



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALÜMİNYUM KUTU İMALAT PROSESLERİNDE ATIKSU, ALKALİ
SOLÜSYON VE ENERJİ GERİ KAZANIM SİSTEMİ TASARIMI

Görkem YÜKSEL

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Burak YÜZER

II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2022

Bu çalışma, 30.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliğı Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliğı Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Dr. Öğr. Üyesi Burak YÜZER (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Serdar AYDIN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Hatice İNAN
Gebze Teknik Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Unvan
Üniversite
Fakülte

Unvan
Üniversite
Fakülte

[20.04.2016 tarihli Resmi Gazete 'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, **3190928** numaralı TÜBİTAK TEYDEB 1501 projesi ile desteklenmiştir ve tez konusu prosesin 2019 yılında "2019/22913 Sayılı PROSES ALKALİ ATIK SU VE SOLÜSYONLARIN GERİ KAZANIM YÖNTEMİ" konu başlığı altında patent başvurusu gerçekleştirilmiştir..]



ÖNSÖZ

[Yüksek lisans çalışmalarımda bana her daim yardımcı olan, tezimin her aşamasında bilgi ve önerilerini benden esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK ve Dr. Öğr. Üyesi Burak YÜZER'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana sürekli yardımcı olan sevgili eşim Elif ONARAN YÜKSEL'e ve kızım Zoe YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu günleri görmemi sağlayan ebeveynlerim S. Tülin YÜKSEL ve Şenol YÜKSEL'e ve kardeşim Bikem YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunarım

Bu çalışmayı **3190928** no'lu proje ile destekleyen TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım. |

Haziran 2022

[Görkem YÜKSEL]

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ.....	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI	3
1.1.1. Amaç.....	3
1.1.2. Kapsam	4
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1. ALÜMİNYUM TANIMI	5
2.2. ALÜMİNYUM AEROSOL KUTU SANAYİSİ VE ÜRÜNÜN TANITIMI	6
2.2.1. Sanayi Hakkında Bilgiler	6
2.2.2. Alüminyum Kutu Üretim Prosesi	7
2.2.2. Alüminyum Banyo Suyunun Kalitesini Belirleyen Parametreler.....	10
2.2.2.1. Askıda Katı Madde / Partiküller	10
2.2.2.2. İletkenlik.....	11
2.2.2.3. Sıcaklık	11
2.2.2.4. Yağ-Gress	11
2.2.2.5. Alüminyum Miktarı.....	11
2.2.2.6. pH.....	12
2.2.3. Üretim Kalitesinin Kontrolü.....	12
2.2.3.1. Pamuk Testi	12
2.2.3.2. Yüzey Gerilim Testi	12
2.2.3.3. İletkenlik Testi	13
2.2.3.4. Aseton Testi	13
2.2.3.5. Alkol Testi.....	13
2.2.3.6. Banyo Daldırma Testi	13
2.2.4. Banyo Proses Sularının Kalitesinin Kontrolü.....	14

2.3.	ALÜMİNYUM AEROSOL KUTU SANAYİSİ MEVCUT ARITMA VE GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ.....	14
2.3.1.	Üretimde Önemli Su Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi	16
2.3.2.	Konvansiyonel Arıtma.....	18
2.3.3.	Evaporasyon İle Proses Suyu Geri Kazanımı.....	20
2.3.4.	Membran Teknolojisi ile Proses Suyu Geri Kazanımı	21
2.3.5.	İyon Değiştirici Reçineler ile Proses Suyu Geri Kazanımı	23
3.	MALZEME VE YÖNTEM.....	26
3.1.	ALÜMİNYUM KUTU ÜRETİM ATIKSUYU	27
3.1.1.	Banyo Prosesinin İşleyişi	27
3.1.2.	Banyo Prosesi Su Kalitesinin Önemi	28
3.1.2.1.	<i>Yıkama İstasyonları Su Kalitesi</i>	<i>29</i>
3.1.2.2.	<i>Durulama İstasyonları Su Kalitesi.....</i>	<i>30</i>
3.2.	ATIKSU TEMİNİ.....	30
3.3.	ATIKSU KARAKTERİZASYONU.....	30
3.3.1.	Analiz Yöntemleri	30
3.3.2.	Kullanılan Kimyasallar.....	31
3.3.3.	Kullanılan Filtre Malzemeleri	31
3.3.4.	Kullanılan Analiz Cihazları	32
3.3.4.1.	<i>Bulanıklık Ölçer:.....</i>	<i>32</i>
3.3.4.2.	<i>pH, İletkenlik ve Sıcaklık Ölçümü</i>	<i>33</i>
3.3.4.3.	<i>KOI Ölçümü</i>	<i>33</i>
3.3.4.4.	<i>Alüminyum Ölçümü.....</i>	<i>33</i>
3.3.4.5.	<i>Toplam Organik Karbon (TOK) Ölçümü.....</i>	<i>34</i>
3.4.	LABORATUVAR ÖLÇEKLİ ARITIM ÇALIŞMALARI.....	35
3.4.1.	Nötralizasyon Sonrası Çöktürme.....	35
3.4.2.	Kum/Aktif Karbon/Zeolit Filtrasyon.....	35
3.4.4.	Oksidant™ ile Çöktürme.....	36
3.4.5.	Zeolit Filtre	36
3.4.6.	Kum Filtre	36
3.4.7.	Aktif Karbon Filtre	36
3.4.8.	Oksidant Optimizasyonu	36
3.5.	ALÜMİNYUM KUTU ÜRETİM ATIKSUYU ARITIM PROSES SEÇİMİ	36
3.5.1.	Alüminyum Kutu Üretim Atıksuyu Arıtım Proses Tasarımı	37
3.5.2.	Alüminyum Kutu Üretim Atıksuyu Arıtım Prosesi Maliyet Analizi	37

3.5.3. Alüminyum Kutu Atıksuyu Arıtım Prosesi Üretimde Geri Kullanımının Araştırılması	37
4. BULGULAR.....	38
4.1. ATIKSU ANALİZLERİNİN İNCELENMESİ	38
4.2. NÖTRALİZASYON PROSESİNİN SONUCUNDA ATIKSU ANALİZLERİNİN İNCELENMESİ.....	42
4.3. DURULAMA SULARININ NÖTRALİZASYON SONRASI KUM/ZEOLİT VE AKTİF KARBON FİLTRE SONUÇLARININ İNCELENMESİ	47
4.4. DURULAMA SULARININ İYON REÇİNESİ İLE FİLTRE SONUÇLARININ İNCELENMESİ.....	50
4.5. YIKAMA SULARINI OKSİDANT İLE ÇÖKTÜRME SONUÇLARININ İNCELENMESİ	51
4.6. YIKAMA SULARININ OKSİDASYON SONRASI ZEOLİT FİLTRE SONUÇLARININ İNCELENMESİ	52
4.7. YIKAMA SULARININ OKSİDASYON SONRASI KUM FİLTRE SONUÇLARININ İNCELENMESİ	53
4.8. YIKAMA SULARININ OKSİDASYON SONRASI KUM VE AKTİF KARBON FİLTRE SONUÇLARININ İNCELENMESİ.....	54
4.9. YIKAMA SULARINI OKSİDANT İLE ÇÖKTÜRME İŞLEMİNİN DOZAJ OPTİMİZASYON SONUÇLARININ İNCELENMESİ	56
4.10 . ALÜMİNYUM KUTU ÜRETİM ATIKSUYU ARITIM PROSESLERİNİN BELİRLENMESİ	59
4.11 . ALÜMİNYUM KUTU ÜRETİM ATIKSUYU GERİ KAZANIM PROSESİ MALİYET ANALİZİ.....	62
4.12 . ALÜMİNYUM KUTU ATIKSUYU ARITIM PROSESİ ÜRETİMDE GERİ KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI	62
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	67
KAYNAKLAR.....	69
EKLER	72
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1 Dünyada 2040 yılı itibari ile öngörülen küresel su kıtlığı haritası [4]	1
Şekil 2 Alüminyum kutu üretimi akış şeması.....	7
Şekil 3 Alüminyum pul	8
Şekil 4 Banyo sağdan sola 1,2,3,4,5 istasyon.....	8
Şekil 5 İstasyonlar	9
Şekil 6 Monoblok makinesi [7]	10
Şekil 7 Paketleme işlemi tamamlanan alüminyum kutular	10
Şekil 8 Yüzey gerilim testi	13
Şekil 9 Konvansiyonel arıtma sistemi akım şeması	19
Şekil 10 Evaporasyon ile proses suyu geri kazanımı akım şeması	20
Şekil 11 Membran teknolojisi ile proses suyu geri kazanımı akım şeması	22
Şekil 12 İyon değiştirici reçineler ile proses suyu geri kazanımı akım şeması	25
Şekil 13 Tez çalışması özet gösterimi	26
Şekil 14 İstasyonların rezistansları	27
Şekil 15 İletkenlik ve sıcaklık problemlerinin transmitterleri	27
Şekil 16 Taşkın suların toplanması.....	28
Şekil 17 İstasyonlarda oluşan kirleticilerin gözlemlenmesi	29
Şekil 18 İstasyon 1-2 karışımı, istasyon 3-4-5 karışım ve istasyon 1-2-3-4-5 karışımının pH ve iletkenliklerinin karşılaştırılması	41
Şekil 19 İstasyon 1-2 karışımı, istasyon 3-4-5 karışım ve istasyon 1-2-3-4-5 karışımının TOK, KOİ ve alüminyum konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	42
Şekil 20 Karışımların nötralizasyon için asit sarfiyatı ve çıkan çamur miktarlarının karşılaştırılması.....	45

Şekil 21 Nötralizasyon sonrası çamur miktarlarının karşılaştırılması (a) İstasyon 1-2 karışımı, (b) İstasyon 3-4-5 karışımı, (c) İstasyon 1-2-3-4-5 karışımı	46
Şekil 22 Karışımların nötralizasyon öncesi ve sonrası pH ve iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması.....	46
Şekil 23 Karışımların nötralizasyon öncesi ve sonrası TOK, KOİ ve alüminyum konsantrasyonlarının karşılaştırılması	47
Şekil 24 İstasyon 3-4-5'in uygulanan prosesler üzerine artıma veriminin TOK, KOİ, AKM, alüminyum konsantrasyonları ve bulanıklık değerleri ile karşılaştırılması	49
Şekil 25 Oksidant™ ile oksidasyon ve flok oluşumu gözlemlenmesi (a) yıkama atıksuyu, (b) flok oluşumu.....	51
Şekil 27 Yıkama suyunun proses bazlı arıtma görsellerinin karşılaştırılması (a) yıkama atıksuyu, (b) atıksu oksidasyon, (c) aktif karbon ile süzme	55
Şekil 26 İstasyon 1-2'ye uygulanan prosesler sonucunda pH ve iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması.....	55
Şekil 28 İstasyon 1-2'ye uygulanan prosesler üzerine artıma veriminin alüminyum konsantrasyonları ve bulanıklık değerleri ile karşılaştırılması.....	56
Şekil 29 Farklı dozajlarda oksidasyon sonucu flok oluşumlarının karşılaştırılması (a) 1ml oksidant, (b) 2,5 ml oksidant, (c) 5 ml oksidant.....	56
Şekil 30 İstasyon 1-2'ye uygulanan farklı dozajlarda oksidant ile oksidasyon sonrası alüminyum konsantrasyonu ve bulanıklık değerlerinin karşılaştırılması	58
Şekil 31 İstasyon 1-2'ye uygulanan farklı dozajlarda oksidant ile oksidasyon sonrası pH ve iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması	58
Şekil 32 Alüminyum kutu üretim atıksuyunun belirlenen geri kazanım prosesi	61
Şekil 33 Geri kazanılan durulama suyunun normalde kullanılan şebeke suyu ile pH ve iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması	63
Şekil 34 Geri kazanılan durulama suyunun normalde kullanılan şebeke suyu ile TOK konsantrasyonu ve bulanıklık değerlerinin karşılaştırılması	64
Şekil 35 Geri kazanılan yıkama suyunun normalde kullanılan kostikli şebeke suyu ile pH ve iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması	65
Şekil 36 Geri kazanılan durulama suyunun normalde kullanılan kostikli şebeke suyu ile TOK konsantrasyonu ve bulanıklık değerlerinin karşılaştırılması.....	66

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1 İSKİ deşarj limitleri [8].....	15
Tablo 2 Metal sanayii (genelde metal hazırlama ve işleme) deşarj standartları [8]	16
Tablo 3 Yıkama atıksularının ideal çalışma aralığı.....	17
Tablo 4 Durulama atıksularının ideal çalışma aralığı.....	17
Tablo 5 Tez süresince kullanılan deneyler	31
Tablo 6 Yıkama istasyonları atıksu karakterizasyonu.....	38
Tablo 7 Durulama istasyonları atıksu karakterizasyonu.....	39
Tablo 8 Mevcut kullanma suyunun giriş karakterizasyonu.....	39
Tablo 9 Yıkama prosesi atıksu istasyonlarının ve karışım varyasyonlarının parametreleri karşılaştırılması.....	40
Tablo 10 Durulama prosesi atıksu istasyonlarının ve karışım varyasyonlarının parametreleri karşılaştırılması	40
Tablo 11 Tüm istasyonların karışımının durulama ve yıkama istasyonlarının karışımları ile parametrelerinin karşılaştırılması	41
Tablo 12 Yıkama sularının nötralizasyon sonuçlarının karşılaştırılması	43
Tablo 13 Durulama sularının nötralizasyon sonuçlarının karşılaştırılması	44
Tablo 14 Tüm istasyonların karışımı sularının nötralizasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	45
Tablo 15 Kum ve zeolit filtre karşılaştırılması.....	48
Tablo 16 Zeolit filtre prosesinden sonra aktif karbon filtrasyonu karşılaştırması.....	49
Tablo 17 1 kere geri kazanılan, 10 kere geri kazanılan ve mixed-bed iyon reçinesinden geçirilen proses sularının sonuçlarının karşılaştırılması.....	50
Tablo 18 Yıkama sularının giriş ile oksidasyon ve çöktürme sonuçlarının karşılaştırılması.....	52
Tablo 19 Oksidasyon sonrası zeolit filtre sonuçlarının karşılaştırılması.....	53
Tablo 20 Oksidasyon sonrası kum filtre sonuçlarının karşılaştırılması	54

