilmiştir. Buna göre,

$$2^k = 2^3 = 8 \text{ farklı deneye ihtiyaç vardır.}$$

Bu tasarım, faktörlerin ve faktörler arasındaki her mertebeden (ikili ve üçlü) etkileşimleri inceleme imkanı verecek, zaman ve maliyet açısından da en uygun tasarım olarak belirlenmiştir. Bu deney tasarımına göre Çizelge 8.2 ‘ verilen tasarım matrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 8.2. Uygulanan deney tasarımı matrisi

Deney No	Kimyasal madde türü	Kimyasal madde miktarı	pH	Etkiler
1	-	-	-	ortalama
2	+	-	-	türün etkisi
3	-	+	-	miktarın etkisi
4	+	+	-	tür*miktar ikili etki
5	-	-	+	pH' ın etkisi
6	+	-	+	tür*pH ikili etki
7	-	+	+	miktar*pH ikili etki
8	+	+	+	Tür*miktar*pH üçlü etki

7. Verilerin toplanması

Her bir düzey için üç gözlem sayısı seçilmiş ve toplam 24 deney yapılmıştır. Giderme verimlerini hesaplayabilmek üzere ham atıksuda yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 8.3' de, deney koşulları ve gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen veriler Çizelge 8.4' de, hesaplanan giderme verimleri ise Çizelge 8.5' de verilmiştir.

Çizelge 8.3. Ham atıksuyun karakteristik özellikleri

PARAMETRE	ÖLÇÜLEN DEĞER
pH	7.2
AKM (mg/L)	56
Bulanıklık (NTU)	12.7
KOI (mg/L)	884
Sülfat (mg/L)	71
Krom (+6) (mg/L)	0.59
Nikel (mg/L)	19.4
Demir (mg/L)	0.06

Çizelge 8.4 Deneysel analiz sonuçları

a) Grup no:1

Deney Koşulları: pH: 9, FeCl₃ dozu:450 mg/L, Polielektrolit miktarı: 1 mg/L

	1	2	3
İlave edilen kireç dozu (ml/L)	2	2.3	3.2
İlave edilen kireç dozu (mg/L)	200	230	320
Çıkış pH	7.3	7.5	6.75
Bulanıklık (NTU)	1.3	0.3	0.5
ÇKM (ml/L)	55	55	54
KOI (mg/L)	776	777	755
AKM (mg/L)	10	3	4
Krom +6 (mg/L)	0	0.06	0
Nikel (mg/L)	5.51	4.84	10.47
Demir (mg/L)	0.05	0.13	0.29
Sülfat (mg/L)	73	77	66

* Benzer koşullarda tekrarlanan çalışmalara ait deney numaralarıdır.

b) Grup no: 2Deney Koşulları: pH: 9, FeCl₃ dozu: 900 mg/L, Polielektrolit miktarı: 1 mg/L

	1	2	3
İlave edilen kireç dozu (ml/L)	1.8	2.5	2.6
İlave edilen kireç dozu (mg/L)	180	250	260
Çıkış pH	5.3	6.1	6.77
Bulanıklık (NTU)	6.1	27.1	0.9
ÇKM (ml/L)	57	25	70
KOI (mg/L)	778	778	800
AKM (mg/L)	56	276	9
Krom +6 (mg/L)	0	0	0.15
Nikel (mg/L)	15.99	16.52	15.24
Demir (mg/L)	1.13	2.09	0.11
Sülfat (mg/L)	27	26	59

c) Grup no: 3Deney koşulları: pH: 11, FeCl₃ dozu:450 mg/L, Polielektrolit miktarı: 1mg/L

	1	2	3
İlave edilen kireç dozu (ml/L)	6.0	6.4	7.3
İlave edilen kireç dozu (mg/L)	600	640	730
Çıkış pH	8.75	8.5	8.60
Bulanıklık (NTU)	0.6	0.5	0.4
ÇKM (ml/L)	45	48	55
KOI (mg/L)	765	808	788
AKM (mg/L)	5	4	4
Krom +6 (mg/L)	0	0	0
Nikel (mg/L)	0.18	0.37	0.32
Demir (mg/L)	0.99	0.41	0.43
Sülfat (mg/L)	75	75	79

d) Grup no:4Deney Koşulları: pH: 11, FeCl₃ dozu: 900 mg/L, Polielektrolit miktarı: 1 mg/L

	1	2	3
İlave edilen kireç dozu (ml/L)	6.2	6.7	7.5
İlave edilen kireç dozu (mg/L)	620	670	750
Çıkış pH	7.5	7.02	7.3
Bulanıklık (NTU)	0.9	0.9	0.9
ÇKM (ml/L)	90	115	160
KOI (mg/L)	715	763	762
AKM (mg/L)	10	9	11
Krom +6 (mg/L)	0	0	0
Nikel (mg/L)	1.56	5.21	6.62
Demir (mg/L)	0.53	0.23	0.20
Sülfat (mg/L)	76	74	75

e) Grup no: 5

Deney Koşulları: pH: 9, $Al_2(SO_4)_3$ dozu: 450 mg/L, Polielektrolit miktarı: 1 mg/L

	1	2	3
İlave edilen kireç dozu (ml/L)	2.3	2.6	3.0
İlave edilen kireç dozu (mg/L)	230	260	300
Çıkış pH	7.3	7.56	7.99
Bulanıklık (NTU)	0.1	0.6	1.6
ÇKM (ml/L)	30	35	34
KOI (mg/L)	762	745	748
AKM (mg/L)	2	4	12
Krom +6 (mg/L)	006	0	0.33
Nikel (mg/L)	7.77	7.21	8.20
Demir (mg/L)	0.01	0	0.01
Sülfat (mg/L)	312	316	301

f) Grup no: 6

Deney Koşulları: pH: 9, $Al_2(SO_4)_3$ dozu:900 g/L, Polielektrolit miktarı: 1 mg/L

	1	2	3
İlave edilen kireç dozu (ml/L)	2.4	2.7	3.2
İlave edilen kireç dozu (mg/L)	240	270	320
Çıkış pH	6.65	6.23	6.78
Bulanıklık (NTU)	2.7	2.8	2.7
ÇKM (ml/L)	140	140	125
KOI (mg/L)	759	768	750
AKM (mg/L)	32	32	30
Krom +6 (mg/L)	0.18	0	0
Nikel (mg/L)	10.99	12.97	10.94
Demir (mg/L)	0.02	0.03	0.03
Sülfat (mg/L)	448	473	445

g) Grup no: 7

Deney Koşulları: pH: 11, $Al_2(SO_4)_3$ dozu:450 mg/L, Polielektrolit miktarı: 1 mg/L

	1	2	3
İlave edilen kireç dozu (ml/L)	6.2	6.8	7.0
İlave edilen kireç dozu (mg/L)	620	680	700
Çıkış pH	8.7	9.05	10.3
Bulanıklık (NTU)	0.5	0.3	3.1
ÇKM (ml/L)	30	35	36
KOI (mg/L)	793	700	703
AKM (mg/L)	4	3	34
Krom +6 (mg/L)	0.04	0	0
Nikel (mg/L)	0.27	0.23	0.35
Demir (mg/L)	0.11	0.11	0.07
Sülfat (mg/L)	325	321	305

h) Deney no:8

Deney Koşulları: pH: 11, $Al_2(SO_4)_3$ dozu: 900 mg/L, Polielektrolit miktarı: 1 mg/L

	1	2	3
İlave edilen kireç dozu (ml/L)	6.4	7.0	7.1
İlave edilen kireç dozu (mg/L)	640	700	710
Çıkış pH	7.84	8.61	8.2
Bulanıklık (NTU)	1.3	0.3	0.7
ÇKM (ml/L)	80	140	125
KOI (mg/L)	714	676	790
AKM (mg/L)	12	4	5
Krom +6 (mg/L)	0.15	0.49	0.13
Nikel (mg/L)	1.01	2.16	1.26
Demir (mg/L)	0.03	0.01	0.01
Sülfat (mg/L)	532	514	494

Çizelge 8.5. TEI atıksu arıtma tesisi kesikli arıtma biriminde kirletici bileşenler için deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen giderme verimleri

Giderme Verimleri (%)					
DENEY NO *	BULANIKLIK	AKM	KOI	KROM	NİKEL
1.1	99.2	96.4	14	93.8	59.95
2.1	89.8	82.0	12	100.0	71.60
3.1	78.7	43.0	14	69.5	43.35
4.1	52.0	0.0	12	100.0	17.57
5.1	96.1	93.0	10	93.2	98.61
6.1	95.3	91.0	14	100.0	99.07
7.1	89.8	79.0	19	74.0	99.79
8.1	92.9	82.0	14	100.0	91.96
1.2	95.3	93.0	16	100.0	62.83
2.2	97.6	95.0	12	89.8	75.05
3.2	77.9	43.0	13	100.0	33.14
4.2	0.0	0.0	12	100.0	14.84
5.2	97.6	95.0	21	100.0	98.61
6.2	96.1	93.0	9	100.0	98.09
7.2	97.6	93.0	24	17.0	88.86
8.2	92.9	84.0	14	100.0	73.14
1.3	87.4	79.0	15	98.3	57.73
2.3	96.1	93.0	15	100.0	46.03
3.3	78.7	46.0	15	100.0	43.61
4.3	92.9	84.0	10	74.6	21.44
5.3	75.6	39.0	21	100.0	98.19
6.3	96.9	93.0	11	100.0	98.35
7.3	94.5	91.0	11	77.9	93.5
8.3	92.9	80.0	14	100.0	65.88

* Deney numarası olarak kullanılmış ilk rakam grup numarasını, ikincirakam ise tekrar numarasını göstermektedir.

8. Verilerin Analiz Edilmesi

Deneyisel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin analiz edilmesinde, MINITAB istatistiksel analiz programı kullanılmıştır. Bu program vasıtasıyla her bir parametre için varyans analizi yapılmış, deney faktörlerinin parametreler üzerindeki etki grafikleri ve ikili etkileşim grafikleri hazırlanmıştır.

Varyans analizlerine bağlı olarak yapılan F testi ve P testi ile faktörlerin etki düzeyleri belirlenmiştir.

F testi: % 95 güven aralığında ($\alpha = 0.05$), her bir faktör için serbestlik derecesi 1 (DF= 1) ve toplam serbestlik derecesi 16 (hata= 16) alınarak F dağılım tablosu yardımıyla kritik F değeri bulunmuştur.

Dağılım tablosuna göre $\alpha = 0.05$, $V_1= 1$ ve $V_2= 16$ için F kritik = 4.49 'dur.

Bu teste göre varyans analizindeki F değerleri F kritikden büyük olan faktörlerin, verim üzerindeki etkisi büyüktür.

P testi: Bu test de, F testi gibi aynı amaca yönelik olarak yapılmıştır. Varyans analizi tablolarında, % 95 güven aralığına bağlı olarak, P değerleri $\alpha = 0.05$ sayısı ile karşılaştırılmıştır.

Bu teste göre, varyans analizindeki P değerleri 0.05' den küçük olan faktörlerin, verim üzerindeki etkisinin büyük olduğu sonucuna varılmıştır. Varyans analizi sonuçları ve F dağılım tablosu EK 5' de verilmiştir.

9. Sonuçların Yorumlanması

Bulanıklık:

Etkiler:

	F	P
Miktar:	4.63	0.047
Miktar*pH	4.94	0.041

Bulanıklık üzerinde, miktarın ve miktar*pH etkileşiminin etkisi vardır. Etki grafikleri incelendiğinde, düşük kimyasal madde miktarı ve yüksek pH' da yüksek verim elde edildiği görülmektedir (Bkz. Şekil 8.5).

AKM:

Etkiler:

	F	P
Miktar:	9.43	0.007
pH	6.26	0.024
Miktar*pH	10.03	0.006

AKM için yapılan varyans analizine göre AKM giderim verimine, kimyasal madde miktarı, pH ve miktar*pH etkileşimi faktörlerinin etkileri büyüktür. Etki grafiklerindeki düşük kimyasal madde miktarı ve yüksek pH' da maksimum giderme

verimleri sağlandığı görülmektedir. Ancak, miktar*pH etkileşim grafiğinde, düşük kimyasal madde miktarı ve düşük pH AKM giderimi için en uygun koşul olarak görülmektedir (Bkz.Şekil 8.6).

KOI:

Etkiler:

	F	P
Tür:	6.72	0.02

Varyans analizi ve etki grafikleri incelendiğinde, KOI giderme verimine seçilen faktörlerden, sadece türün etkisi olduğu görülmektedir. Yüksek giderme verimini elde edildiği kimyasal madde türü alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3$)' dır (Bkz.Şekil 8.7)

KROM:

Etkiler:

	F	P
Miktar:	6.72	0.02

Krom parametresi için, varyans analizi ve etki grafiklerine göre, düşük kimyasal madde miktarı, düşük pH ve demir 3 klorürün ($FeCl_3$) kullanıldığı deney koşullarında en yüksek giderme verimleri elde edilmiştir (Bkz.Şekil 8.8).

NIKEL:

Etkiler:

	F	P
Tür:	6.75	0.019
Miktar:	53.49	0.000
pH:	204.83	0.000
Tür*miktar	10.45	0.005
Miktar*pH	9.12	0.008

Nikel varyans analizine göre, pH' ın nikel giderimi üzerinde çok büyük etkisi vardır ve kimyasal madde miktarının etkisi büyüktür. Ayrıca, türün, tür*miktar ve miktar*pH etkileşimlerinin etkisi söz konudur. Etki grafiklerinde, en yüksek verimin yüksek pH ve düşük kimyasal madde miktarının kullanıldığı deney koşullarında elde edildiği görülmektedir. Ayrıca alüminyum sülfat kullanımı, nikel giderim verimini arttırmıştır. Etkileşim grafikleri de, nikel giderimi için en uygun koşulların; yüksek pH, düşük kimyasal madde miktarı ve alüminyum sülfat kullanımı olduğunu doğrulamaktadır (Bkz.Şekil 8.9)

GENEL:

Tüm parametrelere bakıldığında ve kesikli arıtma prosesi için, atıksuda giderilmek istenen temel parametrenin nikel olması dikkate alındığında, en iyi arıtımın aşağıdaki koşullarda gerçekleşeceği sonucu çıkarılmıştır.

pH: 11

Kimyasal madde miktarı: 450 mg/L

Kimyasal madde türü: Alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3$)

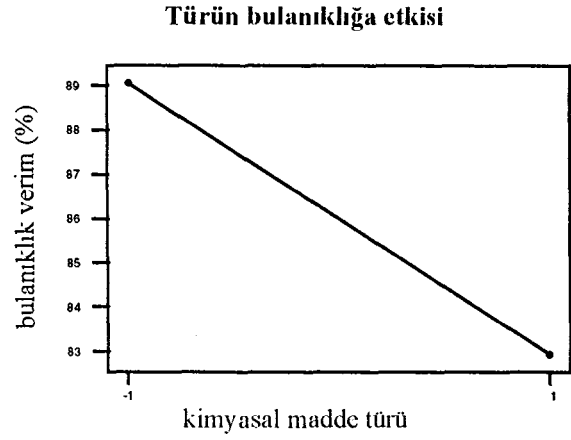
Ayrıca, demir 3 klorür ($FeCl_3$) ilaveli deneylerde çökebilan katı madde (ÇKM) miktarının 25-160 ml/L ve alüminyum sülfat $Al_2(SO_4)_3$ ilaveli deneylerde ise, ÇKM miktarının 30-140 ml/L arasında değiştiği, nikel giderimi için optimum işletme koşulu olarak belirlenen pH= 11' de, 450 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ ilavesi durumunda diğer koşullarla kıyaslandığında minimum çamur oluşumu görülmektedir. Ancak, $Al_2(SO_4)_3$ ilave edilen koşullarda, artırılmış sudaki sülfat (SO_4^{--}) yükünün ham sudaki sülfat (SO_4^{--}), yüküne kıyasla % 82 oranında, demir 3 klorür ($FeCl_3$) ilave edilen artırılmış suda ise, demir yükünün, ham sudaki demir yüküne kıyasla % 89 oranında arttığı görülmüştür. Artırılmış sularda demir veya alüminyum tuzlarının ilavesi nedeniyle görülen derişim seviyelerindeki artışlar, S.K.K.Y' de verilen 1000 mg/L'lik sülfat ve 3 mg/L' lik demir sınır değerlerini sağlayabilecek durumdadır.