Tablo 21 Aktif karbon filtre sonrası analizlerin karşılaştırılması.....	54
Tablo 22 Farklı dozajlarda oksidasyon sonuçlarının karşılaştırılması	57
Tablo 23 Atıksuların ayrılması ile asit sarfiyatı ve çamur miktarının karşılaştırılması	59
Tablo 24 Şebeke suyunun geri kazanılan durulama suyu ile analizlerinin karşılaştırılması.....	63
Tablo 25 Deterjan eklenmiş şebeke suyunun geri kazanılan yıkama suyu ile analizlerinin karşılaştırılması.....	65



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
Al(OH)₃	: Alüminyum hidroksit
Al₂(SO₄)₃	: Alüminyum sülfat
As	: Arsenik
°C	: Santigrat derece
Cd	: Kadmiyum
Cl⁻	: Klorür
Cl₂	: Klorin
CN⁻	: Siyanür
Cr⁺⁶	: Krom
Cu	: Bakır
F⁻	: Florür
Fe	: Demir
HCl	: Hidroklorik asit
Hg	: Civa
H₂SO₄	: Sülfürik asit
kWh	: Kilowatt saat
mA	: miliamper
mN/m	: miliNewton/metre
mS/cm	: milisiemens/santimetre
NaCl	: Sodyum klorür
NaOH	: Sodyum hidroksit
NH₄-N	: Amonyum azotu
Ni	: Nikel
NO₂-N	: Nitrit azotu
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
S⁻²	: Sülfür
SO₄⁼	: Sülfat

$\mu\text{S/cm}$: mikrosiemens/santimetre
Zn : Çinko

Kısaltmalar

Açıklama

AER : Anyonik Değişim Reçinesi
AKM : Askıda Katı Madde
ED : Elektrodiyaliz
FEA : Uluslararası Aerosol Federasyon Standardı
FO-RO : İleri Osmos – Ters Osmos
İK : İnorganik Karbon
İSKİ : İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
KOİ : Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MBAS : Metilen Mavisi İle Reaksiyon Veren Yüzey Aktif Maddeler
NDIR : Dağılmayan Kızılötesi Sensör
NF : Nanofiltrasyon
NOM : Doğal Organik Madde
NTU : Nephelometric Turbidity Unit
RO : Ters Osmos
SBA : Güçlü Bazik Anyon Değişim Reçinesi
TK : Toplam Karbon
TOK : Toplam Organik Karbon
USD : Amerikan Doları
UV : Ultraviyole
WBA : Zayıf Bazik Anyon Değişim Reçinesi
ZSF : Balık Biyodeneyi |

ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[ALÜMİNYUM KUTU İMALAT PROSELERİNDE ATIKSU, ALKALİ SOLÜSYON VE ENERJİ GERİ KAZANIM SİSTEMİ TASARIMI]

[Görkem YÜKSEL]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

[Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı]

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Burak YÜZER

II. Danışman : Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK

[Bu tez çalışmasında, alüminyum kutu imalat proseslerinde oluşan atıksuyun kirlilik parametreleri incelenmiştir. Atıksuların yeniden kullanılmasının üretim kalitesini olumsuz etkilemeyecek şekilde arıtılması, kutu yıkama işleminde kullanılan alkali solüsyon ve ısı enerjisi geri kazanımı hedeflenmiştir. Arıtma proseslerinin tasarımlarını geliştirmek amacıyla kapsamlı bir karakterizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

Detaylı karakterizasyon çalışması sonucunda, atıksuların kaynağında ayrılmasına karar verilmiştir. Böylece birbiri ile aynı karaktere sahip olan istasyon 1 ve istasyon 2 yıkama suları ve aynı karaktere sahip olan istasyon 3, istasyon 4, ve istasyon 5 durulama suları olarak ayrılmıştır. Bu sayede yıkama sularının arıtması sonucunda geliştirilen, TÜBİTAK-TEYDEB 1501 destekli ve patentli proses ile alkali solüsyon, proses suyu ve ısı enerjisi geri kazanımı gerçekleştirilmiştir. Durulama sularında Uluslararası Aerosol Federasyon Standardına uygun, demineralize su geri kazanımı sağlanmıştır. Yeni geliştirilen sistem sayesinde İSKİ Atıksuların Kanala Deşarj Yönetmeliği kapsamında belirlenmiş atıksu parametreleri, limit değerlerin altına çekmek ve deşarj etmek için harcanacak olan işletme maliyetlerinden daha uygun işletme maliyetleriyle ve daha az çamur ile sıfır atık olarak işletilme imkanı tanımıştır.

Alüminyum kutu sanayisi üretiminde bulunan bir hattın banyosunun standart olarak 1-2 istasyonları yıkama, 3-4-5 istasyonları durulama prosesi kullanılmaktadır. Bir hatta ait yıkama sularının debisi 0,6 m³/saat, durulama sularının ise 1,5 m³/saat kapasite ile işletilmesi durumunda geliştirilen sistem sayesinde ısı enerjisi, alkali deterjan ve proses suyu geri

kazanımları ile ortalama yıllık 38.000 Euro/hat tasarruf sağlamakta olduğu hesaplanmıştır. Ortalama bir fabrikada 5 hat olduğu, kabul edilirse yıkama ve durulama hatlarının ayrılması ve ayrı ayrı geri kazanılması için ortalama 500.000,00 Euro yatırım maliyeti gerektiği ve bu durumda sistemin ilk yatırım maliyetini ortalama 2,5 yıl gibi kısa bir sürede geri ödediği hesaplanmıştır. Bu geri kazanımlar sağlanırken ürün başına düşen karbon ve su ayak izi azalmasından dolayı Avrupa pazarında büyük avantaj da sağlamaktadır. |

Haziran 2022, |90| sayfa.

Anahtar kelimeler: | alüminyum, kostik, geri kazanım, atık proses suyu, arıtma, alüminyum aerosol kutu, iletkenlik, alkali su geri kazanım |



SUMMARY

[M.Sc. THESIS]

**[WASTEWATER, ALKALINE SOLUTION AND ENERGY RECOVERY
SYSTEM DESIGN IN ALUMINUM CAN MANUFACTURING PROCESSES]**

[Gorkem YUKSEL]

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

[Department of Environmental Engineering]

Supervisor : [Assist. Prof. Dr.] [Burak YUZER]

[Co-Supervisor : Prof. Dr. Huseyin SELCUK]

This thesis investigates the pollution parameters of the aluminum can manufacturing processes' wastewater generated. While the wastewater is treated in a way that does not adversely affect the production quality, it is aimed to recover alkaline solution and heat energy. A comprehensive characterization study was carried out to develop the treatment processes' designs.

As a result of the detailed characterization study, it was decided to separate the wastewater at the source. Thus, station 1 and station 2 washing waters, which have the same character, and station 3, station 4, and station 5 rinse waters with the same character are separated. This way, the treatment of washing water, alkali solution, process water, and heat energy recovery was achieved with the newly developed TÜBİTAK-TEYDEB 1501 supported and patented process. In the rinsing waters, demineralized water was recovered following the International Aerosol Federation Standard. The newly developed system has provided the opportunity to be operated as zero waste with less sludge and at more affordable operating costs than the operating cost that would be spent to reduce and discharge the parameters determined within the scope of "İSKİ Wastewater Discharge into the Channel Regulation."

In a line in the production of aluminum can industry, 1-2 stations washing and 3-4-5 stations rinsing process are used as standard. It has been calculated that if a line is operated with a capacity of 0,6 m³/hour for washing water and a capacity of 1,5 m³/hour for rinsing water, the developed system provides an average annual savings of 40,000 Euros/line with heat energy, alkaline detergent, and process water recovery. It has been calculated that there are five lines in an average factory, and if it is accepted, an average investment cost of 500,000.00 Euros is required to separate and recycle the washing and rinsing lines separately, and in this case, the system pays back the initial investment cost in a short period of 2.5 years. While these recoveries are achieved, it also provides a significant advantage in the European market due to reducing carbon and water footprint per product.

June 2022, 90 pages.

Keywords: aluminum, caustic, recovery, waste process water, purification, aluminum aerosol can, conductivity, alkaline water recovery

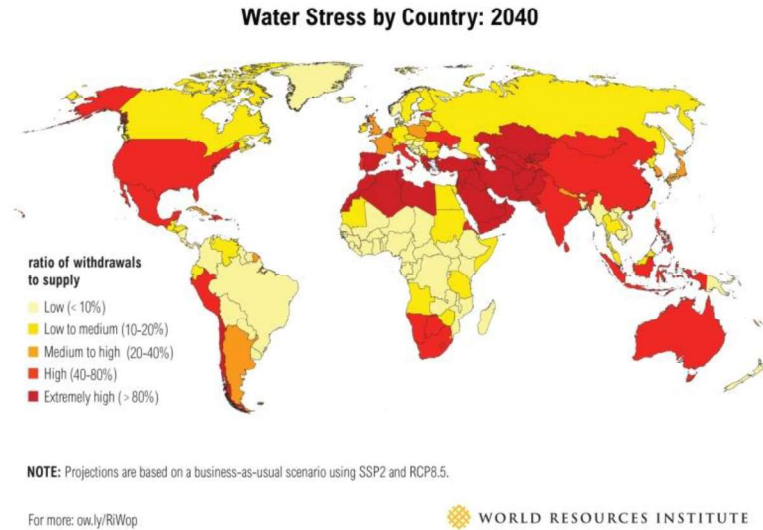


1. GİRİŞ

Tüm canlılar için nefes almak ne kadar vazgeçilmez ise su da canlılar için bir o kadar önemlidir. Su olmadan yaşam düşünülemez, sağlıklı bir yaşam ve çevre sürdürülebilir olması için temiz suya ulaşmak en önemli şarttır.[1] Dünyanın %75'i sudur ve toplam miktarı 1,4 milyar km³'tür. Bu suların %97,5'i denizlerde ve okyanuslarda tuzlu su olarak, %2,5'i ise nehir ve göllerde tatlı su olarak yer almaktadır. Tatlı su kaynaklarının oranının bu kadar az olması elverişli tatlı su miktarının ne kadar önemli olduğunun göstergesidir. [2]

Nüfus artışı, düzensiz su tüketimi ve artan sanayileşme nedeniyle kontrolsüz atıksu deşarjının da artması nedeniyle temiz su kaynaklarının kirlenmesi, küresel ısınma nedeniyle mevsimlerin değişmesi ve yağışların azalması gibi birçok olumsuz etki sebebiyle kişi başına düşen su miktarı günden güne hızla azalmaktadır. Dünya genelinde 4 milyar kişi yılda en az bir ay boyunca su kıtlığı sıkıntısı yaşamaktadır. [3]

Şekil 1'de verilen haritada 2040 yılı itibari ile ülkelerin yaşaması öngörülen su kıtlığı dağılımı görülmektedir. Buna göre ülkemiz yaklaşan su kıtlığından büyük oranda etkilenecektir. Bu sebeple önlemlerin ivedilikle alınması gerekmektedir.



Şekil 1 Dünyada 2040 yılı itibari ile öngörülen küresel su kıtlığı haritası [4]

Su arıtma teknolojilerinin kullanımı ile kuyu suları, yüzeysel sular, deniz sularının arıtılması ve atıksuların geri kazanılarak tekrar kullanılması mümkündür. Sayılan amaçlar için ülkemizde son yıllarda en çok kullanılan su arıtma teknolojisi membran filtrasyon prosesleridir. Membran prosesler ile hem sağlıklı içme suyu hem de endüstriyel kullanım için proses suyu elde edilmesi mümkündür. [1]

Alüminyum sanayisinde yıkama banyolarında su ve kostik tüketilmektedir. Sodyum Hidroksit (NaOH) kostik olarak bilinir ve doğal olarak meydana gelmez. Sodyum Klorür' ün (NaCl) elektroliz işlemine tabi tutulması sonucu %48' lik bomeye sahip çözelti şeklinde üretilmektedir. Bu proses sırasında aynı zamanda klor (Cl_2) gazı da ortaya çıkar. Kostik üretimi yüksek enerji sarfiyatı ile sağlanmaktadır. Alüminyum, gıda ve tekstil gibi birçok endüstride kullanılmaktadır fakat üretim teknolojisi Türkiye'de henüz çok yaygın olmaması nedeniyle Türkiye piyasasına yetecek kadar üretim gerçekleştirilememektedir. Bu nedenle ithal edilmektedir. Birim fiyatı Amerikan Dolar Kuru (USD) olmasına rağmen fiyatları yıl içerisinde dış etmenlere bağlı olarak sürekli dalgalanır ve bu nedenle firmaların bütçelerinde de açıklar vermesine sebep olan bir üründür.

Proseslerde kullanılan kostik ve kostikli proses suları geri kazanımı yöntemleri henüz yaygınlaşmamıştır ve elektrodializ (ED) yöntemi ile laboratuvar ortamında başarılı denemler gerçekleştirilse de sanayinin ihtiyacını karşılayabilecek kapasitelerde üretim yapan reaktörlerin üretimi henüz mümkün gözükmemektedir. Türkiye'nin mevcut durumunda ithal edilen kostik bir gider iken aynı zamanda bağlı olunan bölgenin deşarj standartlarına uyulması için diğer parametrelerden bağımsız alkali olan atıksuların pH değerini arttıran bir üründür. Deşarj standartlarını sağlama için pH değerinin bağlı olunan bölgenin kanalizasyon ve su idaresi tarafından belirlenmiş olan değer aralığında olması yani düşürülmesi gerekmektedir. Bu proses ayrıca dolar kuru ile alınmakta olan asit tüketimi anlamına gelmektedir. Bu yöntem ile değerli olan kostik kanala giderken aynı zamanda genellikle sülfürik asit (H_2SO_4) ile gerçekleştirilen nötralizasyon sonucunda asit de ziyan olmaktadır.

Proses suyunun uygun miktarda geri kazanılmasının yanı sıra kullanım amacına uygun kalitede elde edilmesi de önemlidir. Bu çalışmada nihai kullanım amacına göre geri kazanım prosesleri içeren artıma sistemlerinin kurulması ile proses suyu, kostik ve ısı geri kazanımının yanı sıra yönetmelik gereği kurulması gereken arıtma sisteminin giderlerinden elde edilen tasarruf ile sağlanan faydaların analizleri incelenmiştir.

1.1.ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Bu bölümde, gerçekleştirilen çalışmanın yürütülme sebepleri ve çalışma sonunda ulaşılmak istenen hedefler açıklanmıştır. Yapılan çalışmalar ülkemizin yakın zamanda su kıtlığı yaşayacağı ve artan su ihtiyacının karşılanamayacağını göstermektedir. Bu duruma önlem olarak mevcut su kaynaklarının korunması ve atıksuların arıtıldıktan sonra yeniden kullanılması gerekmektedir. Bu doğrultuda ülkemizde su tüketiminin en yoğun olduğu sektörlerin başında gelen tekstil sektöründe oluşan atıksuların arıtılarak yeniden kullanılması hem doğaya salınan kirleticileri bertaraf ederek hem de su tüketimini azaltarak tatlı su kaynaklarının korunmasını sağlayacaktır.

1.1.1. Amaç

Alüminyum ambalaj üretim sanayi proseslerinde atık olarak boşaltılan alkali atıksu ve durulama sularının geri dönüşümü ile kostik, ısı ve atık su geri kazanımı amaçlanmaktadır. Standart arıtma yöntemleri kullanılarak arıtılan atıksular deşarj edilmektedir. Bu şekilde atıksu içerisinde bulunan proses suyu, değerli kimyasallar ve geri kazanılabilecek atık ısı kaybolmaktadır. Bu atıksuların ve atık ısının çeşitli prosesler kullanılarak en kısa sürede kapalı döngü sistem ile üretim prosesine tekrar geri verilmesi ile üretim proseslerinde atık ve enerji geri kazanımı sağlanacak ve önemli ölçüde tasarruf edilecektir. Bu anlamda, çalışmanın asıl amacı fabrikada geri kazanım sağlamayan ve maliyet artırıcı klasik atıksu arıtma tesisi kurulumu yerine, atık geri kazanım tesisi kurularak bu sistemin döngüsel ekonomiye katkısını araştırmaktır.

Sonuç olarak üretim sisteminin suya, ısıya ve kostiğe daha az bağımlı hale getirilmesi, üretimdeki kimyasal, su ve atık su arıtma maliyetlerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Çalışmada geliştirilecek sistemin aerosol kutuların iç ve dış yüzeylerinde yer alan kaplama kalitesine olumsuz etki etmeyecek ve ürün yüzey temizliğinin Uluslararası Aerosol Federasyon Standardı'na (FEA) uygun olarak geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Proje Hedefleri

Proseste sonucunda %85 oranında proses suyu ve deterjan geri kazanımının sağlanması.

Geri kazanım prosesi sonrası yıkama prosesi işletme parametrelerinin en önemlilerinden olan iletkenliğin 7-9 mS/cm aralığında olması ve bu sayede deterjan giderinin azaltılmak.

Geri kazanım prosesi sonrası durulama prosesi işletme parametrelerinin en önemlilerinden olan iletkenliğin 300-350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında olması ve bu sayede yüzey temizliğini standartlarını sağlamak.

Yüzeyde leke bırakmaması ve temizliğinin gerçekleşmesi için yıkama ve durulama sularında yağ-gres ve alüminyum konsantresinin $<10 \text{ mg/L}$ olmasını sağlamak.

1.1.2. Kapsam

Bu tez çalışmasının kapsamı maddeler halinde aşağıda verilmiştir

- Proje kapsamında öncelikli olarak, alüminyum aerosol kutu üretim hattındaki banyo istasyonlarından atık suların ön analizleri yapılması
- Alternatif arıtma prosesleri incelenmesi
- Banyo prosesinde bulunan istasyonların proses suyu karakterlerinin tek tek incelenmesi
- Proses suyu karakterleri benzer olan banyo istasyonlarının belirlenmesi
- Gruplara ayrılan banyo istasyonların geri kazanım proseslerinin belirlenmesi
- Geri kazanımlar sonucunda yıllık kazanımların ve tasarruf yüzdelerinin belirlenmesi
- Yeni geri kazanım sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin incelenmesi
- Sistem uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi |

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ALÜMİNYUM TANIMI

Alüminyum adını Yunanca “alumen” kelimesinden almıştır ve ilk olarak 1825 senesinde Danimarkalı Hans Christian Oersted tarafından saf olmayan hali elde edilmiştir. Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyum'dan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen, endüstriyel çapta üretimi 1886 yılında ABD’de Hall ve Fransa’da Heroult tarafında birbirlerinden habersiz olarak elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanması ile alüminyumun endüstriyel üretimi gerçekleşmiştir. 1886 yılında Siemens tarafından keşfedilen dinamo sayesinde 1892 yılında kullanılmaya başlanan ve günümüzde Bayer metodu olarak bilinen alüminanın boksitten üretilmesini sağlayan metotla birlikte alüminyum dünya çapında kullanılan metaller arasında en yaygın olarak kullanılanlar arasına girmiştir. [5]

Alüminyum eldesi, iki aşamada gerçekleşir ve tüm dünyada aynı yöntemle elde edilmektedir. İlk aşamada, Bayer metoduyla boksit cevherinden alümina elde edilir ve ikinci aşamada, elektroliz yöntemi ile alüminadan alüminyum elde edilir. Alümina üretim tesisleri, genellikle boksit cevherlerinin yakınına kurulur. Boksit cevheri madenden çıkarıldıktan sonra sud kostik eriyiği ile muamele edilir ve alüminyum hidroksit elde edilir. Bu işlem sonucunda oluşan kırmızı çamur olarak tabir edilen erimeyen kalıntılar ayrılır ve alüminyum hidroksitin kalsinasyonu ile alüminyum oksit(alümina) elde edilir. [6]

Bir sonraki aşama, "alümina"nın "alüminyum"a dönüştürülmesi aşamasıdır. Alümina beyaz bir toz görünümündedir. Elektroliz işlemi hücre adı verilen özel yerlerde gerçekleştirilir. Elektroliz prosesinin amacı, alüminyum oksijenden ayırmaktır. Elektroliz prosesi için 4-5 volt gerilimde doğru akım uygulanır. İşlem sonucunda dipte biriken alüminyum birikir ve bu alüminyumun alınması ile işlem tamamlanır. Alüminyum eldesi ağırlıkça dört birim boksitten, iki birim alüminadan gerçekleşir. Bu işlemler sonucu elde edilen alüminyum, birincil alüminyum olarak tanımlanır. [6]

Üretim Yöntemine Göre Alüminyum Ürünlerin Sınıflandırılması:

- Ekstrüzyon Ürünleri
- Yassı Ürünler
- Alüminyum İletkenler

- Döküm Ürünleri

Endüstrilere Göre Alüminyum Kullanımının Gruplandırılması:

- Kimya ve Gıda Sanayisinde
- İnşaat Sektöründe
- Elektrik ve Elektronik Sektöründe
- Ulaştırma Sektöründe
- Metal Sanayisinde
- Makine ve Ekipman İmalat Sektöründe
- Diğer Yerlerde Kullanım Alanları

2.2.ALÜMİNYUM AEROSOL KUTU SANAYİSİ VE ÜRÜNÜN TANITIMI

Alüminyum aerosol kutu sanayisinde üretim “hat” olarak tanımlanan üretim hatlarında el değmeden tamamen otomatik olarak üretilir. Bir hattın ortalama günlük 45.000 – 60.000 adet arasında teknolojisine ve işletmesine göre kapasitesi değişiklik gösterir. Bu bölümde sanayi hakkındaki alt başlıklarda verilmiştir.

2.2.1. Sanayi Hakkında Bilgiler

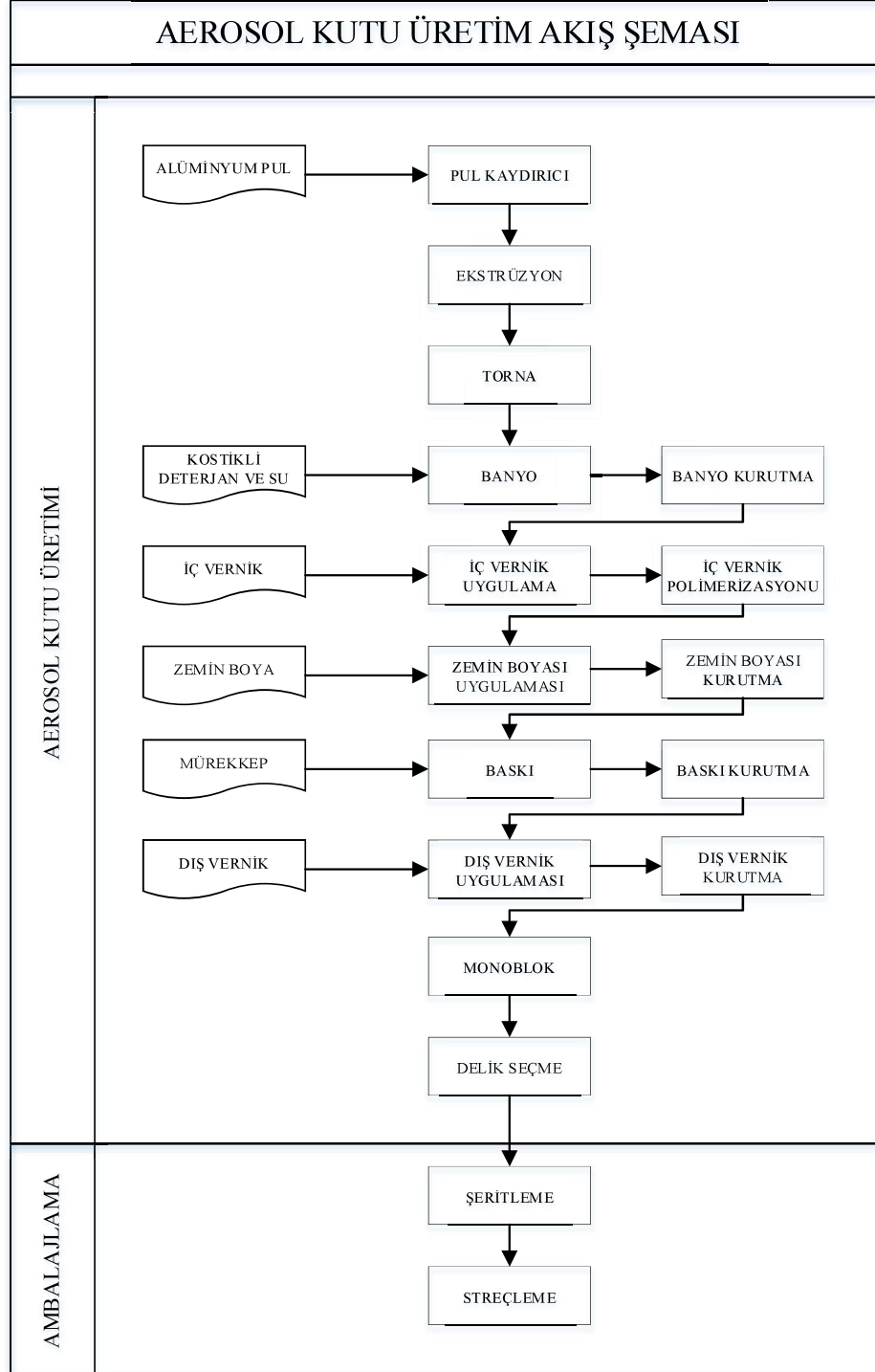
Adet başına 0,5-0,7 litre su tüketimi, 0,65-0,85 gr kostik deterjan tüketimi, 0,30-0,40 Nm³ doğalgaz tüketimi ve 0,065-0,075 kWh elektrik enerjisi tüketimi ile üretim yapılmaktadır.