9. Doğrulama Deneylerinin Yapılması

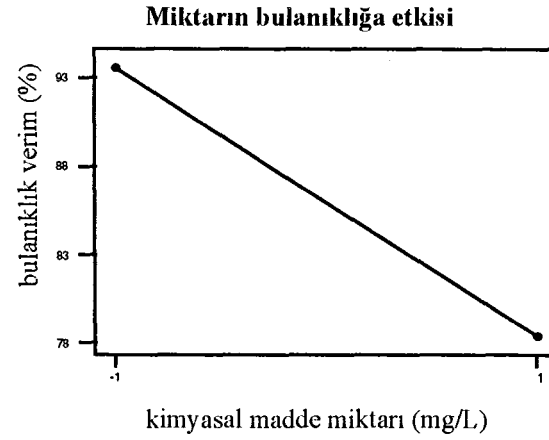
Uygulanan deney tasarımı sonucunda, elde edilen sonuçlara bağlı olarak, giderme verimine etki eden faktörler, optimum koşullardaki düzeylerine getirilerek, 3 tekrarlı olmak üzere doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, seçilen koşul olan, pH =11 ve 450 mg/L alüminyum sülfat ilavesiyle optimum giderme verimlerinin sağlandığı görülmüştür (Bkz. Çizelge 8.6).

Çizelge 8.6. Doğrulama deneyleri sonuçları ve hesaplanan giderme verimleri

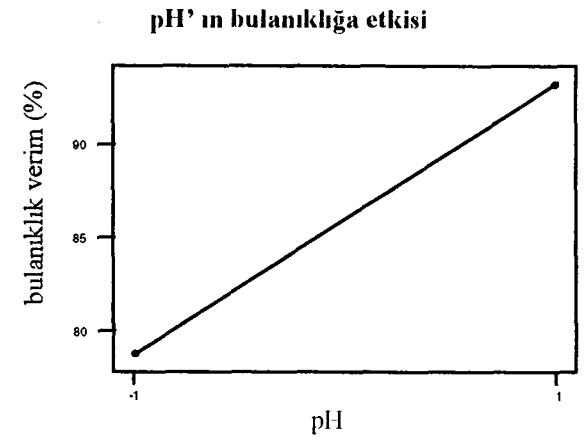
Deney no	1	2	3
Parametre			
Bulanıklık (mg/L)	0.6	0.7	0.4
AKM (mg/L)	5	3	8
KOI (mg/L)	780	730	710
Krom (+6) (mg/L)	0	0	0
Nikel (mg/L)	0.25	0.28	0.3
ÇKM (ml/L)	35	35	34
Bulanıklık verim (%)	95	94	97
AKM verim (%)	91	95	86
KOI verim (%)	12	18	20
Krom (+6) verim (%)	100	100	100
Nikel verim (%)	98.7	98.5	98.5



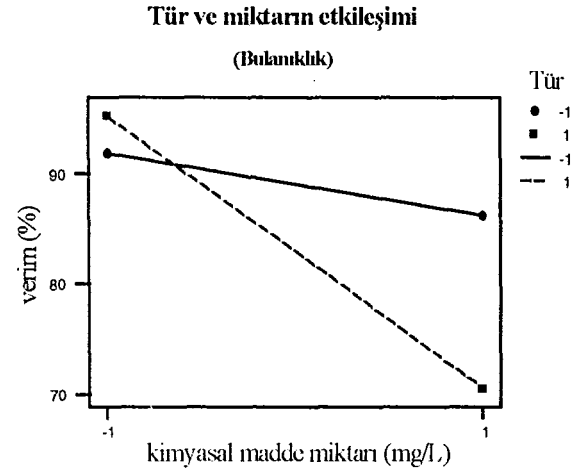
(a)



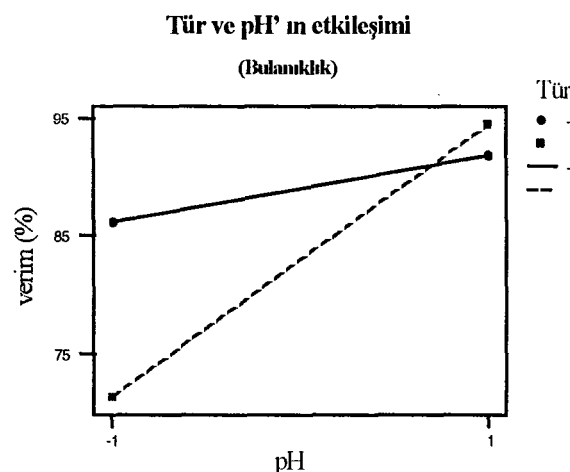
(b)



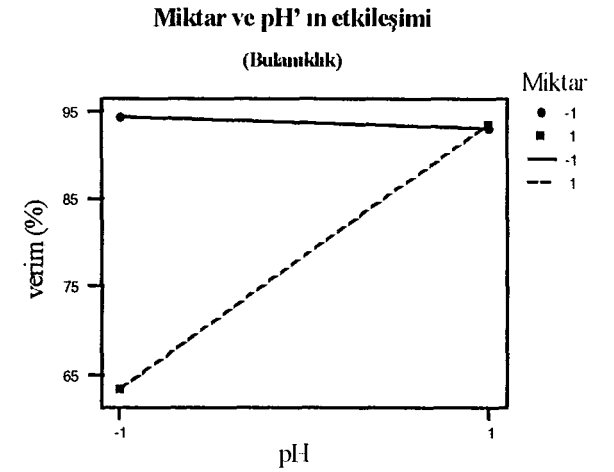
(c)



(d)

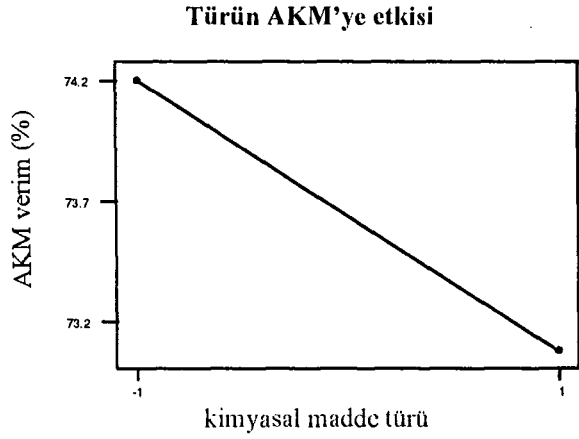


(e)

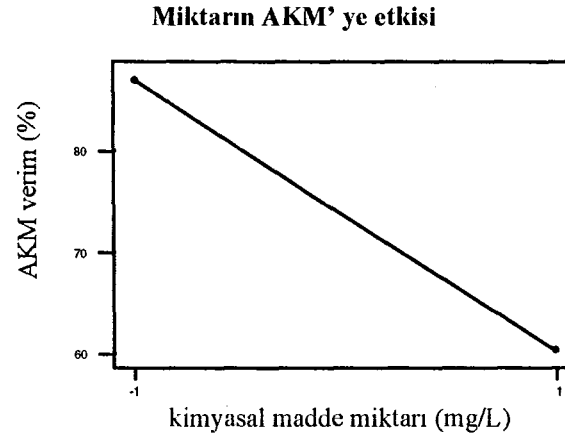


(f)

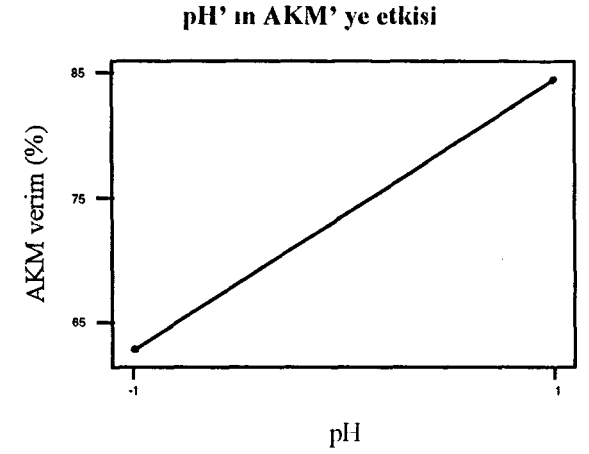
Şekil 8.6. Bulanıklık parametresi için faktörlerin etki ve etkileşim grafikleri



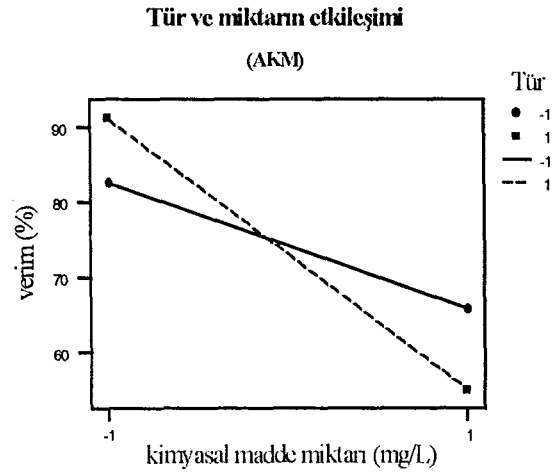
(a)



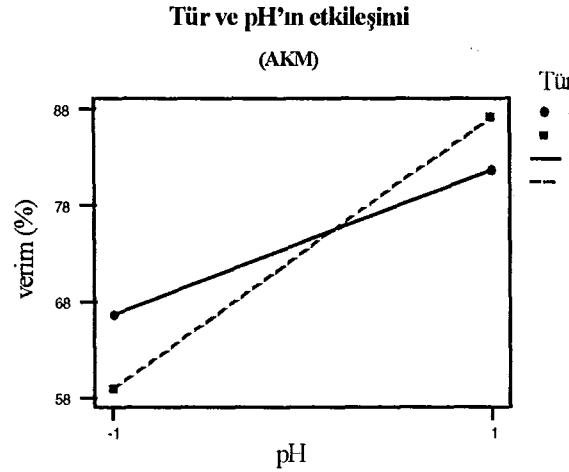
(b)



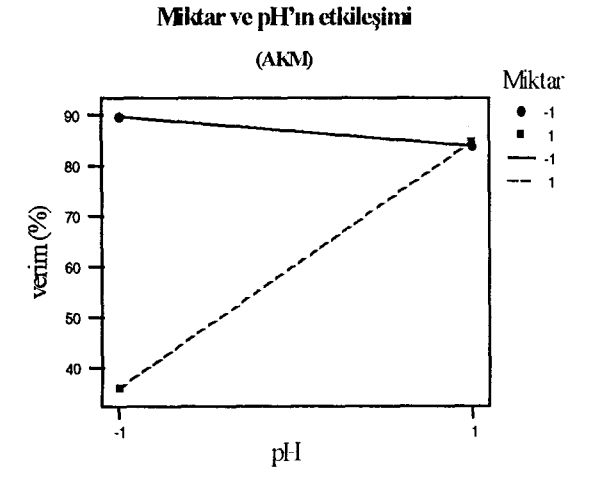
(c)



(d)

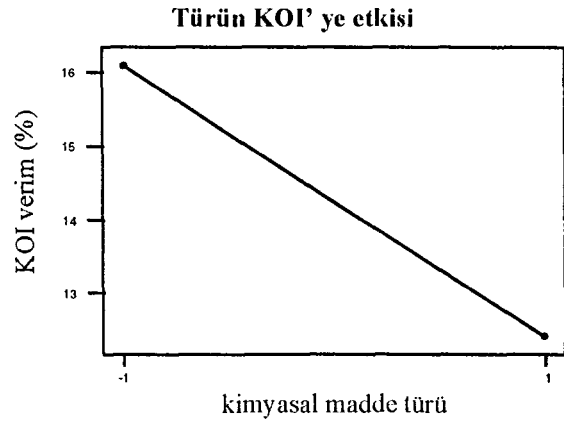


(e)

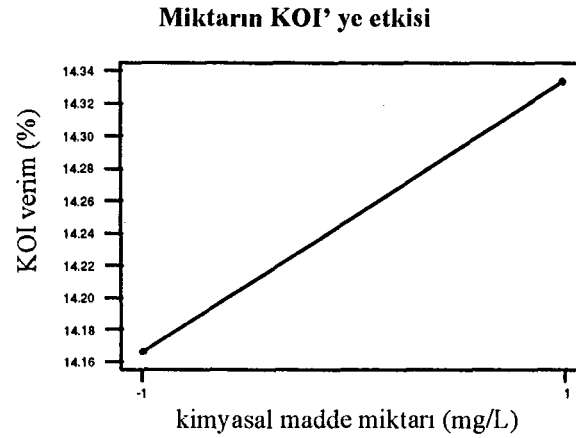


(f)

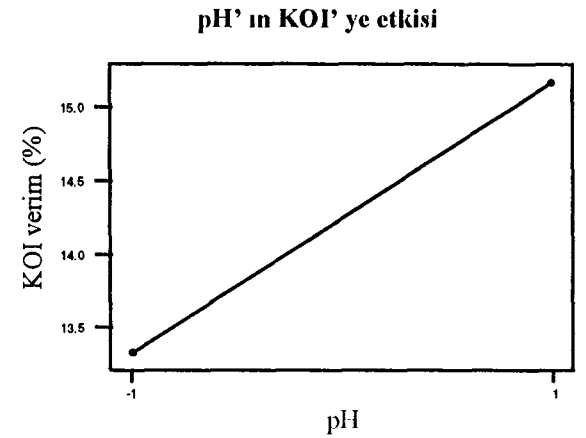
Şekil 8.7. AKM parametresi için faktörlerin etki ve etkileşim grafikleri