Üretim sırasında 3 çeşit atık meydana gelmektedir. Birincisi tornadan sonra meydana gelen alüminyum metali, bu atık biriktirilerek geri kazanıma gönderilerek tekrar tekrar kullanılmaktadır. İkinci olarak aerosol kutuların yüzeylerinin temizlemesi için kullanılan banyolarda meydana gelen alkali atıksulardır. Bu atıksular deşarj standartlarını sağlayacak şekilde arıtılarak kanala deşarj edilmektedir. Üçüncü olarak geri kazanımı olmayan tehlikeli atık sınıfında bertartafa gönderilen atıklardır.

Atıksu kaynağı olan banyolar kendi içlerinde istasyonlara ayrılır. Bunlardan ilk ikisi yıkama olarak adlandırılan banyolardır, diğer istasyonlar ise durulama olarak adlandırılır. Atıksu kirletici parametreleri arasında pH, askıda katı madde (AKM), yağ-gres, alüminyum ve iletkenlik parametreleri yer almaktadır.

2.2.2. Alüminyum Kutu Üretim Prosesi

Aerosol kutu üretimi genel anlamda iki aşamadan oluşur. Birinci aşama üretim, ikinci aşama ise ambalajlamadır. Kutu üretiminde alüminyum pullar kullanılarak Şekil 2’de verilen akış diyagramına göre üretim gerçekleştirilir.



Şekil 2 Alüminyum kutu üretimi akış şeması

Şekil 3’de verilen çeşitli boyutlarda alüminyum pulların öncelikle pul kaydırıcı eklenmesi ile tamburda karıştırılması ile üretim başlar ve daha sonra soğuk ekstrüzyon ile alüminyum kutuya kaba şekli verilir.



Şekil 3 Alüminyum pul

Şekil verilen kutular daha sonra tornada ağız kısımları düzeltilir. Ağız düzeltilen ve üzerinde tornadan dolayı alüminyum artıkları, tozu ve kayganlaştırıcıdan dolayı yağ bulunan kutular vernik öncesi temizlemek için 5 istasyondan oluşan banyoya (Şekil 4) sokularak temizlenir.



Şekil 4 Banyo sağdan sola 1,2,3,4,5 istasyon

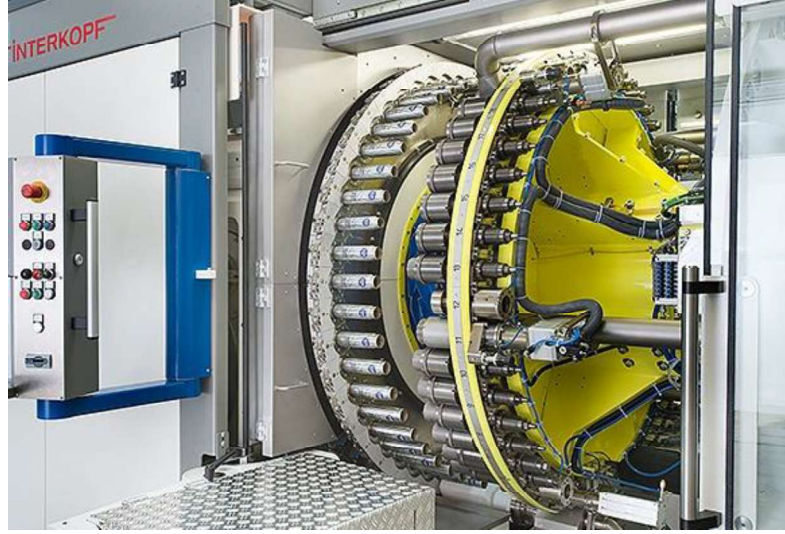
Şekil 5'te görüldüğü gibi istasyonlar ayrı olsa da yan yanadır. Banyo yıkama ve durulama olarak ikiye ayrılır, 1. ve 2. istasyonlarda şebeke suyu kullanır 70 °C sıcaklı ve kostik (NaOH) yardımı ile kutuların üzerinde kalan yağ ve alüminyumları temizler ve aynı zamanda verniğin tutunabilmesi için yüzeyi mikron seviyelerinde pürüzlü hale getirir. 3. ve 4. istasyonlarda şebeke suyu kullanılır ve yüzeylerin durulanması için kullanılır. 5. İstasyon ise demineralize veya yumuşatılmış su ile durulama sağlar böylece herhangi bir mineralin bile yüzeyde kalmadığından emin olunur.



Şekil 5 İstasyonlar

Banyoda yüzeyi temizlenmiş olan kutular daha sonra kurutma işleminden geçer ve daha sonra iç vernik uygulanır ve polimerizasyonu sağlanır. Bu işlem sayesinde kutuların içerisine konulacak olan kimyasalların alüminyum ile teması engellenir ve patlama riski ortadan kaldırılır.

İç vernik aşamasından sonra müşterinin isteğine uygun şekilde beyaz, siyah veya şeffaf olarak zemin baskısı yapılır ve üzerine müşterinin ve ürünün bilgilerinin baskısı mürekkep ile yapılır. Bu işlemin tamamlanmasından sonra kozmetik baskıların dış ortamlardan korunması için müşterinin talebine göre dış vernik yapılır bu pürüzlü veya pürüzsüz olarak tercih edilebilir.



Şekil 6 Monoblok makinesi [7]

Baskı işlemleri biten kutuların monoblok makinesi Şekil 6'da kademe kademe press ile müşterinin istemiş olduğu şekillere getirme ve tetik takılımı için uygun hale getirme işlemi yapılır. Şekil verme işlemi biten alüminyum kutular dolum yapılmaya hazır halde ambalajlanır. (Şekil 7)



Şekil 7 Paketleme işlemi tamamlanan alüminyum kutular

2.2.2. Alüminyum Banyo Suyunun Kalitesini Belirleyen Parametreler

2.2.2.1. Askıda Katı Madde / Partiküller

Askıda katı maddeler (AKM) ve partiküller yıkama sırasında alüminyum kutuların üzerine tutunarak iç vernik ve dış baskı kalitesinin bozulmasına neden olur. Ayrıca kalitenin

bozulmasından dolayı basınçlı kap olarak kullanılan kutuların içerisindeki sıvılar veya dış ortam ile teması sonucu korozyona uğrayarak patlama riski taşımaktadır. Bu nedenle en önemli parametrelerin başında gelmektedir.

2.2.2.2.İletkenlik

İletkenlik parametresi iki proseste farklı amaçlar ile kullanılmaktadır. Yıkama prosesinde dozaj miktarını ayarlamak için 8.500-11.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında kullanılır. Durulama prosesinin son istasyonu olan 5'inci istasyonda ise alüminyum kutuların son durulama istasyonunda minerallerin miktarını belirlemek için kullanılır. Müşterinin isteğine bağlı olarak bu değer belirlenmektedir. FEA standartlarına göre ideal iletkenlik değeri su yumuşatma prosesi çıkışında 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenliktir. Müşteriler 120-150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik değerinde istemesi durumunda demineralize su kullanılmaktadır. Dünya genelinde bu sanayide iletkenlik değerlerinin olması gereken aralıklarda olmaması suyun diğer parametrelerinin de olumsuz olduğuna göstergesi olarak kabul görmektedir.

2.2.2.3.Sıcaklık

Sıcaklık parametresi deterjan etkinliğinin artırılması ve sıcaklık ile yağın daha çabuk çözünmesi için kullanılmaktadır. Yıkama banyolarında 65-75 °C sıcaklık idealdir.

2.2.2.4.Yağ-Gress

Soğuk ekstrüzyon öncesi alüminyum pulların kayması için kullanılan yağdan gelen parametredir. Yağ-gress parametresi emülge değildir yüzdürme ve sıyırma yöntemi ile kontrol altında tutulmaktadır.

2.2.2.5.Alüminyum Miktarı

Yıkama sularında kullanılan kostikli deterjan nedeni ile yüksek miktarda alüminyum hidroksit ($\text{Al}(\text{OH})_3$) bulunmaktadır. Yeni şebeke suyu ve deterjan eklenerek konsantrasyon belirli bir seviyede (400-600 mg/Lt) tutulmaya çalışılır. Durulama sularında her ne kadar kostik kullanılsa da alüminyum kutuların üzerinde taşınan yıkama suları sayesinde alkalidir ve bu banyolarda da alüminyum konsantrasyonu 25-50 mg/Lt civarındadır. Bu parametrelerin daha fazla olması üretim kalitesini olumsuz etkilemektedir.

2.2.2.6.pH

Yıkama sularında kullanılan kostik nedeni ile ortalama pH değeri 11-11,50'dir. Durulama sularında her ne kadar kostik kullanılsa da alüminyum kutuların üzerinde taşınan yıkama suları sayesinde ortalama pH değeri 9-9,50'dir. pH değerinin durulama sularında daha yüksek olması yeterince debi ile taşıma yapılmadığının göstergesidir. Durulama sularında pH değerinin nötr'e (pH 7) yakın olması kalite için artı değerdir.

2.2.3. Üretim Kalitesinin Kontrolü

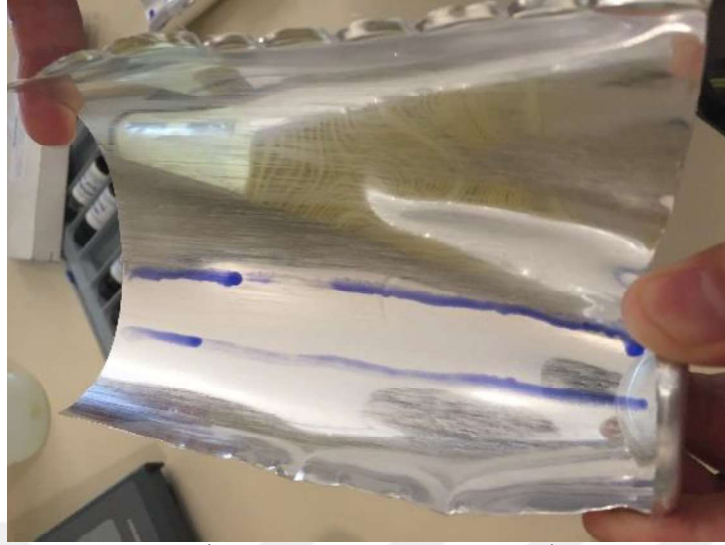
Üretim kalitesinin kontrolünü banyo çıkışı sonrası yüzey gerilim sıvısı uygulaması, pamuk testi, iç vernik miliamper testi, emaye sonrası aseton testi, mürekkep aseton testi, dış vernik sonrası etil alkol testi uygulamaları ile kontrolü periyodik olarak gerçekleştirilerek üretim kalitesinin uygunluğu sürekli kontrol edilir. Bu kalite kontrolleri ile banyonun alüminyum kutuların yüzeylerini iyi temizleyip temizlemediği ve ayrıca bu temizlik sonrası uygulanan iç yüzey vernikleme ve dış kaplamanın kalite uygunluğu kontrol edilir. Ürünlerin bu kalite testlerinden başarısız olması durumunda üretim hattında ilk incelenen proses banyoların işletme şartlarıdır. Bu nedenle banyolarda kullanılan proses suyu kalitesinin önemi üretim kalitesi için çok önemlidir.

2.2.3.1.Pamuk Testi

Yıkama sonrasında vernik kaplamadan önce alınan numuneler kesilerek iç yüzeylerine pamuk testi yapılır. Temiz pamuk 20 kere aynı yüzeye sürtülür. Uygun yıkamada pamukta kalıntı kalmaması beklenir.

2.2.3.2.Yüzey Gerilim Testi

Ürünlerin yıkama sonrasında yüzey kontrolü gerçekleştirilir. Epoksi fenol bazlı iç vernik uygulaması yapıldığı için 44 mN/m yüzey gerilimden yüksek yüzey gerilim özelliği istenir. Özel yüzey gerilim solüsyonu ile (56 mN/m) gerilim kontrol edilir. Uygun olmayan yüzeyde solüsyon düzgün yayılmaz (Şekil 8).



Şekil 8 Yüzey gerilim testi

2.2.3.3.İletkenlik Testi

Yıkama sonrasında vernik olarak adlandırılan epoksi fenol iç kaplaması yapılır bu kaplamanın yüzeyi homojen kaplamalıdır. Kontrol yöntemi olarak tuzlu su sistemi ile Enamel rater iletkenlik cihazı ile miliamper kontrolü yapılmaktadır iç vernik uygulaması için sınır 20 mA olsa da 1-2 mA arası çalışılmaktadır.

2.2.3.4.Aseton Testi

Dış yüzey kaplaması sonrasında Kaplama aseton testi yapılır. Testte dış yüzeye asetonlu pamuk belli bir kuvvet ile 20 kere sürtülür ve kaplamanın yüzeyden çıkması beklenir.

2.2.3.5.Alkol Testi

Ayrıca dış yüzeye Kaplama alkol testi şekillendirilmiş ürünlerin dış vernik kaplamasını kontrol etmek için 200 mililitre alkole ağız kısımlarından daldırılarak 3 dk beklenir.2-3 dk da daldırmadan sonra beklenerek soyulma olmaması beklenir.

2.2.3.6.Banyo Daldırma Testi

Son nihai şekillendirilmiş ürünlerden alınan numunelere banyo daldırma testi yapılır, kaplamalar 55 °C de 10 dk suda bekletildiğinde kaplamaların herhangi bir deformasyona uğramaması beklenir.

2.2.4. Banyo Proses Sularının Kalitesinin Kontrolü

Banyolar da bulunan iletkenlik sensörleri ile yıkama banyolarda 7-9 mS/cm arası Durulama Banyolarında özellikle 5. banyoda 0-1000 uS/cm çalışması beklenmektedir. Ayrıca yıkama sularının ideal temizlik yapabilmesi için 55-70 °C derece arasında sıcaklığa sahip olması gerekmektedir. Bu iletkenlik değerlerinin sağlanması durumunda yukardaki kalite testlerinden geçmesi beklenmektedir.

2.3.ALÜMİNYUM AEROSOL KUTU SANAYİSİ MEVCUT ARITMA VE GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ

Alüminyum aerosol kutu sanayisinin atıksularının direkt deşarjı söz konusu değildir. Bulunduğu bölgenin su ve kanalizasyon idaresinin veya organize sanayi bölgesine ait arıtma tesisi işletmesinin belirlemiş olduğu standartlara uygun deşarj etmekle yükümlüdür. Endüstriyel atıksular yapısı gereği içerisinde çok çeşitli ve zararlı kimyasallar bulundurmaktadır. Bu sebeple endüstriyel atıksuların arıtılması için tek bir arıtma yöntemi çoğu zaman yeterli olmaz. Bu atıksuların arıtılması için farklı yöntemlerin bir arada kullanılması gerekir. Bu durumda arıtma tesisi ilk yatırım ve işletme maliyeti çok yüksek seviyelere çıkabilmektedir.

Tablo 1’de İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ)’ne ait deşarj limitleri verilmiştir. Bu limit değerleri bağlı olunan bölgede aktif olarak işletilen atıksu arıtma tesisinin sahip olduğu altyapıya göre değişiklik göstermektedir. Tam arıtma ile sonuçlanan bir tesis, ön arıtma ve daha sonrasında derindeniz deşarjı yapan tesise göre daha yüksek limitlerde deşarj imkanı sağlar.

Her sektörün sorumlu olduğu parametreler ve deşarj standartları sektörüne göre Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği kapsamında farklıdır. Genel metal hazırlama, işleme olarak kategorize edilen sektörün sorumlu olduğu ana parametreler Tablo 2’de gösterilmektedir.

İşletmede kullanılan hammaddeler, kimyasallar ve banyoların şartları göz önünde bulundurulduğunda sıcaklık, pH, AKM, alüminyum ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) parametrelerinde deşarj limit değerlerinin üzerindedir. Bu nedenle deşarj limitlerini sağlamak için fabrikaya atıksu arıtma tesisi kurulması ya da geri kazanım sisteminin kurulması zorunludur.

Tablo 1 İSKİ deşarj limitleri [8]

Parametre	Kanalizasyon Sistemleri Tam Arıtma İle Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesislerinde	Kanalizasyon Sistemleri Ön Arıtma + Derin Deniz Deşarjı İle Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesislerinde
Sıcaklık (°C)	50	50
pH	6-12	6-12
Askıda katı madde (mg/L)	500	350
Yağ ve gres (mg/L)	150	50
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	1000	600
Sülfat (SO ₄ ⁻) (mg/L)	1700	1700
Toplam sülfür (S) (mg/L)	2	2
Fenol (mg/L)	10	10
Toplam fosfor (P) (mg/L)	-	10
Arsenik (As) (mg/L)	3	10
Toplam siyanür (Toplam CN ⁻) (mg/L)	10	10
Toplam kurşun (Pb) (mg/L)	3	3
Toplam kadmiyum (Cd) (mg/L)	2	2
Toplam krom (Cr) (mg/L)	5	5
Toplam civa (Hg) (mg/L)	0.2	0.2
Toplam bakır (Cu) (mg/L)	5	5
Toplam nikel (Ni) (mg/L)	5	5
Toplam çinko (Zn) (mg/L)	10	10
Klorür (Cl ⁻) (mg/L)	15000	-
Metilen mavisi ile reaksiyon veren yüzey aktif maddeleri(MBAS) (mg/L)	Biyolojik olarak parçalanması Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır.	

Tablo 2’de verilen deşarj standartları incelendiğinde atıksu arıtma tesisinin yüksek verimle çalışması gerektiği görülmektedir. Organik madde, yağ-gres ve metal iyonlarının giderilmesi için farklı arıtma yöntemlerinden oluşan entegre bir arıtma sisteminin kullanılmasının zorunlu olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 2 Metal sanayii (genelde metal hazırlama ve işleme) deşarj standartları [8]

Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 Saatlik	Kompozit Numune 24 Saatlik
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	200	100
Askıda Katı Madde (AKM)	(mg/L)	120	50
Yağ ve Gres	(mg/L)	20	10
Amonyum Azotu (NH ₄ -N)	(mg/L)	100	-
Nitrit Azotu (NO ₂ -N)	(mg/L)	10	5
Aktif Klor	(mg/L)	0.5	-
Sülfür (S ²⁻)	(mg/L)	2	-
Toplam Krom*	(mg/L)	2	1
Krom (Cr ⁺⁶)*	(mg/L)	0.5	0.5
Kurşun (Pb)*	(mg/L)	2	1
Toplam Siyanür (Cn ⁻)*	(mg/L)	0.5	0.1
Civa (Hg)*	(mg/L)	0.05	0.01
Kadmiyum (Cd)*	(mg/L)	0.5	0.1
Alüminyum (Al)*	(mg/L)	3	2
Demir (Fe)*	(mg/L)	3	-
Florür (F ⁻)*	(mg/L)	50	30
Bakır (Cu)*	(mg/L)	3	1
Nikel (Ni)*	(mg/L)	3	2
Çinko (Zn)*	(mg/L)	5	3
Gümüş (Ag)*	(mg/L)	0.1	-
Balık Biyodeneyi (ZSF)	-	10	-
pH	-	6-9	6-9

(*) Bu parametrelerden hangilerinin atıksuda bulunması bekleniyorsa, onların analizleri yapılmalıdır. Aksi takdirde bunlar dışındaki parametreler analiz edilerek, tabloda verilen değerlere uygunlukları kontrol edilmelidir.

2.3.1. Üretimde Önemli Su Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi

Üretim prosesinin en önemli parçalarından olan banyoların en iyi şekilde yüzey temizliği gerçekleştirilmesi adına yıkama ve durulama proseslerine olması gereken önemli parametreler bulunmaktadır. Yıkama suyu, ekstrüzyon ve torna sonrası yağlı ve kirli yüzeyin temizlenmesi kısmıdır. Bu nedenle askıda katı madde ve alüminyum miktarı durulamaya göre daha yüksek değerleri tolere edebilmektedir fakat yine de belirli bir değerden sonra yıkama işlemini olumsuz

etkilemesinden dolayı çok yüksek olması tercih edilmemektedir. Bu nedenle banyoya sürekli olarak taze su ve deterjan eklemesi yapılır ve taşma yöntemi ile kirlenmiş olan su üretim prosesinden uzaklaştırılır. pH değeri ise alkali deterjan dozlanmasından dolayı yüksek olup bu deterjanın aktivitesini ve etkisinin artırılması için sıcaklık değeri 65-75 °C aralığında tercih edilmektedir. Bu nedenle arıtılmış olan suyun Tablo 3'te belirtilen değer aralığında olması üretimin performansı için idealdir.

Tablo 3 Yıkama atıksularının ideal çalışma aralığı

Parametre	Birim	İdeal Çalışma Aralığı
Askıda Katı Madde (AKM)	(mg/L)	50-150
Yağ ve Gres	(mg/L)	0-60
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	100-600
pH	-	11-12
Alüminyum (Al ⁺³)	(mg/L)	200-700
Sıcaklık	°C	65-75

Durulama suyu, iç yüzeyine vernik ve dış yüzeyine zemin boyası uygulamaları öncesi kirleticilerden ve deterjandan temizlenmesi kısmıdır. Yüzeğe yapışabilecek ve kaplama kalitesini etkileyecek herhangi bir kirletici istenmemektedir ve bu nedenle 3 istasyon bulunmakta ve yıkama prosesine göre daha fazla su tüketimi yapılmaktadır. İdeal çalışma aralığı olarak belirlenen parametre değerleri bu nedenle yıkama prosesine göre daha düşük ve hassastır. pH değeri alüminyum ambalaj yüzeylerinde yıkama prosesinden kalan alkali deterjanın durulanması nedeniyle 9-10 aralığındadır. Sıcaklık durulama prosesi için önem teşkil etmese de sıcak olan havuzdan ısı transferi ile 30-40 °C derece aralığında seyretmektedir. Tablo 4' te ideal çalışma aralığı için önemli parametreler paylaşılmıştır.

Tablo 4 Durulama atıksularının ideal çalışma aralığı

Parametre	Birim	İdeal Çalışma Aralığı
Askıda Katı Madde (AKM)	(mg/L)	0-10
Yağ ve Gres	(mg/L)	0-10
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	10-60
pH	-	9-10
Alüminyum (Al ⁺³)	(mg/L)	10-50
Sıcaklık	°C	30-40

2.3.2. Konvansiyonel Arıtma

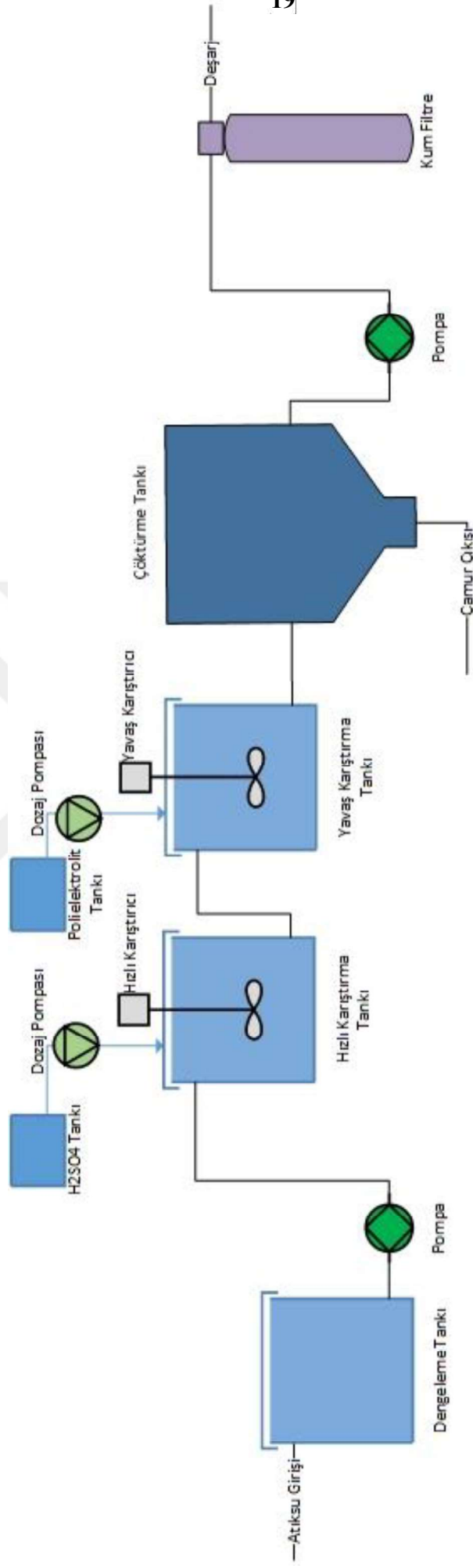
Konvansiyonel arıtma sistemlerinde prosese uygun koagülant seçilir, ideal koagülant dozu jar testi ile belirlenir ve bu koagülantın çalıştığı ideal pH ayarı belirlenir. Alüminyum kutu ambalaj sektörünün banyolarından çıkan atıksuda alüminyum bulunmaktadır bu nedenle konvansiyonel arıtma yöntemlerinin aksine koagülant kullanımı ve ayarı gerekmemektedir.

Banyolardan çıkan yıkama ve durulama atıksuları karışım olarak dengeleme tankında depolanır. Prosesin tasarımına göre seçilen pompa ile belirlenen debi ile su hızlı karıştırma tankına terfi edilir. Bekletme süresi 1-3 dk olarak belirlenen hızlı karıştırma tankında alkali olan atıksuyun ideal pH ayarına getirilmesi için H_2SO_4 dozlaması gerçekleştirilir, pH ayarı yapıldığında suyun yapısında bulunan $Al(OH)_3$, H_2SO_4 ile iyon değiştirerek su (H_2O) ve koagülant olarak kullanılan $Al_2(SO_4)_3$ bileşiklerini oluşturur. Daha sonra bekletme süresi 20-30 dk olarak belirlenen yavaş karıştırma ünitesine cazibeli akım ile geçen atıksuya flokların büyümesi ve verimin artırılması için daha önceden 0,3% oranında hazırlanmış anyonik polielektrolit dozajlaması ve yavaş karıştırma işlemi gerçekleştirilir. Bekletme süresi 60-90 dk olarak belirlenen çöktürme tankına cazibeli akım ile geçen atıksudan olgunlaşmış ve ağırlaşmış olan floklar yerçekimi etkisi ile çöktürülür. Savaklanan arıtılmış su pompa yardımı ile kum filtreden geçirilir ve çökmeyen partikül ve flokların deşarj edilmesi önlenir. Çökme sonucunda çöktürme tankının altında biriken mineral çamuru susuzlaştırma işlemi yapıldıktan sonra yönetmeliklere uygun şekilde bertarafı sağlanır. Konvansiyonel yöntem ile arıtma sistemlerinin akım şeması Şekil 9’te gösterildiği gibidir.[9]

Konvansiyonel arıtma ile deşarj limitlerinin üzerinde olan sıcaklık, pH, $KOİ$, alüminyum, ve AKM parametrelerinin giderimi gerçekleştirilerek deşarja uygun hale getirilir.