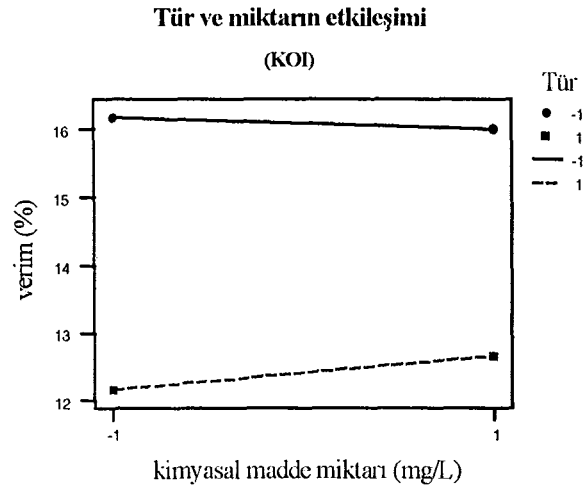
(a)



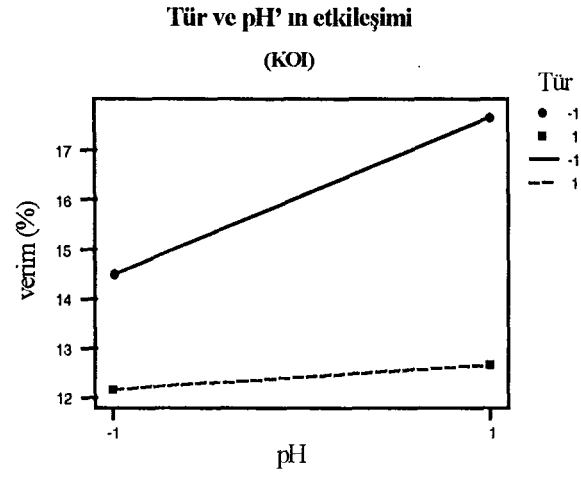
(b)



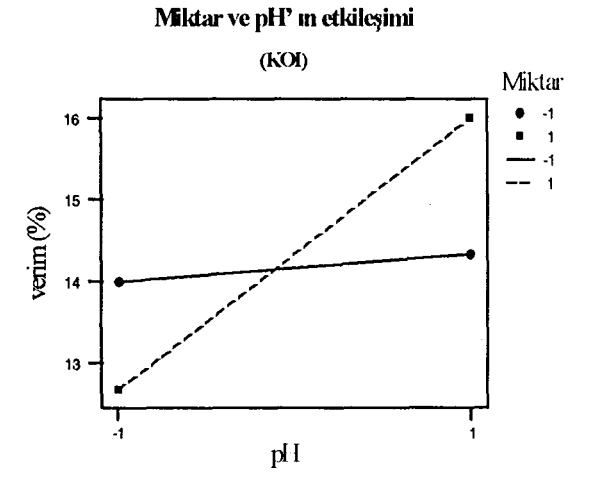
(c)



(d)

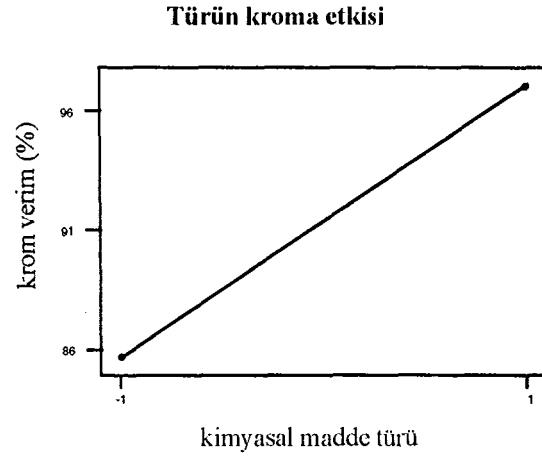


(e)

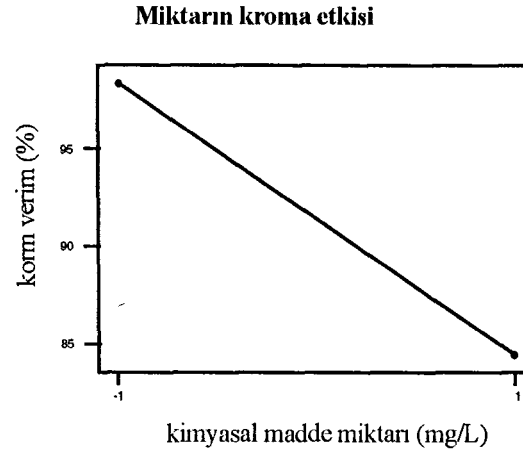


(f)

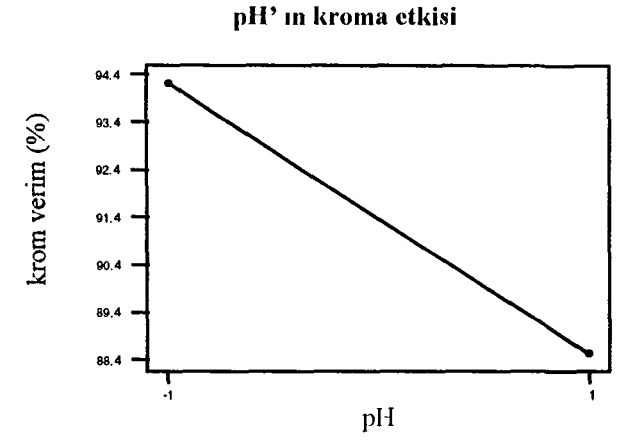
Şekil 8.8. KOI parametresi için faktörlerin etki ve etkileşim grafikleri



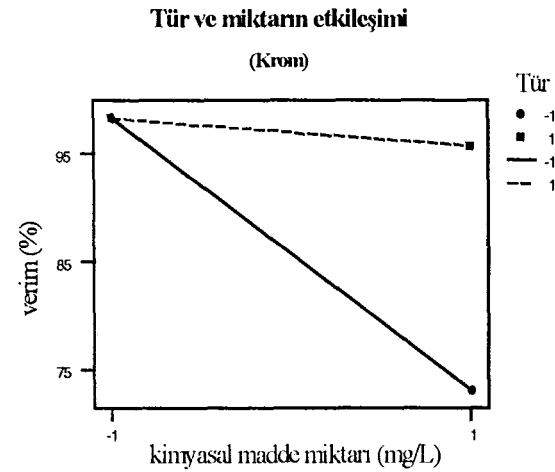
(a)



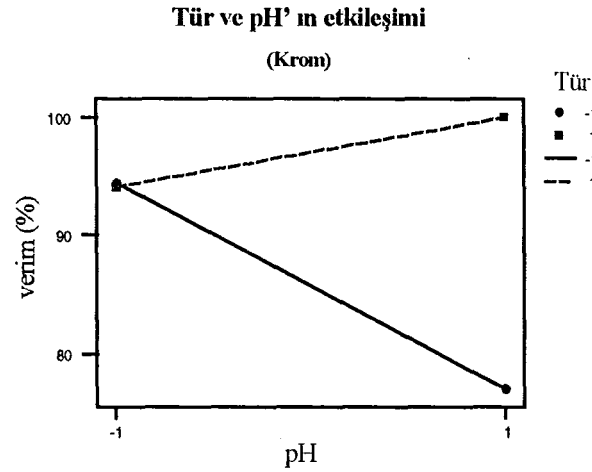
(b)



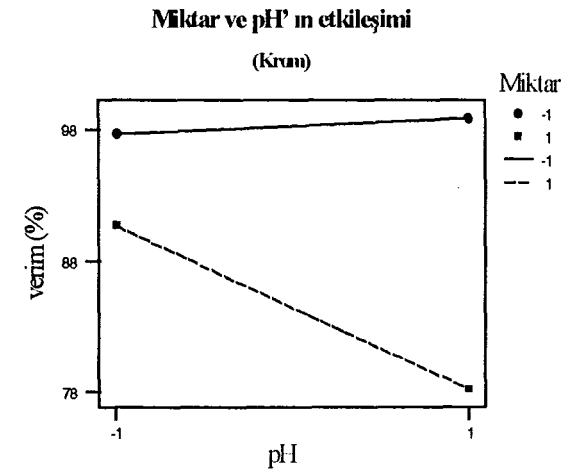
(c)



(d)

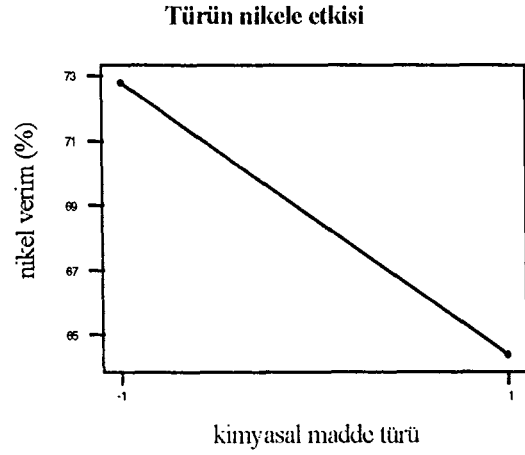


(e)

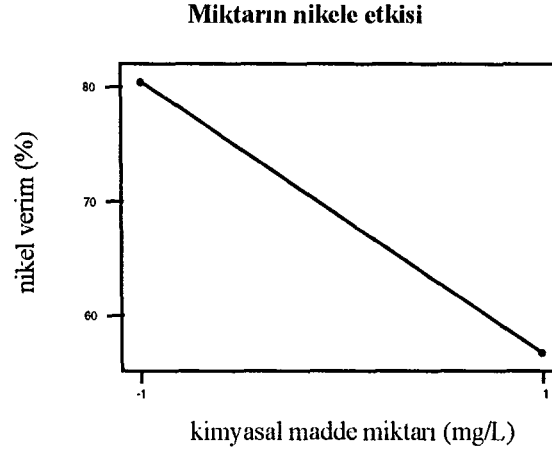


(f)

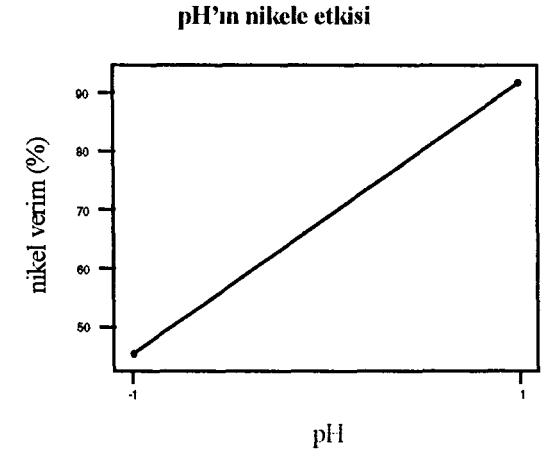
Şekil 8.8. Krom parametresi için faktörlerin etki ve etkileşim grafikleri



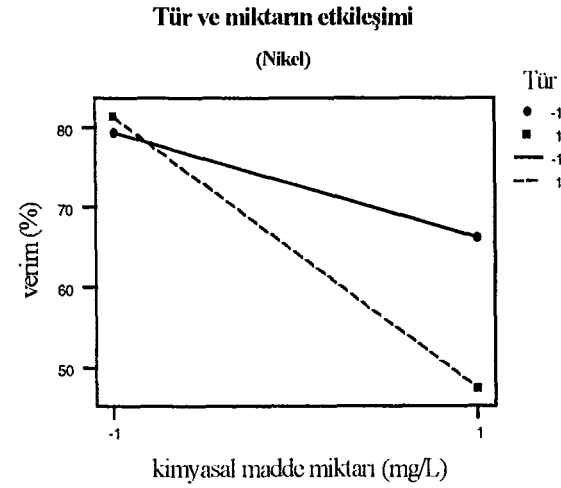
(a)



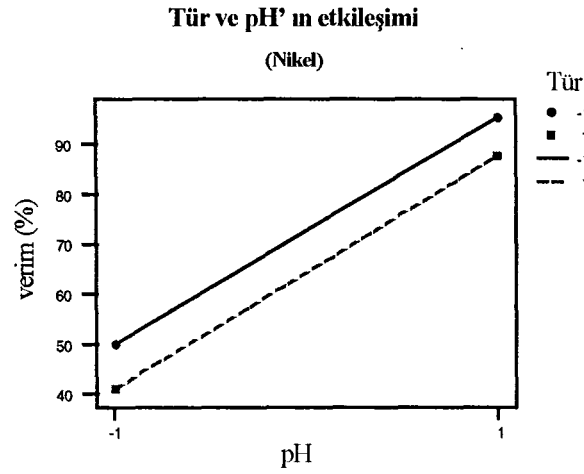
(b)



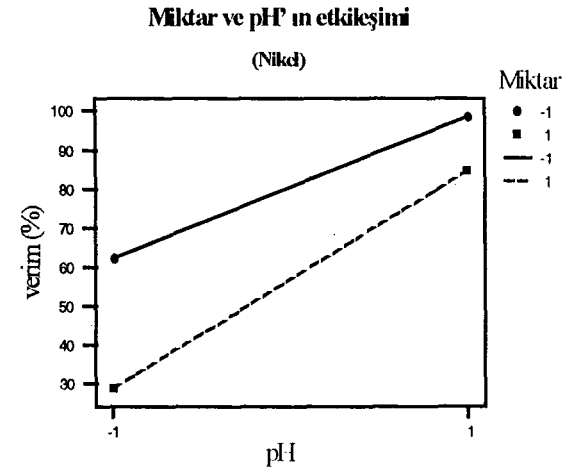
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 8.9. Nikel parametresi için faktörlerin etki ve etkileşim grafikleri

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, metal işlem sanayiinden kaynaklanan ve doğal ortamlara terk edilen kirletici bileşenler ele alınmış ve özellikle sıvı atıklar ve atıksu arıtım teknolojileri üzerinde durulmuştur. Atıksu arıtma tesislerinin mevcut durumu incelenmiş ve söz konusu tesiste en etkin işletim performansını sağlamak üzere gerekli rehabilitasyon planlarının genel olarak ve TEI (Tusaş Motor San.A.Ş.) atıksu arıtma tesisleri özelinde değerlendirmesi yapılmıştır.

TEI atıksu arıtma tesisi performans iyileştirme çalışmalarında, farklı nitelikteki atıksuların bir arada toplandığı ve yüksek nikel konsantrasyonuna sahip konsantre tankı atıksuyu öncelikli olarak ele alınmıştır. Tesisin diğer arıtım birimleri olan bor yağı arıtım ünitesi ve krom redüksiyon sürekli arıtım ünitesinde de performans iyileştirmeye yönelik benzer çalışmanın yapılması gerekmektedir.

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanmış olan bu eserde yer alan literatür verilerinin ışığı altında, tesiste yapılan yerinde incelemeler ve gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonucunda, aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmış ve büyük bir kısmı TEI atıksu arıtma tesislerine yönelik olan spesifik öneriler sunulmuştur:

- (1) Tesisdeki mevcut arıtma tesislerinin işletimi, imalat programı ile entegre bir hale getirilmelidir. Üretim programı ile üretim sonrası açığa çıkan atıksuyun miktar ve kalitesi arasında bir ilişki kurulması durumunda, arıtma tesisinin çalışma koşullarının önceden programlanması mümkün olacaktır.
- (2) Arıtma tesisine, kapasitesinden fazla yükleme yapılmaması ve etkin bir şekilde işletilebilmesi için, tesise gelen atıksu miktarı mutlaka bilinmelidir. Bu tez çalışması kapsamında, ortalama bir su tüketim miktarı belirlenmiş olmakla birlikte, arıtma tesisine su taşıyan hatlar üzerine debi ölçüm sistemleri ya da su sayaçları konularak atıksu arıtma tesisine gelen atıksu debilerinin sürekli bir ölçüm sistemiyle monitorlanması çok daha sağlıklı sonuç alınmasını sağlayacaktır.
- (3) Konsantre tankındaki atıksuların kaynakları itibariyle çok fazla değişkenlik arzemesinden dolayı, atıksuyun nitelik ve niceliğindeki değişkenlikler, arıtımı zorlaştırmakta ve tesisin performansını azaltmaktadır. Atıksuyun nitelik ve niceliğindeki pik değişimleri önlemek üzere büyük bir dengeleme havuzunun inşa edilmesi ve konsantre atıksuların bu havuzda toplanması ya da, atıksuların karakterizasyonuna bağlı olarak gruplandırılması ve aynı özellikteki suların birlikte arıtılması arıtma verimliliğini yükseltecektir.
- (4) Proses atıksularını arıtma tesisine taşıyan bağlantı hatlarının gözden geçirilmesi, yanlış bağlantıların tesbit edilmesi gerekir. Örneğin inceleme yapılan TEI' de nikel kaplama prosesinin yıkama tanklarından birisinin, konsantre tankı yerine, krom redüksiyon hattına bağlanmış olduğu ve dolayısıyla krom içeren atıksularla birarada toplandığı görülmüştür. Kimyasal çöktürme işleminin farklı pH' larda gerçekleştirilmesinin gerektiği krom ve nikelin her ikisi için optimum koşulların sağlanmasının güç olduğu

bilinmektedir. Bu yüzden de atıksu arıtma tesisine gelen hatların kontrolü gerekmektedir.

TEI atıksu arıtma tesislerindeki performansın iyileştirilmesine yönelik olarak yapılacak deney tasarımı çalışmalarında aşağıda verilen hususların da gözönünde bulundurulmasının gerekli olduğu kanısına varılmıştır:

- (a) Çöktürme ve nötralizasyon amacıyla kirece alternatif olarak kostiğin de kullanılabilirdiği bilinmektedir. Sıvı kostik kullanımı, hazırlama ve depolama kolaylığı, rahat dozlanması, dozlama hatlarında tıkanmalara sebep olmaması ve kirece kıyasla daha az atık çamur oluşturması açısından tercih edilebilir. Ancak, kostik, korozif bir kimyasal olması ve maliyetinin kirece oranla yüksek olması gibi dezavantajlara da sahiptir. Tesis atıksuyunda kireç ve kostiğin çöktürme verimlerini kıyaslamak üzere, Jar Testi kullanılarak arıtılabilirlik çalışmaları yapılmalıdır.
- (b) Bu tez çalışmasında, atıksuda bulunan ağır metallerin hidroksitler şeklinde çöktürülmesi incelenmiştir. Ortamda bulunma ihtimali yüksek olan metallerin karbonat, sülfür ve borohidritleri şeklinde çöktürme verimlilikleri karşılaştırmalı olarak incelenmelidir.
- (c) TEI atıksu arıtma tesisindeki temel amaç, kimyasal çöktürme ile ağır metallerin giderimi olmakla birlikte, atıksuda bulunma ihtimali yüksek olan, sülfat (SO_4^{2-}), klorür (Cl^-), florür (F^-), fosfat (PO_4^{3-}), ve nitrat (NO_3^-) gibi anyonların giderimi için de çalışmalar yapılmalı ve anyon giderimi ile ağır metal giderimi arasındaki ilişkiler incelenmelidir.
- (d) TEI atıksu arıtma tesisi için yapılan deney tasarımında, karıştırma hızı ve çöktürme süresinin giderme verimine etkisinin, kimyasal madde türü ve miktarına kıyasla daha az olduğu düşünüldüğünden, ilk etapta bu parametrelerin metal çöktürme verimliliğine etkisi incelenmemiştir. Daha sonraki denemelerde metal giderim verimine karıştırma hızı ve çöktürme süresinin de etkisi incelenmelidir.
- (e) Yumaklaşmayı sağlamak üzere, kireç, kostik vb. kimyasallar ile birlikte demir ve alüminyum tuzlarının kullanılmasının ağır metal giderim performansını nasıl etkilediği incelenmeli, bu tuzların çok daha az miktarlarda kullanıldığı veya hiç kullanılmadığı koşullardaki giderme verimleri belirlenmelidir.
- (f) Kullanılan çöktürücü türü ile çalışma koşullarının oluşan flokların partikül boyut dağılımlarını ne şekilde etkilediği irdelenmelidir.

Ayrıca, atıksu arıtma tesislerinde istenen performansın sürekliliğini sağlayabilmek üzere, aşağıda sıralanan bazı genel hususlara da dikkat edilmesi gerekmektedir:

- (a) Özel proseslerde basınçlı su tabancalarının ve yıkama tanklarına su veren vanaların açık unutulması, arıtma tesisine aşırı bir yükleme ve havuzlarda taşma gibi önemli

problemlere neden olmaktadır. Bu tür dikkatsizliklerin önlenmesi amacıyla proseslerde çalışan kişilerin mutlaka eğitilmesi gerekmektedir.

- (b) Arıtma tesisinde mekanik ve elektronik problemleri önlemek üzere, düzenli bakımın sağlanması, tesiste sık problem yaratan mekanik aksamın belirlenmesi ve bu tür parçaların yedeğinin bulundurulması şarttır.
- (c) İyi işletim koşulları ve deşarj standartlarını sağlamak üzere, krom, nikel, KOI, AKM gibi tesis için kritik önem taşıyan parametrelerin en az haftalık periyotlarda, S.K.K.Y Tablo 25' de istenen deşarj parametrelerinin ise aylık periyotlarda analiz edilmesi tesis içi otokontrolün sağlanması ve yılda iki kez yaptırılması zorunlu olan resmi atıksu analizlerine ışık tutması açısından özel önem taşımaktadır.
- (d) Arıtma koşullarının sürekli kontrolü için Jar Testi' nin kullanılması ve bu test sonucunda alınacak verilere göre kimyasal dozajlamalarının yapılması çok daha etkin bir arıtma yapılmasını sağlayacaktır.
- (e) Atıksu arıtma tesisinin TEI'ye getirdiği maliyeti belirleyebilmek ve daha az maliyetle daha etkin bir arıtım sağlamak üzere, tesisin işletme maliyetinin analizine yönelik bir çalışma yapılması gerekir.

Temiz ve güncel teknolojilerin kullanıldığı ve ayrıca, imalat alanında 1994 TÜSİAD-KALDER kalite ödülüne sahip TEI' de, kaliteli çevre yönetiminin bir göstergesi olan ISO 14 000 Çevre Yönetim Sisteminin bir an önce benimsenmesi ve bu sistemin sürekliliğinin sağlanması kaçınılmazdır. Bu hedefe ulaşabilmek üzere;

- (1) Tez çalışmasında genel hatları çizilen atık minimizasyonu esaslarının TEI' deki uygulamalarını başlatabilmek üzere gerekli prosedürlerin hazırlanarak, kirliliklerin kaynağında azaltılması,
- (2) Çevreye verilen zararı en aza indirmek üzere, imalat ve yüzey işlemlerinde kullanılan teknolojilerin ve kimyasalların detaylı olarak incelenmesi, alternatif çevre dostu kimyasal ve teknolojilerin kullanımına geçilmesi,
- (3) TEI' de kullanılan tüm kimyasallar için etkin bir kimyasal madde yönetimi uygulanması, MSDS (Material Safety Data Sheet)' lerin güncelleştirilmesi ve kimyasallarda etiketleme sisteminin oturtulmasını sağlamak üzere detaylı bir çalışma yapılması,
- (4) Tesiste entegre atık yönetimi esaslarının uygulanmasının sağlanması,
- (5) Çevre yönetimi ve işçi sağlığı-iş güvenliği konularının entegre bir halde ele alınması ve endüstriyel hijyen konusundaki çalışmalara önem verilmesi ve

(6) İşçi sağlığına yönelik olarak, başta kimyasal madde kullanımının yoğun olduğu özel proseslerin bulunduğu ortamlar olmak üzere, işyeri ortamı hava kirliliği ölçümleri ve biyolojik monitorlama çalışmalarını yapılması ve gerekli iyileştirmelerin sağlanması gerekir.

KAYNAKLAR

1. ÜNAL, S., GENÇE, S., YAVUZ, Y., BİLGE, F., ATİK, S., ÇİÇEK, A., BANAR, M., DÖĞEROĞLU, T., KARA, S., *Metal İşlem Sanayiinde Sıvı Atık Yönetimi, Hizmet İçi Eğitim Seminerleri Dizisi-5 Atık Yönetimi ve Enerji Geri Kazanımı*, Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Eskişehir, 18.12.1996.
2. EPA/625/7-90/006, *Guides to Pollution Prevention-The Fabricated Metal Products Industry, Cincinnati, USA, 1990.*
3. DEGARMO E.PAUL, BACK J.J., KOHSER RONALD A., *Materials And Processes In Manufacturing*, USA, 1997.
4. GE Aircraft Engines, *Engineering Standart*, Cincinnati, USA, 1986.
5. EPA/625/R-64/007, *Guide to Cleaner Technologies-Alternative Metal Finishers*, Cincinnati, USA, 1994.
6. LESLIE, E.L., *Pollution Control in Plating Opreations*, Industrial Pollution Control Handbook (Ed: Lund H.F.), USA, 1971.
7. NEMEROW, L.N., *Liquid Waste of Industry Theories Practices&Treatment*, New Jersey, 1975.
8. ŞENGÜL, F., KÜÇÜKGÜL, E.Y., *Çevre Mühendisliğinde Fiziksel Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler*, İzmir, 1990.
9. BASKIN, B., GIFFELS, D.J., *Pollution Control in Fabricated Plants*, Industrial Pollution Control Handbook (Ed: Lund H.F.), USA, 1971.
10. PHILIPP, C.T., *Wastewater Treatment*, Metal Finishing Guide Book and Directory Issue 92 (Ed: Murphy ,.M.), U.S.A., 1992.
11. MASTERS, G.M., *Introduction to Environmental Engineering and Science*, New Jersey, 1991.
12. FOCHTMAN, E.G., *Chemical Oxidation and Reduction*, Standart Handbook of Hazardous Waste Treatment And Disposal (Ed: FREEMAN M.H.), USA, 1971.
13. EPA/625/4-87/018, *Seminar Publication-Meeting Hazardous Waste Requirements For Metal Finishers*, Cincinnati, USA, 1987.

KAYNAKLAR (DEVAM)

14. PATTERSON, W. J., *Industrial Wastewater Treatment Technology*, USA, 1985.
15. CHUNG, N.K., *Chemical Precipitation*, Standart Handbook of Hazardous Waste Treatment And Disposal (Ed: FREEMAN M.H.), USA, 1971.
16. ŞENGÜL F., *Endüstriyel Atıksuların Özellikleri Ve Arıtılması*, İzmir, 1991.
17. KARA, S., DÖĞEROĞLU, T., BANAR, M., BİLGE, F., YAVUAZ, Y., ÇİÇEK, A., ATİK, S., GENÇE, S., ÜNAL, S., *Tusaş Motor Sanayi A.Ş. Atıksu Arıtım Tesislerinde Arıtma Verimliliği, Analiz ve Teknolojik Değerlendirme Raporu*, Eskişehir, 1997.
18. EPA/625/10-85/001, *Environmental Regulations And Technology The Electroplating Industry*, Cincinnati, USA, 1985.
19. KOCASOY G., *Atıksu Arıtım Sistemleri*, Kimya Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi İstanbul, 1991
20. REYNOLDS TOM D., *Unit Operations And Processes In Environmental Engineering*, California, 1982.
21. RIIKONEN N., JONES C., *Industrial Wastewater Source Control-An Inspection Guide*, USA, 1992
22. CHEREMISINOFF P, N., *Pollution Engineering Practice Handbook*, New Jersey, 1975.
23. HENKEL, *Metallchemie Splitting Oil in Water Emulsions Technical Information K6-4/3*, Germany, 1994.
24. EPA/625/R-94/010, *Environmental Regulations And Technology-Managing Used Motor Oil*, Cincinnati, USA, 1994.
25. Zararlı Kimyasal Madde ve Ürünlerin Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı: 21634, Tarih: 11.7.1993.
26. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı: 22387, Tarih: 27.8.1995.
27. İZAYDAŞ, Atık ve Artıkları Arıtma, Yakma ve Değerlendirme A.Ş. *Teknik Bilgi Formları*, 1997.

KAYNAKLAR (DEVAM)

28. FİLİBELİ A., *Aritma Çamurlarının İşlenmesi*, İzmir, 1990.
29. SAMSUNLU A., *Zararlı Atık Sorunu Ve Metal Son İşlemleri Endüstrisi Atıklarının Bertarafı*, Çevre 88 Dördüncü Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi, 5-9 Haziran, İzmir, 1988.
30. EPA/625/R-96/009, *Capsule Report-Reverse Osmosis Process*, Cincinnati, USA, 1996.
31. EPA/625/R-94/007, *Guide to Cleaner Technologies*, Cincinnati, USA, 1994.
32. EPA/625/R-96/008, *Capsule Report-Evaporation Process*, Cincinnati, USA, 1996.
33. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı: 19919, Tarih: 4.9.1988.
34. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Resmî Gazete, Sayı: 20814, Tarih: 14 Mart 1991.
35. TEI Özel Prosesler Talimatnameleri.
36. APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WPCA (Water Pollution Control Association), *Standart Methods for The Examination of Water and Wastewater* (Managing Editör: Franson M.H.), USA, 1992.
37. MERCK SQ 118 Fotometre Kullanma Klavuzu.
38. ANAGÜN S.A., *Deney Planlaması*, Eskişehir, 1996.
39. BOX G.E.P., HUNTER W.G., HUNTER J.S., *Statistics For Experiment An Introduction To Design Data Analysis And Model Building*, New York, 1978.
40. MENDENHALL W., *Introduction To Linear Of Experiments*, California, 1968.
41. COCHRAN W.G., COX G.M., *Experimental Designs*, New York, 1957.
42. HICKS C.R., (Çev.MULUK Z.,KURT S., TOKTAMIŞ Ö., KARACAAĞAOĞLU E., *Deney Düzenlemede İstatiksel Yöntemler*, Ankara, 1985.
43. AKKURT M., *Talaş Kaldırma Yöntemleri Ve Takım Tezgahlari*, İstanbul, 1992.