Chai vd. 2021 yaptığı araştırmada geleneksel ve yeni malzemeler(N-type metal-oxide-semiconductor, Graphne, g- N_3C_4) ile adsorbsiyon yapılması sonucunda ağır metal gideriminde farkı incelemiştir ve yeni malzemelerin olumlu sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. [10]

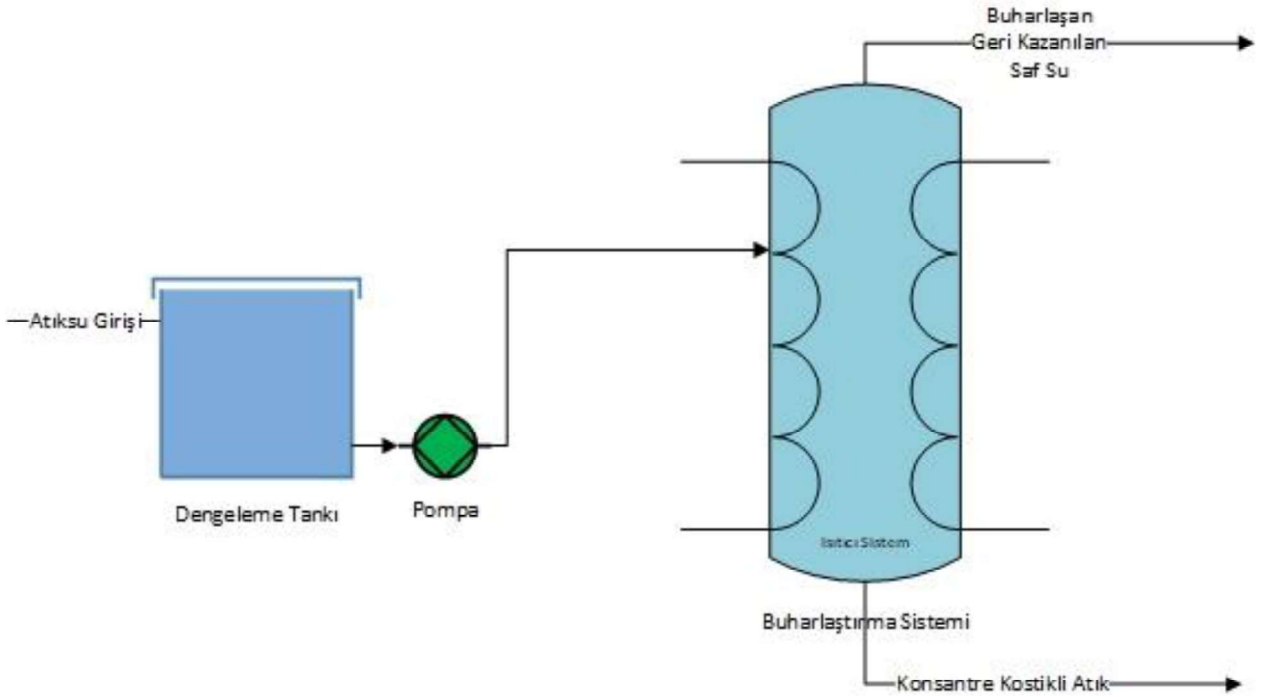
Eniola vd. 2022 yaptığı ilaç sektöründe konvansiyonel ve ileri-hibrid teknolojilerin incelemesini gerçekleştirmiştir. hibrit teknolojinin veya iki veya daha fazla teknolojinin entegrasyonunun, tek bir operasyonda daha fazla ilacı ortadan kaldıracak gelişmiş teknolojilerin gelecekteki gelişimi için bir odak noktası olarak kalması gerektiği sonucuna varılmıştır. [11]



Şekil 9 Konvansiyonel arıtma sistemi akım şeması

2.3.3. Evaporasyon İle Proses Suyu Geri Kazanımı

Evaporasyon yöntemi ile geri kazanım sağlanabilmektedir. Geri kazanım sırasında yüksek ısı enerjisi gerekmektedir. Bu geri kazanım yöntemi ile atıksuda bulunan ağır metal, AKM, yağ-gres, tuz, kostik gibi kirleticilerin buharlaşmaması prensibine dayanarak gerçekleştirilmektedir. Bu geri kazanım sonucunda 0 mS/cm iletkenliğe sahip pH değeri 7 olan saf su elde edilmektedir. Bu proses sırasında kostik buharlaşmamaktadır. Buharlaşmamasının nedeni kostiğin kaynama noktasının 1388 °C derece olmasıdır. Bu süreçte kostik bimesi %48-50'ye ulaştıktan sonra çözünürlüğü azaldığı için kristalleşmeye başlar bu nedenle evaporasyon işlemine devam edilmez ve kirletici konsantrasyonu yüksek kostik bertarafa gönderilir. Bu proses sırasında kostik miktarı kadar aynı zamanda su da bertarafa gitmek durumunda kalır. Akım şeması Şekil 10'da gösterildiği gibidir. [12]



Şekil 10 Evaporasyon ile proses suyu geri kazanımı akım şeması

Elmas 2017 yaptığı çalışmada tekstil sektörünün mercerizasyon prosesinde meydana gelen su oranı yüksek kostiğin evaporasyon yöntemi ile suyun buharlaştırılması ile kostiğin tekrar kullanılmasını araştırmıştır. Böyle bir yatırımın, yani “Kostik Soda Geri Kazanımına Yönelik

Buharlaştırma Tesisi”nin doğru bir şekilde kurulduğu ve işletildiği takdirde kazançlı olabileceği sonucuna ulaşmıştır.[13]

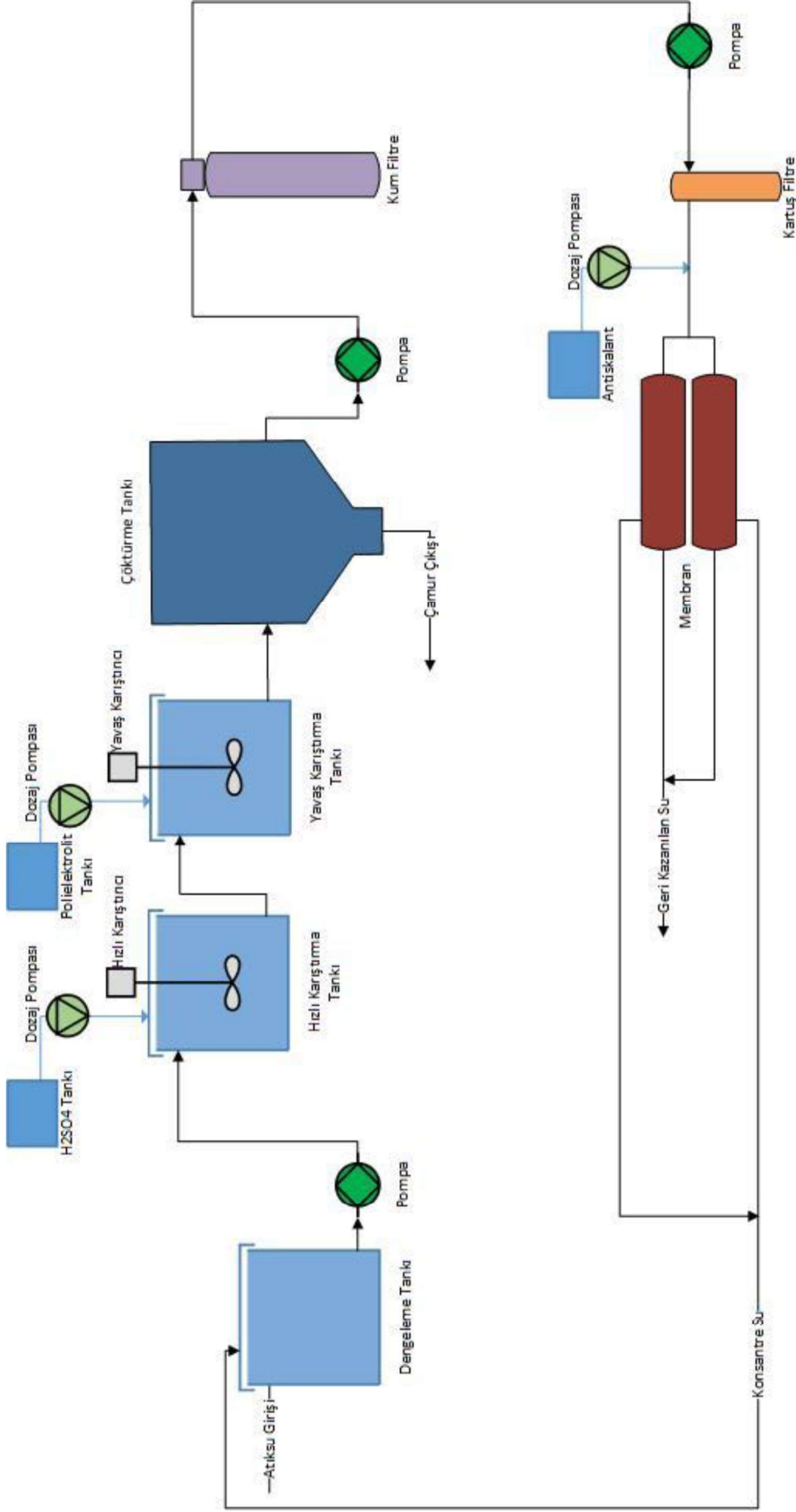
Vazquez-Rojas vd. 2018 yaptığı çalışmada yüksek NaOH konsantrasyonlarına (0.44 – 0.5 kütle fraksiyonu) ve yüksek sıcaklıklara (60 °C'nin üzerinde, 86mmHg'de) ek olarak sülfat ve klorür iyonlarının varlığı) üçlü tuzun ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{NaCl} \cdot \text{NaOH}$) çökmesine neden olduğunu saptamıştır. Bu çalışma sonucunda, Aspen Plus'ta tesis verilerini kullanarak üçlü etkili bir evaporatör modelinin kullanılmasına ve doğrulanmasına odaklanmıştır ve daha düşük sıcaklıklar ve sülfatların ekstraksiyonu, evaporatörün son aşamalarında çöken üçlü tuz oranını azaltığı bilgisi elde edilmiştir.

2.3.4. Membran Teknolojisi ile Proses Suyu Geri Kazanımı

Konvensiyonel arıtıma prosesinden sonra atıksuyu kanalizasyona deşarj etmek yerine çıkış suyunu yüksek basınç pompası ile membrandan geçirilmesi yöntemi ile geri kazanımı mümkündür. Fakat membran sistemlerinde ortalama %60 oranında geri kazanım yüzdesi elde edilebilmektedir ve yüksek işletme maliyetlerine sahiptir. %40 olan konsantre atıklarının sistemin başına gönderilip tasarruf sağlanılmaya çalışılsa da, zamanla belirli parametrelerde şişmeler gerçekleşmektedir. Akım şeması Şekil 11’da gösterildiği gibidir. [14]

Sayyad vd. 2022 yaptığı çalışmada ticari olarak kullanılan programlarda ters osmoz(RO) modellemesini doğru yapsa da Hibrit İleri Ozmoz-Ters Ozmoz(FO-RO) sistemi çoğu modellemenin çok elemanlı alan ölçeğinde RO sistemlerini doğru bir şekilde temsil etmediğini bulmuştur. Bu çalışmada python platformunda oluşturulan Hibrit FO-RO modellemesinin esneklik verdiğini ve sisteminin performans parametrelerini tasarlamak ve tahmin etmek için kullanılabilirliği bilgisi elde edilmiştir. [15]

Elezhar vd. 2021 yaptığı çalışmada yüzey sularının tuzdan arındırılmasında nanofiltrasyon(NF), RO tekli kombinasyonları ve NF-RO hibrit sistemlerin performanslarının karşılaştırılmasını ROSA simülasyonu üzerinden yapmıştır. Hibrit NF-RO sisteminin RO işlemine göre daha az membran elemanı ve daha düşük spesifik enerji tüketimi gerektirdiğini, tek RO sisteminin ise sırasıyla NF-RO hibrit sistemine ve tek kombinasyon NF sistemine göre 3 ve 2 kat daha fazla membran gerektirdiğini göstermiştir.[16]



Şekil 11 Membran teknolojisi ile proses suyu geri kazanımı akım şeması

2.3.5. İyon Değiştirici Reçineler ile Proses Suyu Geri Kazanımı

Konvensiyonel arıtma prosesinden sonra atıksuyu kanalizasyona deşarj etmek yerine çıkış suyunu aktif karbon ve iyon değiştirici reçinelerden geçirilmesi ile tekrar geri kazanımı mümkündür.