KAYNAKLAR (DEVAM)

44. *Makina Mühendisliği El Kitabı.*
45. KAYLI E. SABRİ, ENSARİ CAHİT, *Metallere Plastik Şekil Verme İlke Ve Uygulamaları*, İstanbul, 1986.
46. FLOTT LESLİE W., *The Electroplating Process*, USA, 1996.
47. JUMER, J.F., *Electropolishing*, Metal Finishing Guide Book and Directory Issue 92 (Ed: Murphy ,M.), U.S.A., 1992
48. UNEP (United Nations Environmental Programme), *Specialized Solvent Uses*, USA, 1996.

EKLER

EK 1 METAL İŞLEM SANAYİNDE İMALATTA KULLANILAN İŞLEM ÇEŞİTLERİ

EK 1.1. Mekanik İşlemler

Metal işlem sanayiinde, metalik hammaddenin şekil ve boyutunun değiştirilerek işlenmesini amaçlayan mekanik imalat yöntemleri, talaşlı ve talaşsız imalat olarak iki gruba ayrılır. Talaşsız imalat yöntemleri talaş kaldırmadan, talaşlı imalat yöntemleri ise talaş kaldırarak malzemeye şekil verilmesini sağlayan yöntemlerdir. Talaşsız imalat yöntemleri; döküm, dövme, presleme, haddeleme, çekme, derin çekme, sıvama, bükme, kaynak, lehim, yapıştırma ve perçinleme; talaşlı imalat yöntemleri ise tornalama, delme, frezeleme, planyalama, vargelleme, broşlama, taşlama, honlama ve lepleme gibi işleri kapsar.

Çok kısa bir zamanda gerçekleştirilmesine rağmen, talaşsız imalat yöntemleri, yüzey, boyut ve şekil kalitesi bakımından, parçada istenen kaliteyi sağlayamaz. Bu nedenle, bu şekilde imal edilen parçaların yüzeylerinin bir kısmı veya tamamı, talaşlı imalat yöntemleri ile işlenir. Bundan dolayı talaşsız imalat yöntemlerine birincil (primer), talaşlı imalat yöntemlerine ise ikincil (sekonder) imalat yöntemleri denilir.

Talaşlı imalat

Tornalama : Tornalama, kesme hareketi, parçanın dönme hareketi ve ilerleme hareketi, takımın ilerleme hareketi ile gerçekleşen talaş kaldırma işlemidir [43].

Delme : Matkap denilen bir takımla yapılan delme işleminde kesme ve ilerleme hareketi, takımın dönmesi ve ilerlemesi ile gerçekleşir. Delik delme, olmayan bir deliği meydana getirme, delik genişletme, mevcut olan deliği daha geniş bir çapa getirme, raybalama ise mevcut olan bir deliğin işletme kalitesini iyileştirme amacını taşır[43].

Frezeleme : Kesme hareketi takımın, kendi eksenini etrafında dönmesi ve parçanın ilerleme hareketi yapması ile gerçekleşen bir işlemdir. Frezeleme ile, düz yüzeyler, çeşitli kanallar ve yuvalar, şekilli yüzeyler işlenir, vida ve dişli çarklar açılır[43].

Planyalama : Planyalamada kesme hareketi takım, ilerleme hareketi parça tarafından yapılır[43].

Vargelleme : Vargellemede kesme hareketi parça tarafından, ilerleme ve talaş kalınlığını ayarlama hareketi ise takım tarafından yapılır[43].

Broşlama : Broşlama (boşaltma) doğrusal kesme hareketi yapan, çok ağızlı çubuk şeklinde bir takımla talaş kaldırma işlemidir[43].

Taşlama : Taşlama, aşındırıcı (abrasif) bir malzemeden yapılan ve kesme kısımlarının geometrisi belli olmayan bir takım ile talaş kaldırma işlemidir. Taşlama, genellikle tornalama, frezeleme, planyalama veya vargelleme işleminden sonra imalat ve yüzey

kalitesini iyileştirmek için uygulanan nihai bir işlemdir. Ancak, bazı hallerde tek başına işlem olarak kullanılabilir[43].

Honlama : Honlama, çok küçük boyutlu (toz şeklinde) aşındırıcı taneciklerden oluşan ve honlama taşı denilen taşla, düşük hızda yapılan çok ince talaş kaldırma işlemidir[43].

Lepleme : Lepleme, taşlanmış yüzeylerde çok küçük hataları düzeltmek, çok iyi bir yüzey kalitesi elde etmek ve birlikte çalışacak iki yüzeyin alıştırlmasını sağlamak amacıyla yapılır. İşlem, aşındırıcı bir malzeme ile düşük hızda ve alçak basınçta gerçekleştirilir[43].

Talaşsız imalat

Döküm : Metal veya alaşımlarının, eritildikten sonra kalıp adı verilen boşlukları tam olarak dolduracak şekilde katılaştırılması suretiyle yapı parçalarının elde edilmesi esasına dayanır [44].

Dövme : Uygun malzemeden parçaları istenilen şekle sokmak ve aynı zamanda malzemeye belirli bir doğrultuda değişik özellikler kazandırmak amacıyla uygulanan bir plastik şekil verme işlemidir. Dövme suretiyle malzemede daha ince kristal taneleri ve daha sıkı bir iç yapı elde edilir [44].

Haddeleme : Malzemeleri, eksenleri etrafında dönen iki silindir (merdane) arasından geçirerek yapılan plastik şekil verme işlemidir. Haddeleme üretim hızı ve sürekliliği ile, işlemin ve ürünün kontrolünün kolay oluşu nedeniyle yaygın şekilde kullanılır [45].

Ekstrüzyon : Silindirik bir metal bloğunun (takoz) bir alıcı (kovan) içinde büyük bir kuvvetle sıkıştırılıp bir kalıptan geçirilerek kesit alanının küçültülmesi işlemidir[45].

Çekme : Metalik bir malzemenin matris adı verilen bir kalıp içinden çekilerek kesitinin küçültülüp boyunun uzatılması işlemidir. Matrisin çıkış ucundan malzemeye bir çekme kuvveti uygulanır ve malzeme matrisin çıkış kesitinde elde edilir [45].

Bükme : Birçok parça, saçların bir veya birkaç yerinden basit şekilde bükülmesiyle şekillendirilir. Bükme işleminde malzemenin dış yüzeyinde germe, iç yüzeyinde sıkıştırma söz konusudur [45].

Sıvama : Dairesel simetriye sahip olan derin parçalar, metalik düz sacın, üretilecek parça şeklindeki dönen bir kalıp üzerine bastırılması yoluyla elde edilir. Bu saç biçimlendirme işlemine sıvama denir [45].

Derin Çekme : Derin çekme işlemi, yassı bir metalik saçtan üç boyutlu derin bir kap elde etme işlemi olarak tanımlanabilir. Bu tür işlemlerde elde edilen ürünün tabanı düzdür [45].

EK 1.2. Geleneksel Olmayan İmalat Yöntemleri (NTM yöntemleri)

Kimyasal NTM: Kimyasal reaksiyonlar ve bazı durumlarda elektrik ya da ısı enerjisi ile yapılan, parça yüzeyinden malzeme kaldırma işlemleridir. Kimyasal işlemlerden en yaygın olan kimyasal aşındırma; genellikle demir, bakır, alüminyum alaşımlarına uygulanan metal parça yüzeyinden çok ince bir tabakayı aşındırmak suretiyle, pürüzsüz, çapaksız, düzgün ve üniform bir yüzey oluşturmayı amaçlayan bir metal yüzey işlemidir. Yüzey aşındırma amacıyla hidroflorik, hidroklorik ve nitrik asit ve bu asitlerin tuzları kullanılır. Kimyasal aşındırma, bir cila işlemi değildir ve parça yüzeyi üzerindeki bozuklukları ve izleri gideremez. Bu prosesde, yüzeyden yaklaşık 0.0005 inchlik bir kısım aşındırılır. Kimyasal aşındırmanın dezavantajı keskin köşelerde ve dış açılmış bölgelerde aşınmanın yoğunlaşmasıdır [46].

Elektro kimyasal NTM: Bu işlemde, hızlı elektrolit akışıyla anodik eritme yapılarak yüzeyden malzeme kaldırılır. Elektrokimyasal NTM ile, parça üzerinde delik açma, bileme ve zımparalama işlemleri gerçekleştirilebilir [3].

Mekanik NTM: Bu işlemde çok yönlü kesme ya da erozyonla parça yüzeyinden malzeme kaldırma işlemi gerçekleştirilir [3].

Isıl (termal) NTM: Yüzeyden malzeme kaldırmak için, malzemeyi eritmek ve buharlaştırmak üzere parçanın belli bölgelerine yüksek sıcaklık verilir [3].

EK1.3. Yüzey İşlemleri

Mekanik temizleme işlemleri

Aşındırıcı (abrasif) temizleme: Metaller, mekanik işlemler sırasında iki işlem arasında bekletilirse üzerlerinde oksitlenme oluşabilir. Üretimden önce bu tür kirleticiler yüzeyden temizlenmelidir. Bunun için, kullanılan metodlardan birisi de aşındırıcı temizlemedir. Bu işlemde, genellikle kum çelik bilya, metal, ince cam vb. maddeler temizlenecek yüzey üzerine püskürtülür [3].

Silindirik son işlem: Bu işlem, metalik yüzeylerde, zımparalama, parlatma, pas giderme ve parçayı son işlemlere ya da montaja hazırlama amacıyla kullanılır[3].

Titreşimli işleme: Titreşimli işleme, üzeri açık tanklarda gerçekleştirilir. İş parçası ve medya (%50-70 aşındırıcı alüminyum oksit, silikon karbür, zımpara ya da çakmak taşı içeren) dakikada 900-3600 devir yapacak şekilde titreşimli bir tank içerisine yüklenir ve temizleme işlemi gerçekleştirilir [3].

Kuşakla aşındırma: Bu işlem, aşındırıcı bir kuşak vasıtasıyla metal parçanın istenilen dereceye kadar zımparalanması işlemidir [3].

Telle fırçalama: Yüksek hızda dönen tel fırça ile çok küçük oranlarda yüzeyden madde kaldırma, yüzey pürüzsüzleştirme ve yüzey temizleme amacıyla kullanılan bir işlemdir [42].

Perdahlama: Bu işlemde, dönen bir kumaş üzerine giydirilmiş ince bir aşındırıcı malzeme ile parça yüzeyi temas ettirilerek cilalama işlemi gerçekleştirilir [2].

Elektrocila: Kimyasal ya da elektrolitik yöntemlerle yapılabilen metal cilalama işlemi, metalik yüzeyin pürüzsüzleşmesini ve parlamasını sağlamak üzere çoğunlukla alüminyum, nikel, çelik ve bakır alaşımlara uygulanan bir yüzey son işlemidir [47].

Kimyasal temizleme işlemleri

Solventle temizleme: Metal işlemede en yaygın kullanım alanına sahip temizleme yöntemlerinden birisidir. Metal parçaların üzerinden yağlı bileşiklerin bir çözücü vasıtasıyla giderilmesini amaçlayan bu yöntem, soğuk temizleme, iki fazlı temizleme ya da buharla temizleme (vapor degreasing) şeklinde olabilir. Soğuk temizleme, ısıtılmamış ya da ısıtılmış halojen içermeyen çözücülerin kullanıldığı en yaygın yöntemdir. İki fazlı temizlemede, hem su hem de solventle parça yüzeyi temizlenir. Parça, öncelikle su banyosundan geçirilir, ardından bir solvent spreyle temizlenir. Buharlı temizlemede parça, içerisinde kaynama noktasına kadar ısıtılmış halojenli çözücü bulunan tankda temizlenir [2]. Metal işlem sanayiinde yaygın olarak kullanılan solventler; 1,1,1 triklor etan, perklor etan, 1,1,1 triklor etilendir. 1,1,1 tri kloretan diğer solventlere göre daha az toksik ve ozon tabakasına daha az zararlı olanıdır. Bununla beraber tüm organik bazlı solventlerin ozon tabakasına zarar verdiği bilinmekte ve bu solventlerin yerine kullanılacak su bazlı solventler, aerosol bazlı alkoller, hidrokarbonlar, terpenler gibi alternatif temizleyicilerin araştırılması artmaktadır.[48].

Alkali/asit temizleme ve sıyırma: Su bazlı temizleyicilerin kullanıldığı bu işlemlerde, organik solventlerde olduğu gibi, parça üzerindeki kirlilik ve yağlar parçalanarak giderilir. Alkali temizleme çözeltileri; sodyum fosfat tuzları, karbonatlar, silikatlar ve hidroksitler gibi ana bileşenler (builder) ve deterjan, sabun gibi yüzey aktif maddelerden meydana gelir. Ayrıca, anti oksidantlar ve stabilizantlar (dengeleyiciler) de içerebilir. Alkali temizleme ve sıyırmanın amacı, metal parçaların üzerinden kirlerin giderilmesi, eski kaplama ve boyaların yüzeyden sıyırılmasıdır. Asidik temizleme çözeltileri ise, mineral asitleri (nitrik, sülfirik ve hidroklorik), organik asitleri (sülfamik, asetik, oksalik ve srasilik), deterjanlar, kompleks yapıcı ayıraçlar ve bazı durumlarda az miktarda çözücüler içerebilir. Çok güçlü asidik temizleyicilerin içerisinde siyanür bulunabilir. Asidik temizleme, parça yüzeyindeki yağ, pas, is lekelerini temizlemek amacıyla kullanılır. Bazı tesislerde alkali/asit temizleme işlemleri elektrokimyasal olarak da yapılabilir [2].

Aşındırma yoluyla temizleme ve sıyırma : Aşındırıcı temizleyiciler parça yüzeyinden pas, oksitler, pürüzler, eski kaplamalar ve boya gidermek ve pürüzsüz bir parça

yüzeyi oluşturmak amacıyla kullanılır. Tipik aşındırıcılar, bir yağ veya su bazlı çözeltiyle karıştırılmış alüminyum oksit ve silikon karbür kimyasallarıdır [2].