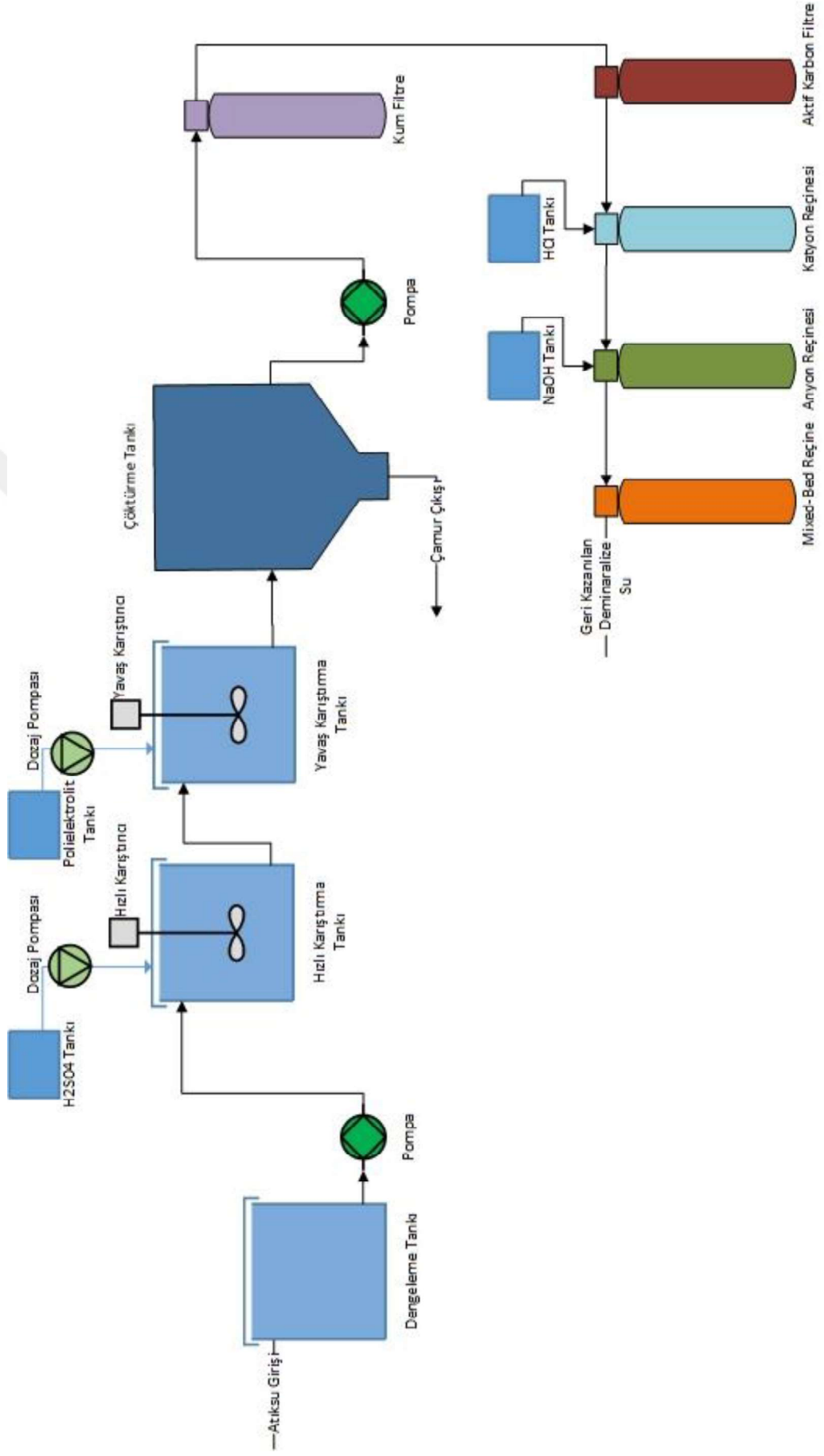
Kum filtreden çıkan partiküllerinden arındırılmış atıksu aktif karbon filtreden geçirilir bu proseste ağır metal olan alüminyum, organik madde, AKM ve KOİ parametrelerinde arıtım gerçekleştirilir. Daha sonra içerisinde bulunan, arıtılmayan iyonların giderilmesi ve suyun demineralize olarak kazanılması için iyon değiştirici reçine sistemlerinden geçirilir. Bu iyon değiştirici reçineler sırasıyla katyonik reçine, anyonik reçine ve mixed-bed reçine sistemleridir. Katyonik reçine sistemi, katyon reçinesi olan hidrojen (H^+) reçinesi bulunur, atıksuyun içerisinde bulunan pozitif yüklü iyonları sudan uzaklaştırarak üzerine alır ve suya hidrojen iyonlarını verir. İçerisinde hidrojen iyonları artan suyun pH değeri düşer ve asidik olur. Katyonik reçine sisteminden çıkan su anyonik reçine sistemine girer. Anyonik reçine sisteminde, anyon reçinesi olan hidroksit (OH^-) reçinesi bulunur, atıksuyun içerisinde bulunan negatif yüklü iyonları sudan uzaklaştırarak üzerine alır ve suya hidroksit iyonlarını verir. Katyonik reçineden çıkan, içerisinde yüksek miktarda hidrojen iyonları bulunduran atıksuyun içerisinde anyonik reçineden gelen hidroksit iyonları birleşerek H_2O bileşimini yani saf su oluşturur. Katyonik reçine sisteminden ve anyonik reçine sisteminden çıkan atıksuların kirleticileri iyonları alınmış ve yerine saf su verilmiş olur böylece suyun kalitesi artırılmış olur. Daha sonra anyonik reçine sisteminden çıkan atıksu mixed-bed reçine yani karışık yataklı iyon değiştirme sistemine girer. Bu sistemin içerisinde aynı anda hidrojen ve hidroksit reçineleri bulunur. Mixed-Bed iyon değiştirme sisteminin kullanılma amacı atıksuyun iyon dengesinin sağlanmasıdır. Bu sistemlerde %90-95 oranında geri kazanım yüzdesi elde edilmektedir. Akım şeması Şekil 12'da gösterildiği gibidir. [17]

Bu sistemin kullanımının devamlılığı için iyon değiştirici reçine sistemlerinin rejenerasyonun yapılması gerekmektedir. Katyonik reçine sistemlerinin rejenerasyonunda HCl kimyasalı kullanılırken, anyonik reçine sistemlerinde NaOH kimyasalı kullanılmaktadır. İyon dengesini sağlamak için kullanılan çok fazla iyon yükü gelmeyen mixed-bed reçine rejenerasyonu karışık olduğu için yapılmaz kapasitesinin dolması sonucunda yenisi ile değiştirilir.

Laforce vd. 2022 çalışmasında doğal organik madde (NOM) gideriminin makro gözenekli zayıf bazik anyon değişim reçinesi (WBA), güçlü bazik anyon değişim reçinesi (SBA) ve birleşik zayıf/güçlü temel anyonik değişim reçineleri(AER) ile verimlerinin karşılaştırılması çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, yalnızca AER tipinin değil, aynı zamanda koşullandırma prosedürünün ve karşılık gelen karşı iyon formunun da başarılı NOM giderme süreçlerinin tasarımında önemli bir rol oynadığını açıkça göstermektedir. [18]

Hussain vd. 2019 çalışmasında tuzlu yeraltı suyu, saha kırılma kimyasalları ile uyumlu olmayan yüksek bor konsantrasyonuna sahip olan ve bu nedenle, düşük bir bor konsantrasyonu arzu edilmesinden dolayı nötr pH'ta bor çıkarma potansiyeline sahip yeni bir iyon değişim reçinesini değerlendirmiştir. Çeşitli pH'larda tezgah ölçekli izoterm deneyleri, pH 7 ve 10 arasında giderme verimliliğinde ihmal edilebilir bir fark ortaya çıkarmıştır. 25°C ve 70°C'de yürütülen deneyler, daha düşük sıcaklıkta daha yüksek bor giderme emilimi göstermiştir. Reçine, arka arkaya %7 HCl ve %4 NaOH solüsyonları kullanılarak defalarca başarılı bir şekilde rejenere edilebildiği sonucu elde edilmiştir ve ortaya çıkan bu reçinenin tuzlu yeraltı suyu kaynaklarından seçici bor giderme için büyük ölçekli uygulamalar için uygulanabileceğini açıklanmıştır. [19]

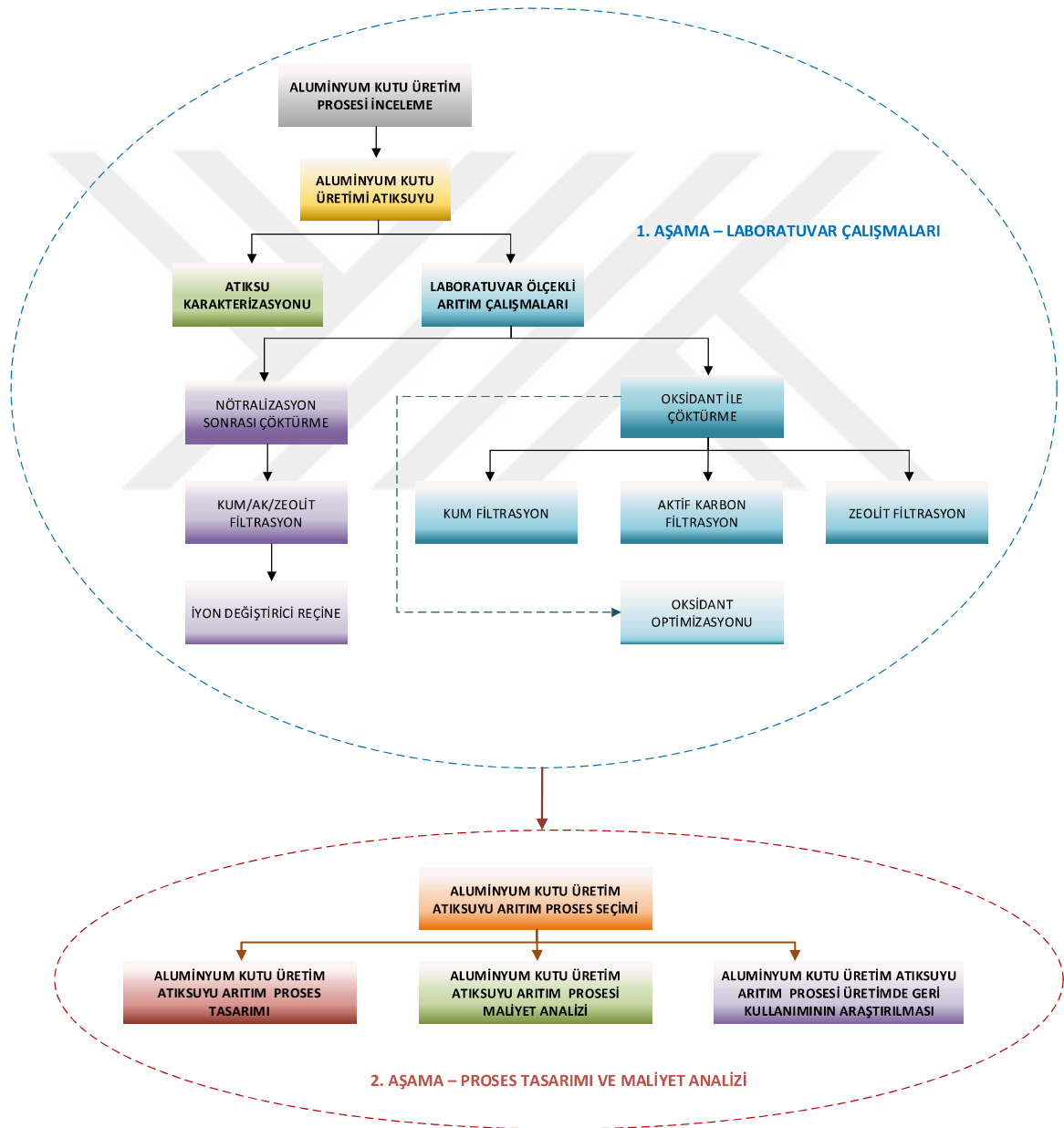
Gomes vd. 2001 bu çalışmada endüstriyel bir mineral giderme tesisinde tükendiği düşünülen bir kuvvetli asidik, bir kuvvetli bazik ve bir zayıf bazik iyon değişim reçinesi, siyanür çözeltilerinden altın geri kazanımı için taranmıştır. Gözler sonucunda geri kazanım kabiliyeti ve rejenerasyon kolaylığı, zayıf baz anyon değiştirici Purolite A-100 seçilmiştir. Bu kullanılmış reçine 60°C'ye kadar stabildir ve rejenerasyondan sonra yenisiyle karşılaştırıldığında fiziksel özelliklerini korur. Reçine için denge verileri belirlenmiştir ve reçinenin altın için çok yüksek kapasitesi (~500 mg Au/g kuru reçine) kanıtlanmıştır. Çalışma sonucunda modelin kütle transferine karşı büyük bir iç direnç kullanıldığında deneysel elüsyon sonuçlarını makul bir şekilde temsil edebildiği gözlemlenmiştir. Bu doyma/elüsyon işleminde, çökelme de olsa, başlangıç altın çözeltisinin 25 kat konsantrasyonu elde edilmiş ve bu da altının geri kazanılması için yöntemin uygulanabilirliğini göstererek reçinelerin kullanım ömrünü uzatır ve kirliliği azaltığı sonucuna varılmıştır. [20]



Şekil 12 İyon değiştirici reçineler ile proses suyu geri kazanımı akım şeması

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada alüminyum kutu üretim sanayi atıksularının arıtılması ve arıtılan atıksuların üretim proseslerinde geri kullanılabilirliği araştırılmıştır. Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların özeti Şekil 13’de verilmiştir.



Şekil 13 Tez çalışması özet gösterimi

Çalışmanın birinci aşamasında laboratuvar ortamında atıksu karakterizasyonu ve arıtılabilirlik çalışmaları gerçekleştirilirken ikinci aşamasında elde edilen sonuçlar kullanılarak arıtma

prosesi seçimi, prosesin maliyet analizi ve arıtılan atıksuların üretim proseslerinde yeniden kullanılması durumunda ürünler üzerine etkisi araştırılmıştır.