Ultrasonik temizleme: Ultrasonik temizleme, metal parça yüzeyinde çok küçük partiküllerin bile giderildiği, yüksek kalitede temizlemenin istendiği koşullarda, transducer banyo içerisinde uygulanan temizleme işlemidir [3].

Suyla temizleme: Suyla temizleme, bütün diğer temizleme prosesleriyle entegre bir işlemdir. Temizleme işlemlerinin öncesinde ve sonrasında parçalar, su ile yıkanarak işlemin etkinliği artırılır. Yıkama işlemi, bir su tankı içerisinde bekletme ya da su tabancası ile tazyikli yıkama şeklinde olabilir [2].

Kaplama işlemleri:

Metalik kaplama, uygulandığı metalde parçanın yüzey özelliklerini değiştiren bir tabaka oluşturma işlemidir. Uygulanan tabaka, parçanın yüke dayanıklılığını ve korozyon mukavemetini artırır. Yaygın olarak kullanılan kaplama maddeleri alüminyum, kurşun, kalay, çinko veya bu elementlerin kombinasyonudur [2].

Boyama: Boyama işlemi, son üründe istenen özelliklere bağlı olarak, metal parçanın temizlenmesi ve işlenmesinin ardından uygulanan bir yüzey işlemdir. Bu işlemde yaygın olarak solvent bazlı boyalar kullanılır [2].

Kurutma: Parça üzerine kaplanan boya, emay gibi malzemenin ortalama 135-232 °C arasındaki sıcaklıklardaki fırınlarda kurutulması işlemidir [3].

Sıcak daldırma ile kaplama (hot-dip coating): İşlenmiş metal ürünlerinin bir erimiş metal banyosu (çinko, kalay, alüminyum veya kurşun-kalay alaşımı) içerisine direkt olarak daldırılması suretiyle yapılan ve ürünün korozyona dayanıklılığını arttırmayı amaçlayan bir işlemdir [3].

Kimyasal dönüştürme: Kimyasal dönüştürme ile kaplamada metalin yüzeyi, kimyasal işlemler vasıtasıyla ametalik ve yalıtkan bir yüzeye dönüştürülür. yaygın olarak kullanılan dönüştürme kaplamaları, kromat ve fosfat kaplamalarıdır. Alüminyum, magnezyum, çinko ve bakır parçalara uygulanan kromat kaplama, paslanmayı önler ve parça yüzeyine uygulanacak boyanın daha iyi yapışmasını sağlar. Kromatlama banyoları, krom +6, mineral asit(sülfürik ya da nitrik asit) ve bazı durumlarda değişik organik-inorganik aktive edici bileşikler içerir. Genellikle, çelik ve çinko parçalara uygulanan fosfatlama işlemi ise korozyona dayanıklılık ve fosfat kristallerinin absorblama özelliklerinden dolayı metal yüzeyine boyanın, yağın ve verniğin daha iyi yapışmasını sağlar. Fosfatlama banyoları, fosforik asit içerisinde çözünmüş metal fosfatlardan (demir, çinko ve mangan fosfat) oluşur [2].

Oksitleme: Çelik parçaların yüzeylerinin paslanmaya karşı dayanıklılığını artırmak üzere yüzeye demir oksit (Fe_3O_4) kaplama işlemidir [3].

Anotlama: Anotlama, korozyona dayanıklılığı arttırmak üzere parça yüzeyinde elektrokimyasal olarak bir oksit film tabakası oluşturma işlemidir [2].

Elektroliz kaplama: Elektroliz işleminde, kompleks kaplama çözeltileri (metal tuzları, indirgeyici bileşenler, kompleks yapıcı bileşenler, pH ayarlayıcılar ve dengeleyiciler) parça yüzeyine uygulanır.[2].

Porselen vernikleme: Metal yüzeyinin korozyona, yıpranmalara ve yüksek sıcaklığa dayanıklılığını arttırma, elektriksel izolasyon sağlama ve dekoratif renk oluşturma amaçlarına yönelik olarak yapılan bir yüzey işlemidir [3].

Mekanik kaplama: Bilyalı kaplama ya da darbeli kaplama olarak da bilinen mekanik kaplama, silindirik son işlemin bir uyarlamasıdır. Bu işlemde, kaplamalar yumuşak ve dövülebilir metal tozu, kaplamanın yapılacağı yüzey üzerine soğuk kaynak işlemi uygulanarak hazırlanır [2].

Elektrokaplama işlemleri: Elektrokaplama, metal parçalarının dayanıklılığını, korozyona direnci ve yapışma özelliğini arttırmak ve aynı zamanda parçanın görüntüsünü iyileştirmek amacıyla, çoğunlukla demir ya da bakır alaşımlara uygulanan, bir yüzey işlemidir. En basit anlamıyla kaplama, metalde pozitif anottan negatif katoda, Faraday kanunları doğrultusunda transferdir. Çözünen metaller, düşük voltajlı elektrik akımında ve yüksek amperde hareket ederler. İyonlar, kaplanacak parça vasıtasıyla katoddaki elektronlara ulaşır. Kaplanacak parçalar, bir baştan bir başa delikli fiçılara yerleştirilir ve kaplamaya hazırlık için bir seri kimyasal çözeltiye daldırılır. Parçalar, başarılı bir kaplama için öncelikle çok itinalı bir şekilde temizlenir. Tipik bir kaplama hattı suda bekletip yıkama, elektrolitik yıkama, soğuk su ile yıkama, kaplama banyosu, yıkama sularını toplama tankı, soğuk su ile yıkama, kromat konversiyon kaplama (tüm metallere uygulanmaz), sıcak su ile yıkama, kurutma basamaklarını içerir [46].

Bakır, krom, nikel, gümüş, çinko, kalay ve kromat kaplama yaygın olarak uygulanan kaplama türleridir. Ayrıca, altın, demir, paladyum, platin, rodyum, rutenyum kaplama gibi nadir olarak kullanılan kaplama türleri de mevcuttur. Metalik yüzeye uygulanan kaplama çeşidine bağlı olarak kaplama banyolarının içerikleri ve miktarları da değişiklikler gösterir (Bkz Çizelge EK 1.1) [2].

Çizelge EK 1.1. Yaygın olarak kullanılan elektrokaplama banyosu içerikleri [2]

Elektrokaplama banyosu	İçerik
Pirinç ve bronz	bakır siyanür, çinko siyanür, sodyum siyanür, sodyum karbonat, amonyak, rochelle tuzu
Kadmiyum siyanür	kadmiyum siyanür, kadmiyum oksit, sodyum siyanür, sodyum hidroksit
Kadmiyum floroborat	kadmiyum floroborat, floroborik asit, borik asit, amonyum floroborat, licorice
Bakır siyanür	bakır siyanür, sodyum siyanür, sodyum karbonat, sodyum hidroksit, rochella tuzu
Bakır floroborat	bakır floroborat, floroborik asit
Asit bakır sülfat	bakır sülfat, sülfirik asit
Bakır pirofosfat	bakır pirofosfat, potasyum hidroksit, amonyak
Florür modifiyeli bakır siyanür	bakır siyanür, potasyum siyanür, potasyum florür
Krom	kromik asit, sülfirik asit
Florür katalizli krom	Kromik asit, sülfat, florür

EK 2. TEI 'DE ATIK YÖNETİMİ

EK 2.1. Katı Atıklar

Tesiste üretimden ve üretim dışı diğer faaliyetler sonucunda açığa çıkan tür ve miktar Çizelge EK 2.1'de verilen katı atıklar oluşmaktadır.

Çizelge EK 2.1. TEI' de katı atıkların kaynakları, tür ve miktarları

Faaliyet Birimi	Oluşan Atıklar	Miktar
Talaşlı İmalat&Fabrikasyon	Metal Talaşları	187 ton/yıl
Satın Alma&Satış&Ofis	Kağıt ve Ahşap Atıklar	65 ton/yıl
Yemekhane&Lojmanlar&Ofis	Evsel Nitelikli Atıklar	6240 ton/yıl
Atıksu Arıtma Tesisi	Atık Çamurlar	2 ton/yıl
Kimyasal İşlemler	Boş Variller	100 adet

İmalatta oluşan metal talaşları günlük olarak talaş arabaları ile herbir tezgahtan ayrı ayrı toplanır. Daha sonra forkliftle ara depolama alanına getirilerek büyük talaş arabalarına aktarılır. Bu alandan talaş pres ve stok sahasına taşınır. Saha 264 m²'lik kapalı bir alandır. Burada bir seferde 90 kg talaş sıkıştırma kapasitesine sahip 6 adet pres bulunur. Her presin günlük kapasitesi 4 ton/gün' dür (Bkz. Şekil EK 2.1). Ayrı ayrı gruplandırılan talaş atıkları presten geçirilerek hacmi azaltılır. Son olarak 90 kg'lık talaş torbalarına doldurulur ve torbalar talaş içeriklerine göre etiketlenerek satışa hazır halde, depo sahasında depolanır ve aylık periyotlarla özel bir firmaya satılır (Bkz Şekil EK 2.2). Satılan talaşlar ve miktarları Çizelge EK 2.2' de verilmiştir.

Çizelge EK 2.2 TEI' de imalat faaliyetleri sonucunda oluşan metal talaşları ve miktarları

Talaşlar	Miktar (ton/yıl)
Inconel	90
Titanyum	4
Waspaloy	49
Rene 88	12
Rene 95	12
Mix-Karışık	20

Kağıt ve ahşap esaslı atıklar, günlük olarak toplanarak, forkliftle Kağıt ve Ahşap Atık Deposu'na aktarılır. Bu alan, 1100 m², tabanı betonla kaplı ve çevresi 1.40 m fensle çevrili bir sahadır (Bkz.Şekil EK 2.3). Bu depoda biriktirilen atıklar 10 günlük periyotlarla özel bir firmaya satılır. Satıştan elde edilen gelir fabrika sahasının ağaçlandırılmasında kullanılmaktadır. Satılan miktar 65 ton/yıl'dır.

Evsel nitelikli atıklar, fabrika sahası içerisinde bulunan 8 m³'lük 5 adet çöp tankında depolanarak Eskişehir Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı bir firma tarafından haftada 3 seferlik periyotlarla alınır ve Şehir Çöp Depolama Sahası'nda depolanır.



Şekil EK 2.1. TEI' de kullanılan talaş presleri



Şekil EK 2.2. TEI' de preslenip hacmi azaltılmış talaşlar.



Şekil EK.2.3. TEI atık kağıt depolama alanı

Atıksu Arıtma Tesisi'nde filterpresten 1-2 aylık periyotlarla alınan atık çamur, fabrika sahası içinde 9.5 m³'lük 2 adet tabanı sızdırmaz beton ile kaplı üzerinde raylı kapak sistemi bulunan ara depolarda depolanır. Nihai olarak İzaydaş tesislerine verilerek düzenli deponi alanına gönderilir.

Özel proseslerde kimyasal madde tüketimi (asit, kostik, demir 3 klorür gibi) sonucunda oluşan boş variller 2-3 aylık periyotlarla özel bir firmaya satılmaktadır. Çıkan varil miktarı yılda ortalama 100 adettir.

EK 2.2. Sıvı Atıklar

Tesiste özel proseslerde oluşan atıksular, Kimyasal Atıksu Arıtma Sistemi'nde arıtılarak, deşarj kriterleri sağlandıktan sonra Eskişehir Kanalizasyonu Sistemi'ne verilir.

Talaşlı imalat ve fabrikasyon tezgahlarında oluşan kullanılmış kesme sıvıları, 1-2 günlük periyotlarla atıksu arıtma sistemine gelmektedir. Burada yağ-su fazı ayrıldıktan sonra atık bor yağ varillere aktarılmakta ve üzeri etiketlenen variller, kağıt atık depo sahasının bir bölümünde depolanmaktadır (Bkz. Şekil EK 2.4). Bundan önceki dönemlerde değişik amaçlara yönelik olarak kullanılmak veya tekrar rafinasyonu sağlanarak küçük çaplı tesislerde ikinci kalitede yağ olarak kullanılmak üzere özel firmalara verilen atık bor yağ, Ocak 1998' den itibaren İzaydaş tesisine yakılarak nihai bertaraf edilmek üzere gönderilmektedir.

Kimyasal prosesler sonucu oluşan kirli asitler ve tank boşalmaları arıtma tesisine gelmektedir. Çıkma yağlar ve kirli trikloreten, biriktirilip etiketlenerek atık bor yağları ile birlikte depolanmakta ve tesis koşullarında bertarafı mümkün olmayan bu atıklar, İzaydaş tesisine gönderilmektedir.



Şekil EK 2.4. TEI yağ ve atık kimyasalları depolama sahası

EK 2.3. Gaz Atıklar

Tesiste, yakıt olarak doğal gaz kullanılmaktadır. Kullanılan gaz miktarı 790 000 m³/yıl dır. Doğal gazın kullanıldığı, üçü sosyal tesislere diğer üçü fabrikaya ait olmak üzere 6 adet kazandan atmosfere açılan 6 baca mevcuttur.

Krom-Nikel kaplama bölümünde, kaplama banyosu buharlarını toplayıp atmosfere veren 2 adet baca, kimyasal aşındırma prosesinde ise asit buharlarını alkali gaz yıkama (scrubbing) sonrasında atmosfere veren bir adet baca bulunmaktadır. TEI' deki atmosfere açılan bacalara ait özellikler Çizelge EK 2.3' de verilmiştir.

Tesiste ayrıca işyeri ortamı havasını temizleyen otomatik kontrollü bir havalandırma sistemi bulunmaktadır.

Tesis, Hava Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği uyarınca almakla yükümlü olduğu emisyon izni için 1997 yılı içinde gerekli hazırlıklara başlamış, emisyon ölçümlerini yaptırmıştır. ANAÇEVREM tarafından verilecek emisyon raporu doğrultusunda, 1998 yılının ilk ayları içerisinde emisyon izninin alınması hedeflenmektedir.

Çizelge EK 2.3. TEI tesislerine ait bacalar ve özellikleri

Baca No	Bacaya Bağlı Ünite	Kullanılan Yakıtın Türü	Yükseklik (m)	Baca İçi Çapı (cm)	Debi (Nm ³ /saat)	Baca Gazı Sıcaklığı (°C)
1	Kazan 1	Doğal gaz	20	70	238	160
2	Kazan 2	Doğal gaz	20	70	238	160
3	Kazan 3	Doğal gaz	20	70	238	160
4	Kazan 4	Doğal gaz	20	70	238	160
5	Kazan 5	Doğal gaz	20	70	380	160
6	Kazan 6	Doğal gaz	20	70	380	160
7	Kim. Aşındırma	-	12	60	0-35	30
8	Krom-Nikel	-	10	50	0-20	30
9	Krom-Nikel	-	10	50	0-20	30

EK 2.4. TEI' nin Çevre Yönetimi Politikaları

Modern teknolojilerle uçak motor parçaları imalatı alanında faaliyetlerini sürdürmekte olan TEI' de çevre kalitesinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalara da önem verilmekte, amaca yönelik yatırımlardan kaçınılmamaktadır. Tesisin yabancı ortaklı (General Electric) bir firma olması, çevre kalitesine verilen önemi bir kat daha arttırmaktadır. Her yılın Şubat ayında, Amerika' da GE tarafından gerçekleştirilen çevre kalitesi değerlendirme toplantılarına tesis yetkilileri katılarak tesiste o yıl içerisinde çevre kalitesine yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmaları sunmakta, bir sonraki yılın hedefleri belirlenmekte ve GE' nin diğer tesislerindeki konu ile ilgili faaliyetler incelenmektedir. Ayrıca, tesis, 2 yılda bir GE' den gelen yetkililer tarafından çevre kalitesine yönelik olarak, denetlenmekte ve tesisin bu konudaki eksikleri belirlenmektedir.

TEI' de gerçekleştirilen imalat kalitesinin iyileştirilmesine yönelik olan 6 Sigma Proses İyileştirme çalışmalarının, çevre ile ilgili uygulamaları başlamıştır. Tesisin hedefi çevre kalitesinde de imalatta olduğu gibi 6-Sigmalık kaliteye ulaşmaktır.

Tesis, araştırma ve geliştirme çalışmalarında üniversite-endüstri işbirliğine önem vermekte ve gerçekleştirdiği işbirliği programı ile, yüksek lisans öğrencilerine, tesis ile ilgili projeler vererek, proje devam ettiği süresince TEI' de çalışma imkanı sunmaktadır. Çevre kalitesinin iyileştirilmesi konusunda da, Anadolu Üniversitesi ile bu tür bir işbirliği yapılmış ve tesisin atıksu arıtma sistemlerinde performans iyileştirilmesine yönelik olan bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir.

Çevre kalitesine yönelik olarak gerçekleştirilen faaliyet ve yatırımlarla ISO 14000 Çevre Yönetim Sistemi için alt yapı hazırlanmaya çalışılmakta, 1998 yılı içerisinde gerekli alt yapının oluşturulmasının ardından, 1999 yılında ISO 14000 belgesinin alınması hedeflenmektedir.

EK 3 TEI'DE SU TÜKETİMİ BELİRLEME ÇALIŞMASI

Tipik bir metal işlem sanayii olan bu tesisde, yoğun bir su tüketimi olmamakla birlikte, en fazla su tüketilen ve dolayısıyla atıksu oluşturma potansiyeli fazla olan birimler, daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi parçaya yüzey işlemlerinin (alkali temizleme, kimyasal aşındırma, makro aşındırma, krom kaplama ve nikel kaplama) ve çatlak kontrol testlerinin uygulandığı özel proseslerdir. Bu proseslerde su tüketimi; işlemler arasında parçanın su ile yıkanması sonucunda meydana gelmektedir. Örneğin;

- a) parçanın alkali temizleme tankındaki temizleme çözeltisi içine daldırılma işleminin öncesinde ve sonrasında,
- b) kimyasal aşındırma işleminin ardından,
- c) makro aşındırma işleminde, alkali temizleme sonrasında, makro aşındırma ve asitle ağartmanın ardından,
- d) FPI ünitesinde, penetran ve emülsüfayer uygulamalarının ardından,
- e) krom ve nikel kaplama ünitelerindeki kaplama işlemleri arasında,
- f) krom ve nikel kaplama ünitelerinde yıkama işlemlerinden önce, yıkama tankları üzerindeki yağı ve köpüğü almak üzere ,

yapılan parça yıkama ve tank temizleme işlemleri sırasında su tüketimi gerçekleşmektedir.

Parça yıkama işlemleri, parçanın yıkama tankı içerisine daldırılması ve ardından tazyikli su tabancası ile yıkanması şeklinde olur. Ayrıca bu proseslerde taşma ve su tabancasının debisine bağlı su tüketimiyle beraber, belirli periyotlarda gerçekleştirilen (yıkama tanklarındaki su kirlendikten sonra) tank boşaltımları da göz önünde bulundurulmalıdır.

TEI' de özel proseslerden atıksu arıtma tesisine bağlanan su hatlarında, belli bir debi ölçüm sistemi ya da sayaç bulunmadığından arıtma tesisine gelen su miktarı net olarak bilinmemektedir. Su miktarının belirlenebilmesi amacıyla yönelik olarak, bir yıllık periyodu içeren (aylar bazında) veriler kullanılarak ve aşağıdaki adımlar izlenerek bir çalışma gerçekleştirilmiştir:

- 1) Öncelikle, özel proseslerde işlem gören parçalar belirlenmiş ve bu parçalar, büyüklüklerine ve işlem detaylarına bağlı olarak fabrikasyon ve makina parçaları olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. Fabrikasyon parçaları büyük parça ve küçük parça olmak üzere iki alt gruba, makina parçaları da küçük şaft, büyük şaft ve diskler, küçük parça, büyük parça olmak üzere dört alt gruba ayrılmıştır.
- 2) Özel proseslerde kullanılan her bir su tabancasının debilerini hesaplayabilmek üzere debi ölçümleri gerçekleştirilmiş ve tesisin çeşitli birimlerinde kullanılmakta olan su tabancalarının debileri Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge EK3.1. Tesiste su tabancası kullanılarak yıkama yapılan birimler ve tabancaların su püskürtme debileri

Su tabancası kullanılarak yıkama yapılan birimler	Kullanılan su tabancası debisi (L/s)
Alkali temizleme	0.2
Kimyasal aşındırma	0.27
Makro aşındırma	0.2
FPI	0.1
Nikel kaplama	
1 nolu yıkama tankı	0.16
2 nolu yıkama tankı	0.15
3 nolu yıkama tankı	0.27
4 nolu yıkama tankı	0.27
Krom kaplama	
1 nolu yıkama tankı	0.3
2 nolu yıkama tankı	0.16
3 nolu yıkama tankı	0.18

- 3) Su tüketim verilerini belirlemek üzere, parça grupları arasından örnek parçalar seçilmiş (her bir gruptan 5 adet) ve proses başına 2-3 gün olmak üzere, örnek parçalar prosese girdiğinde proses takip edilmiştir. Veri toplama aşaması olan bu aşamada, örnek parça yıkılırken süre tutulmuş ve parçaların ortalama yıkama süreleri çıkarılmıştır.
- 4) Su tabancası püskürtme debileri ile parçanın yıkama süresi çarpılarak, bir kez yıkama sonucunda tüketilen su miktarı litre olarak belirlenmiştir.

Detaylı bir parça olan “swirl frame” helikopter parçasının alkali temizlenmesi sırasında tüketilen suyun hesaplanış yöntemi örnek olarak verilmiştir.

Yıkama süresi: 112 sn

Tabancanın su püskürtme debisi: 0.2 L/sn

Bir kez yıkamada tüketilen su miktarı: $112 \text{ s} * 0.2 \text{ L/s} = 22.6 \text{ L}$

- 5) Örnekleme çalışması yukarıda bahsedildiği şekliyle, çalışmanın başında belirlenmiş olan her bir parça grubundan 5 örnek için yapılarak tamamlanmıştır. Ölçüm verilerinden faydalanılarak, her bir gruptaki veriler için minimum, maksimum ve ortalama su tüketim değerleri belirlenmiştir.

Tesiste en fazla su tüketiminin görüldüğü kimyasal temizleme ve FPI birimlerinde farklı türdeki parçalar için belirlenmiş olan su tüketim miktarları Çizelge EK 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge EK 3.2. Tesisin bazı birimlerindeki parça başına su tüketim seviyeleri

Parça Grubu	Kimyasal temizleme prosesinde parça başına su tüketimi (L)			FPI prosesinde parça başına su tüketimi (L)		
	minimum	maksimum	ortalama	minimum	maksimum	ortalama
A0	35	48	42	49	91.4	70
A	22.6	29.4	25.5	17.2	58.2	37.7
B	3.6	12	6.7	12.2	34.6	20
C	6.8	10.8	8.5	21	27	24
D	7.6	30.4	17.7	30.6	44.1	36.7
E	1.2	5.6	3.4	3	11	8.3
F	12	38	19.8	15.5	16.8	16.2

Parça grupları:

Ao: Büyük fabrikasyon parçası

A: Orta fabrikasyon parçası

Bo: En küçük fabrikasyon parçası

C: Küçük şaftlar

D: Büyük şaft ve diskler

E: Küçük makina parçaları

F: Büyük makina parçaları

6) Verilerin toplanması aşamasından sonra, Eylül 96-Ağustos 97 zaman dilimini içine alan bir yıllık periyotta her bir prosesden geçen parça türü ve sayısı çıkartılmıştır. Bu amaca yönelik olarak tesisin Bilgi İşlem bölümü bir bilgisayar programı hazırlayarak, fabrikanın bilgi sisteminden istenen verilerin; işlemin yapıldığı aylar, work station numarası, parça numarası ve parça adedinin yer aldığı liste halinde çıkarılmasını sağlamıştır. Alınan listenin küçük bir örneği Çizelge EK 3.3' de verilmiştir.

Çizelge EK 3.3. Aylar bazında işlem gören parça listesi

Aylar	İşlem numarası (work station no)	Parça numarası	Adet
01	13007	1276M30PO1	21
01	13007	1276M30PO3	36
01	13007	1318M20X909	294
01	13007	1318M21G04T	34
01	13007	1318M21X909	190
01	13007	1318M22X909	294
01	13007	1318M23X909	684
01	13007	1364M37G02T	7
01	13007	1385M20P01T	17

*13007: Alkali temizleme prosesi

- 7) Alınan listedeki parçalar, daha önce yapılan gruplandırmaya bağlı olarak sınıflandırılmış ve Excel programı yardımıyla su tüketim verileri ile parça sayıları çarpılarak, aylar bazında ve proses bazında su tüketim miktarı çıkarılmıştır. Kullanılan su tüketim verileri Çizelge EK 3.4' de verilmiştir.
- 8) Parça başına tüketilen su miktarının çıkarılmasının ardından, proseslerdeki yıkama tanklarının su hacimleri ve tamamen boşaltım periyotları çıkarılmıştır. Daha önceki hesaplanan su tüketim miktarlarına tank boşaltımları ilave edilerek net su tüketim miktarı belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar, Şekil 7.2, 7.3 ve 7.4' de verilmiştir.

Çizelge EK 3.4 Su tüketimi ölçüm verileri

Parça başına tüketilen su miktarı ortalaması (L)						
PARÇA GRUBU	MAKRO AŞINDIRMA	ALKALI YIKAMA	KİMYASAL AŞINDIRMA	FPI	KROM KAPLAMA	NIKEL KAPLAMA
A0		42		70		54
A	57	25.5	4.5	37.7		36
B0				5		0.1-0.5-0.6-2.2
B		6.7	3	20		2.7-3.1-4.3-5.4-6.5-7.6-9
C	60	8.5		24	160	
D		18	5	36.7		
E	40	3.4		8.3		
F	70	19.8	6.5	16.2		209.5-419
A0: Büyük fabrikasyon parça			C: Küçük şaftlar			
A: Orta fabrikasyon parça			D: Büyük şaft ve diskler			
B: Küçük fabrikasyon parça			E: Küçük makina parçaları			
B0: En küçük fabrikasyon parça			F: Büyük makina parçaları			

EK 4. TEİ ATIKSU ARITMA TESİSİNDE İŞLETME PRENSİPLERİ VE SÜREKLİ KONTROL İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Kesikli ve sürekli olarak iki grup halinde gelen endüstriyel atıksuları arıtmak ve S.K.K.Y.' de belirtilen kanalizasyona deşarj kriterlerini sağlamak amacıyla kurulmuş olan bu atıksu arıtma tesisinin, diğer üretim tesisleri gibi sürekli kontrol edilmesi ve gerekli bakımların yapılması gerekmektedir. Ancak, bu sayede tesiste, yüksek verim, istenen çıkış suyu kalitesinin sürekliliği ve en ekonomik çalışma şartları sağlanabilir.

Kaliteli ve sürekli işletim amacıyla öncelikle; atıksu karakterizasyonu ve çıkış suyu kalitesini sürekli analiz edebilmek amacıyla tesise; bir laboratuvar sistemi kurulmuştur (Bkz.Şekil 4.1). Laboratuvara ilk etapta atıksu analizleri için spektrofotometre, termoreaktör (KOI analizleri için), deney kitleri, AKM deney düzeneği ve diğer laboratuvar malzemeleri alınmıştır. Kurulan bu laboratuvar sistemi ile, atıksu arıtma tesisine gelen atıksuyun karakterizasyonundaki değişimler izlenebilecek, çıkış suyunda, tesis atıksuyunda yoğun olan toksik nitelikli ağır metallerin en az haftada bir kez olmak üzere sık sık analizi yapılabilecek ve ayrıca bu laboratuvar ayda bir yapılacak tesisin sorumlu olduğu tüm standart parametreleri içeren analizlerle Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve ESKİ (Eskişehir Su ve Kanalizasyon İdaresi) Yönetmeliği uyarınca zorunlu tutulduğu yılda iki kez yaptırılması gereken resmi atıksu analizleri için bir otokontrol sistemi olacaktır.



Şekil 4.1. Atıksu arıtma tesisi laboratuvarı

Arıtma tesisinin işletiminin en iyi şekilde sağlanması ve düzenli kontrolü için, arıtma tesisi işletim ve bakım talimatnameleri hazırlanmıştır. Ayrıca bu talimatların düzenli bir şekilde uygulanabilmesi için işletmeciye yardımcı olması hedeflenen ve aşağıda tanımlan atıksu arıtma tesisi kontrol çizelgeleri hazırlanmıştır.

- 1) **Arıtma kimyasalları kontrol çizelgesi:** Arıtma tesisinde kullanılan kimyasalların düzenli kontrolü ve eksik olanların zamanında hazırlanmasını amaçlar (Bkz.Çizelge EK4.1).
- 2) **Arıtma kimyasalları talep çizelgesi:** Eksik kimyasalların zamanında talep edilmesini ve kullanılan bu kimyasalların işletmeye senelik maliyetlerinin çıkarılmasını amaçlar (Bkz.Çizelge EK 4.2).
- 3) **pH problemleri kalibrasyon takvimi:** Arıtma tesisindeki atıksu tanklarında pH değerinin sürekli olarak ölçülebilmesini sağlayan pH problemlerinin yanlış ölçümlere meydan vermemek üzere kalibrasyonlarının yapılması, tesis için en acil konulardan birisidir. Bu amaca yönelik olarak, on günlük periyotlara bölünerek hazırlanan takvimde belirtilen tarihlerde problemlerin kalibrasyonu yapılır ve değişmesi gereken (standart sapmayı aşmış, patlamış) problemler değiştirilir (Bkz.Çizelge EK 4.3)
- 4) **Günlük kontrol çizelgesi:** Atıksu arıtma tesisinin, tüm mekanik, elektronik aksamalarının, kimyasal maddelerinin, havuz ve tanklarının günlük olarak kontrol edilmesini ve böylece gerekli görülen işlemlerin yapılmasını ve olası tehlikelerin önlenmesini amaçlar (Bkz.Çizelge EK 4.4).
- 5) **Atık çamur kontrol çizelgesi:** Arıtma çamurunun suyunun alınmasında kullanılan filtrepresin zamanında boşaltılması ve arıtma tesisinden çıkan atık çamur miktarının kaydının tutulması amacıyla hazırlanmıştır (Bkz.Çizelge Ek 4.5).

1.İŞLETME TALİMATNAMESİ

Amaç: Arıtma tesisinin işlevini tam olarak yerine getirmesini sağlamak üzere en iyi şekilde işletilmesi ve arıtma tesisi çıkış suyu kalitesinin Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği' nde istenen standart değerlerde olmasını ve bu koşulların sürekliliğini sağlamak.

TALİMATLAR

Kimyasallar

- 1) Kimyasal madde stoklarının tesbit edilmesi ve eksiklerin tamamlanması
- 2) Kimyasalların MSDS 'lerine uygun olarak çevreye zarar vermeyecek şekilde hazırlanması ve depolanması
- 3) Kimyasal dozlama tanklarının zamanında ve prosedüre uygun olarak hazırlanıp doldurulması
- 4) Hazırlanan kimyasallar için kayıt tutulması

Elektrotlar ve Seviye Ölçüm Cihazları

- 1) pH elektrotlarının en geç iki haftada bir temizlenerek kalibrasyonunun yapılması
- 2) mV elektrodunun ayda bir kez kalibrasyonunun yapılması
- 3) Değiştirilmesi gereken elektrotların değiştirilmesi
- 4) Yapılan işlemlerin kalibrasyon takvimine göre kayıt edilmesi
- 5) Seviye ölçüm cihazlarının ayda bir kez temizliklerinin yapılması
- 6) Fitrepres berrak su akma kanalı ve buradaki seviye ölçüm cihazının haftada bir kez çamurlardan temizlenmesi

Pompalar

- 1) Pompaların çalışır durumda olup olmadığının günlük olarak kontrol edilmesi
- 2) Manuel çalışan pompaların açık kalmasının ve hava yapmasının önlenmesi

Tanklar

- 1) Tank içerisindeki filtrelerin günlük olarak temizlenmesi
- 2) Karıştırıcıların çalışır durumda olup olmadığının günlük olarak kontrol edilmesi
- 3) Tanklara gelen havalandırma sisteminin her zaman devrede olması

Havuzlar

- 1) Havuz diplerinde birikmiş çamur ve kireç artıklarının ayda bir kez temizlenmesi
- 2) Çamur yoğunlaştırma ve konsantre havuzu filtrelerinin ayda bir kez temizlenmesi
- 3) Kışın havuzların dondan korunması

Atık Çamur

- 1) Filtrepres dolduğunda önce basınçlı buhar ile kurutulup ardından çamurun boşaltılması
- 2) Çıkan çamur miktarının tartılması
- 3) Atık çamurun torbalanması ve etiketlenmesi
- 4) İlgili çizelgede kayıtların tutulması
- 5) Atık çamurun depolanma şartlarına uygun olarak depolanması
- 6) Depoda biriken çamurun altı aylık periyotlarla nihai bertaraf tesisine gönderilmesi

Laboratuvar

- 1) Arıtma işlemi tamamlanan suda, kritik parametrelerin anında ölçüm kitleriyle analiz edilmesi
- 2) Arıtma tesisi çıkış suyunda haftalık olarak KOI, krom, nikel ve sülfat analizlerinin yapılması
- 3) Arıtma tesisi çıkış suyunda aylık periyotlarda, kanalizasyona deşarj standartları uyarınca S.K.K.Y. Tablo 25' de istenen tüm parametrelerin analizlerinin yapılması
- 4) Yapılan tüm analiz sonuçlarının kayıt edilmesi ve raporlanması
- 5) Analiz için gerekli olan eksik malzeme ve deney kitlerinin zamanında tamamlanması
- 6) Laboratuvar malzemelerinin temiz kullanılması.

Etiketleme

- 1) Arıtma tesisine varille getirilen bütün atıkların etiketlenmesi ve kaydının tutulması
- 2) Arıtma tesisinde kimyasal maddelerin depolandığı varil ve torbaların etiketlenmesi
- 3) Tesisten çıkan ve depolama alanına gidecek olan yağ ve atık çamur gibi atık varil ve torbalarının etiketlenmesi
- 4) Arıtma tesisi çıkış suyundan alınan numunelerin etiketlenmesi

Genel

- 1) Arıtma tesisine aşırı yüklenilmesini ve kapasitesinin aşılmasını önlemek üzere, tesise su veren özel proseslerdeki imalat programını takip edilmesi atıksu kaynaklarının günlük olarak kontrol edilmesi
- 2) Kumanda panosu yazıcısının çalışıp çalışmadığının günlük olarak kontrol edilmesi
- 3) Tesisin temizliğine dikkat edilmesi, günlük olarak temizlenmesi ve on beş günlük periyotlarla genel temizlik yapılması
- 4) Genel iş güvenliği ve işçi sağlığı kurallarına uyulması
- 5) Tesiste yapılan her türlü çalışmanın kayıt edilmesi

2. BAKIM TALİMATNAMESİ

Amaç: Arıtma tesisinin en iyi şekilde işletilmesini sağlamak üzere, mekanik ve elektronik aksamın periyodik olarak bakımının yapılmasını sağlamak ve olası arıza aksaklıkları önlemek.

Talimatlar:

- 1) Arıtma tesisi atıksu pompalarının aylık olarak mekanik ve elektronik bakımın yapılması
- 2) Karıştırıcı motorlarının aylık olarak mekanik ve elektronik bakımının yapılması
- 3) Havuzların üzerindeki tahta kapakların senelik olarak bakım ve onarımın yapılması
- 4) Filtrepres yüksek basınç pompasının aylık olarak mekanik ve elektronik bakımının yapılması
- 5) Kış aylarından önce havuzların üzerine dondan korumak amacıyla izolasyon yapılması
- 6) Su hatları borularının çatlak ve kırıklarının kontrol edilmesi ve onarılması
- 7) Havalandırma sisteminin kontrol edilmesi ve gerekli bakımların yapılması
- 8) Arıtma tesisinin yılda bir kez genel inşai bakım ve boyadan geçirilmesi
- 9) Kumanda panosunun ayda bir kez elektronik bakımdan geçirilmesi

Çizelge EK 4.3. pH problemleri kalibrasyon takvimi

TEİ ATIKSU ARITMA TESİSİ pH PROBLARI KALİBRASYON TAKVİMİ														
Hazırlayan: Sema ÜNAL														
NO	TARİH	KROM REDÜKSİYON			NÖTRALİZASYON			REAKSİYON TANKI			SON KONTROL			KONTROL İMZA
		pH=4	pH=7	son durum	pH=4	pH=7	son durum	pH=4	pH=7	son durum	pH=4	pH=7	son durum	
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														

Çizelge EK 4.4. Arıtma tesisi günlük kontrol çizelgesi

TEİ ATIKSU ARITMA TESİSİ GÜNLÜK KONTROL ÇİZELGESİ

Hazırlayan : Sema ÜNAL

TARİH:

1) Aşağıdaki kimyasal mde tanklarını kontrol ediniz ve bitmiş olan kimyasalları talimata uygun hazırlayınız. Hazırlanan miktarı yazınız.

	Var	Yok	Miktar
Kireç	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
FeCl ₃	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
HCl (derişik)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
HCl (seyreltik)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
NaClO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
NaHSO ₃	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Polielektrolit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

2) Krom redüksiyon tankı mV değerini yazınız. 250-450 mV arasında olmalıdır.
mV:

3) Krom redüksiyon pH değerini yazınız. pH: 2-4 arasında olmalıdır
pH:.....

4) Nötralizasyon pH değerini yazınız. pH: 8-9 arasında olmalıdır.
pH:.....

5) Flokulasyon pH değerini yazınız. pH: 7-9 arasında olmalıdır. pH kağıdı ile kontrol ediniz.
pH:.....

6) Kesikli artma giriş pH değerini yazınız.
pH:.....

- 13) Havalandırmanın açık olduğunu kontrol ediniz.
- 14) Seviye ölçüm cihazlarının temizlik ve çalışmalarını kontrol ediniz.
- 15) Filtrepresi kontrol ediniz, seviye ölçüm cihazını temizleyiniz.
- 16) Yağ sıyırma işlemi yapıldıysa sıyrılan yağ miktarını yazınız.
- 17) Bor yağı pompalama istasyonu seviyesini kontrol ediniz. Dolu ise yağı ayırma tankına pompalayınız.
- 18) Ayırma tankı seviyesini kontrol ediniz. Dolu ise yağı varillere alınız. Alınan yağ miktarını yazınız. Varilleri etiketleyip depolama alanına götürünüz.
- 19) Konsantre ve çamur havuzları ve borularının soğuk havalarda donma durumunu kontrol ediniz
- 20) İşçi Sağlığı İş Güvenliği kurallarına aykırı durumları kontrol ediniz.
- 21) Tesisin genel temizliğini kontrol ediniz.
- 22) Çıkış suyu hakkındaki görünüş, renk ve diğer arızaları yazınız..

⇒

⇒

⇒

⇒

Bakımları yapan
imza

Tesisler Şefi
imza

EK 5. VARYANS ANALİZİ VE F DAĞILIM TABLOSU

VARYANS ANALİZİ

General Linear Model

Factor Levels Values

Tür 2 -1 1
Miktar 2 -1 1
pH 2 -1 1

Analysis of Variance for Bulanıklık

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tür	1	222.0	222.0	222.0	0.74	0.401
Miktar	1	1383.2	1383.2	1383.2	4.63	0.047
pH	1	241.3	1241.3	1241.3	4.16	0.058
Tür*Miktar	1	543.4	543.4	543.4	1.82	0.196
Tür*pH	1	455.9	455.9	455.9	1.53	0.234
Miktar*pH	1	1475.8	1475.8	1475.8	4.94	0.041
Tür*Miktar*pH	1	203.0	203.0	203.0	0.68	0.422
Error	16	4777.0	4777.0	298.6		
Total	23	10301.6				

Unusual Observations for Bulanıklık

Obs.	Bulanik	Fit Stdev.	Fit	Residual	St.Resid
12	0.0000	48.3000	9.9760	-48.3000	-3.42R
20	92.9000	48.3000	9.9760	44.6000	3.16R

General Linear Model

Factor Levels Values

Tür 2 -1 1
Miktar 2 -1 1
pH 2 -1 1

Analysis of Variance for AKM

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tür	1	7.5	7.5	7.5	0.02	0.898
Miktar	1	4197.6	4197.6	4197.6	9.43	0.007
pH	1	2786.4	2786.4	2786.4	6.26	0.024
Tür*Miktar	1	566.5	566.5	566.5	1.27	0.276
Tür*pH	1	262.7	262.7	262.7	0.59	0.454
Miktar*pH	1	4466.3	4466.3	4466.3	10.03	0.006
Tür*Miktar*pH	1	12.6	12.6	12.6	0.03	0.868
Error	16	7122.1	7122.1	445.1		
Total	23	19421.7				

Unusual Observations for AKM

Obs.	AKM	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
20	84.0000	28.0000	12.1810	56.0000	3.25R
21	39.0000	75.6667	12.1810	-36.6667	-2.13R

General Linear Model

Factor	Levels	Values
Tür	2	-1 1
Miktar	2	-1 1
pH	2	-1 1

Analysis of Variance for KOI

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tür	1	80.67	80.67	80.67	6.72	0.020
Miktar	1	0.17	0.17	0.17	0.01	0.908
pH	1	20.17	20.17	20.17	1.68	0.213
Tür*Miktar	1	0.67	0.67	0.67	0.06	0.817
Tür*pH	1	10.67	10.67	10.67	0.89	0.360
Miktar*pH	1	13.50	13.50	13.50	1.12	0.305
Tür*Miktar*pH	1	2.67	2.67	2.67	0.22	0.644
Error	16	192.00	192.00	12.00		
Total	23	320.50				

Unusual Observations for KOI

Obs.	KOI	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
5	10.0000	17.3333	2.0000	-7.3333	-2.59R
15	24.0000	18.0000	2.0000	6.0000	2.12R
23	11.0000	18.0000	2.0000	-7.0000	-2.47R

General Linear Model

Factor	Levels	Values
Tür	2	-1 1
Miktar	2	-1 1
pH	2	-1 1

Analysis of Variance for Krom

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tür	1	766.1	766.1	766.1	3.50	0.080
Miktar	1	1148.2	1148.2	1148.2	5.25	0.036
pH	1	191.5	191.5	191.5	0.88	0.363
Tür*Miktar	1	766.1	766.1	766.1	3.50	0.080
Tür*pH	1	805.0	805.0	805.0	3.68	0.073
Miktar*pH	1	276.1	276.1	276.1	1.26	0.278
Tür*Miktar*pH	1	520.8	520.8	520.8	2.38	0.142
Error	16	3498.2	3498.2	218.6		
Total	23	7972.1				

Unusual Observations for Krom

Obs.	Krom	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
15	17.000	56.500		8.537	-39.500

General Linear Model

Factor	Levels	Values
Tür	2	-1 1
Miktar	2	-1 1
pH	2	-1 1

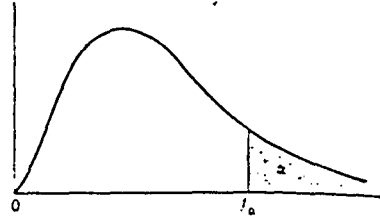
Analysis of Variance for Nikel

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Tür	1	418.0	418.0	418.0	6.75	0.019
Miktar	1	3314.4	3314.4	3314.4	53.49	0.000
pH	1	12692.2	12692.2	12692.2	204.83	0.000
Tür*Miktar	1	647.7	647.7	647.7	10.45	0.005
Tür*pH	1	2.7	2.7	2.7	0.04	0.838
Miktar*pH	1	564.9	564.9	564.9	9.12	0.008
Tür*Miktar*pH	1	43.1	43.1	43.1	0.70	0.417
Error	16	991.5	991.5	62.0		
Total	23	18674.5				

Unusual Observations for Nikel

Obs.	Nikel	Fit	Stdev. Fit	Residual	St.Resid
8	91.9600	76.9933	4.5448	14.9667	2.33R
18	46.0300	64.2267	4.5448	-18.1967	-2.83R

F DAĞILIM TABLOSU



$$f_{0.05}(\nu_1, \nu_2)$$

ν_2	ν_1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.33	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.95	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88