3.1. ALÜMİNYUM KUTU ÜRETİM ATIKSUYU

Alüminyum kutu üretimin proseslerinde atıksuyun kaynağı olan banyo prosesinin işleyişinin nasıl olduğu, durulama ve yıkama su kalitesinin önemi detayları paylaşılmıştır.

3.1.1. Banyo Prosesinin İşleyişi

1'inci ve 2'nci istasyonlara yağı daha iyi temizlemesi ve deterjanın aktivitesinin ideal olduğu 70 °C derece sıcak su verilir ve Şekil 14'de gösterilen rezistanslar ile sıcaklık korunur.



Şekil 14 İstasyonların rezistansları

Deterjan dozajlama işlemi ise probalar sayesinde otomatik olarak iletkenliğe göre gerçekleştirilir.(Şekil 15 Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.)



Şekil 15 İletkenlik ve sıcaklık problemlerinin transmitterleri

5 istasyonda da proses boyunca kirli yüzey suları taşarak tahliye edilmektedir. Üretim boyunca bu taşan su yerine besleme yapılır ve Şekil 16’de gösterildiği gibi hepsi tek bir kanalda toplanarak arıtma tesisine gönderilir.



Şekil 16 Taşkın suların toplanması

3.1.2. Banyo Prosesi Su Kalitesinin Önemi

Yıkama proseslerin kullanılan suların ürün kalitesine zarar vermemesi için belirli standartlar geliştirilmiştir. Bu standartlarda FEA’ya göre durumlar belirlenmiştir.

Üretimin en önemli proseslerinden biri banyo prosesidir. Bunun nedeni alüminyum kutu yüzeyinin yeterince temiz olmaması durumunda üretim aşamalarından olan iç ve dış vernik uygulamalarını etkilemesidir. İç ve dış vernik uygulamaları eğer istenilen kalite seviyesinde olmaz ise alüminyum kutu dolum sonrasında içerisinde ihtiva ettiği sıvı ile ve/veya dış ortam ile etkileşime girebilir. Bu etkileşim sonucunda korozyon oluşur. Dolum esnasında hava ile basınçlandırılan kutu korozyon sonucunda zayıflar ve patlama riski bulunur. Bu risk yalnızca bireysel kullanımda değil aynı zamanda binlerce kutunun depolandığı sırada da olacağı için sonuçları yüksek can ve mal kayıplarına sebebiyet verebilir. Bu sebeple üretim aşaması kullanılan istasyon suyunun kalitesi çok önemlidir.

3.1.2.1. Yıkama İstasyonları Su Kalitesi

Yıkama istasyonları tornadan çıkan alüminyum kutuların ilk girdiği 1. ve 2. istasyonlardır. (İstasyon başına yaklaşık 200-400lt/h debi ile 70°C dereceye ısıtılmış taze şebeke suyu verilir ve fazla su taşkın ile alınır(Şekil 16). Banyo prosesinde istasyonlar arasında en çok kirletici parametreye sahip istasyonlardır.

Taze şebeke suyu verilmesinin sebebi alüminyum kutuların üzerinde bulunan alüminyum tozlarının alkali medya içerisinde çözünerek alüminyum hidroksit($Al(OH)_3$) oluşturması ve alüminyum kutuların yüzeyinde bulunan yağların sıcak ve alkali suda çözünerek kirletmesidir. Devamlı taze suyun verilmesi sayesinde suyun kalitesi aynı seviyede tutulur ve yüzey temizlik kalitesini etkilememesi sağlanır.

Temizlik için kullanılan ana maddesi kostik olan deterjan ile kullanılmaktadır. Yıkama istasyonlarının içerisinde bulunan iletkenlik problemleri ile ayarlanarak otomatik olarak dozajlanmaktadır. Bu dozaj oranı üretimin detayına göre operatörler tarafından 8.500-11.000 $\mu S/cm$ iletkenlik değerine ayarlanır. Temizliğin etkisini arttırmak için 65-70 °C derece sıcaklıkta su ısıtılarak verilir ve rezistanslar(Şekil 14) sayesinde de sıcaklık korunur.

Yıkama istasyonlarında en önemli parametreler iletkenlik, sıcaklık problemleri ile ölçülürken, partiküller ve istasyonun üzerinde oluşan yağ/köpük gözlem ile firma tarafından kontrol edilmektedir.(Şekil 17)



Şekil 17 İstasyonlarda oluşan kirleticilerin gözlemlenmesi

Eğer kirletici miktarı arttığı gözlemlenirse operatörler tecrübelerine dayanarak kalitenin bozulmaması için debileri arttırma işlemi gerçekleştirirler.

3.1.2.2. Durulama İstasyonları Su Kalitesi

Sıcak su ve kostikli deterjan ile temizlenmiş olan alüminyum kutular 3 ve 4'üncü istasyonlarda durulama işlemi gerçekleştirilir. İstasyon başına 400-600 lt/h debi şebeke suyu verilir.

3 ve 4'üncü istasyonlarda en önemli parametreler partiküller ve istasyonun üzerinde oluşan yağ/köpük gözlem ile firma tarafından kontrol edilmektedir. Eğer kirletici miktarı arttığı gözlemlenirse operatörler tecrübelerine dayanarak kalitenin bozulmaması için debileri arttırma işlemi gerçekleştirirler.

5'inci istasyonda ise işletmenin veya müşterinin tercihinine göre demineralize su veya yumuşak su kullanılmaktadır. 400-600 lt/h debi ile beslenmektedir. En önemli parametre 400 μ S/cm iletkenlik değeri prob ile ölçülürken, partiküller ve istasyonun üzerinde oluşan yağ/köpük gözlem ile firma tarafından kontrol edilmektedir.

3.2. ATIKSU TEMİNİ

Atıksu Şekil 5'de gösterildiği üzere 5 istasyondan ayrı ayrı olmak üzere numune kapları daldırılarak alınmıştır ve hava ile teması kesilerek kapakları kapatılmıştır.

3.3. ATIKSU KARAKTERİZASYONU

Atıksu kaynağı olan banyolar 5 istasyondan oluşmaktadır. Bu 5 istasyonun debileri ve karakterleri birbirinden farklıdır. Bu istasyonların belirleyici parametrelerinin ölçülmesi yöntemi ile karakter yakınlığı olan atıksuların belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Analiz Yöntemleri

Alüminyum aerosol kutu fabrikasının banyolarından alınan atıksuların karakterinin belirlenmesinde önemli parametreler belirlenmiş olup temin edilen atıksuların ve arıtım çalışmaları sonucunda oluşan numunelerin karakterizasyonu için uygulanan deneyler Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5 Tez süresince kullanılan deneyler

Deney	Yöntem	Açıklama	Kaynak
KOI	5220 D	Kapalı reflux, kolorimetrik yöntem	[21]
AKM	2540 B	Gravimetrik	[21]
Alkalinite	2320 B	Titrimetrik yöntem	[21]
İletkenlik	-	Kondüktometre	-
pH	-	Elektrokimyasal değişim	-
TOK	2540 E	Islak oksidasyon	[21]
Al ³⁺	-	Kromazurol S	-
Bulanıklık	2130 B	Nefelometrik yöntem	[21]

3.3.2. Kullanılan Kimyasallar

Laboratuvar çalışmaları kapsamında kullanılan kimyasalların bilgileri ve kullanım nedenleri aşağıda özetlenmiştir.

Sodyum Hidroksit: İnorganik bir bileşiktir. NaOH formülüne sahiptir. Deneyler sırasında pH ayarı için kullanılmıştır. 1 litrelik 1N solüsyon hazırlamak için 40 gr MERCK 109137 NaOH kullanılmıştır.

Sülfürik Asit: Güçlü bir mineral asididir ve H₂SO₄ formülüne sahiptir. pH ayarı için kullanılmıştır. 900ml suya 27.6 ml MERCK 112080 H₂SO₄ eklenmiştir ve daha sonra su eklenerek 1 litreye tamamlanmıştır.

Oksidant™: Güçlü bir oksitleyicidir ve patent konusu olması nedeniyle detaylı bilgi paylaşmamaktadır.

3.3.3. Kullanılan Filtre Malzemeleri

Laboratuvar çalışmaları kapsamında filtrasyon işlemi için aşağıda özetlenmiş olan filtre mineralleri kullanılmıştır.

Kum Filtre: Kolonda kademeli olarak filtrasyon sağlamak amacıyla en aşağıdan yukarıya olmak üzere 5-10mm filtre çakılı, 3-5mm filtre çakılı, 1-3mm quartz kum tane boyutlarına filtre medyası kullanılmıştır.

Quartz kum, kuvarsca zengin magmatik, metamorfik kayaların ayrışması sonucu oluşan küçük kuvars (SiO_2) tanecikleridir. Kuvars, bir kısım silikon ve iki kısım oksijenden oluşan kimyasal bir bileşiktir. Kuvars kumu yüksek sertlikte olduğundan (7Mohs) en sert minerallerden biridir. [22]

Zeolit Filtre: Kolonda kademeli olarak filtrasyon sağlamak amacıyla en aşağıdan yukarıya olmak üzere 5-10mm, 3-5mm, 1-3mm tane boyutlarına sahip klinoptilolit türü zeolit kullanılmıştır.

Doğada 50 çeşidin üzerinde doğal zeolit minerali vardır. Klinoptilolit, hölandit grubundan olan ve en çok bulunan türüdür. Endüstriyel ve ticari uygulamalar için en uygun zeolit türü klinoptilolittir. Dünya doğal zeolit üretiminin %90'ı bu türdür. Doğal zeolitlerin yanı sıra, sentetik zeolitler de özel kullanım alanları için geliştirilmektedir. [23]

Aktif Karbon: Kolonda filtre yatağı olarak granül aktif karbondan önce kademeli (5-10mm, 3-5mm) filtre çakılı kullanılmıştır. En üstte 8x30 olarak tabir edilen granül yapıda 0,60-2,36mm boyutlarında, 900mg/g min iyodin sayısına sahip aktif karbon kullanılmıştır.

Yüksek karbon içeriğine sahip maddelere(kömür, ağaç, hindistan cevizi kabuğu vb.) aktivasyon prosesi uygulanması ile iç gözenek hacmi ve yüzey alanı oldukça geliştirilmiş adsorbent malzeme aktif karbon olarak tanımlanır. Yapısını ifade eden herhangi bir kimyasal formül bulunmamaktadır. Aktif karbonun mikro gözenekli yapısı, genişletilmiş yüzey alanı, yüzey reaktivitesi ve yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve eşsiz bir adsorbent olarak kullanılmasını sağlar. [24]

3.3.4. Kullanılan Analiz Cihazları

3.3.4.1. Bulanıklık Ölçer:

- Marka: WTW
- Ölçüm Aralığı: 0... 1100 NTU/FNU
- Ölçüm Hassasiyeti : Ölçülen değer \pm %2

- Ölçüm Prensipleri : Neflometrik
- Işık Kaynağı : IR-LED (860 nm)
- ISO 7027 – DIN/EN 27 027 standartlarına göre ölçüm yapar. [25]

3.3.4.2.pH, İletkenlik ve Sıcaklık Ölçümü

- Marka: HACH
- İletkenlik Çözünürlüğü: 5 basamaklı, ondalık ayırıcıdan sonra 2 basamak
- İletkenlik Doğruluğu: ± 0.5 ($1\mu\text{S}/\text{cm}$ - $200\text{mS}/\text{cm}$) aralığında
- İletkenlik Ölçüm Aralığı: $0.01 \mu\text{S}/\text{cm}$ - $200.0 \text{mS}/\text{cm}$
- pH Çözünürlüğü: Şunlar arasında seçim yapılabilir: 0.001 - 0.1 pH
- pH Doğruluğu: $\pm 0,002$ pH
- pH Ölçüm Aralığı: 0 - 14 pH
- Sıcaklık Çözünürlüğü: $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$
- Sıcaklık Doğruluğu: $\pm 0.3 \text{ }^\circ\text{C}$
- Sıcaklık Aralığı: $10,0 \text{ }^\circ\text{C}$ / $+110,0 \text{ }^\circ\text{C}$ [26]

3.3.4.3.KOI Ölçümü

Kapalı reflux kolonlarında gerçekleştirilmiştir.

- Marka: HACH
- Ölçüm Aralığı: 100-2000 mg/l COD (KOİ)
- Metot: Dikromat [27]

Spektrofotometre ile okunması gerçekleştirilmiştir.

- Marka: HACH
- Dalga Boyu Aralığı: 190 - 1100 nm
- Spektral Bant Genişliği: 2 nm
- Optik sistem: Referans ışın, spektral [28]

3.3.4.4.Alüminyum Ölçümü

Kapalı reflux kolonlarında gerçekleştirilmiştir.

- Marka: HACH
- Ölçüm Aralığı: 0,02 - 0,5 mg/L Al
- Metot: Kromazürol S [29]

Spektrofotometre ile okunması gerçekleştirilmiştir.

- Marka: HACH
- Dalga Boyu Aralığı: 190 - 1100 nm
- Spektral Bant Genişliği: 2 nm
- Optik sistem: Referans ışın, spektral [28]

3.3.4.5. Toplam Organik Karbon (TOK) Ölçümü

- Marka: Shimadzu
- Metot: Islak Oksidasyon
- Ölçüm Hassasiyeti: 0.5 µg/L
- Kontrol: Bilgisayar ile
- Ölçüm Prensibi:

Toplam Karbon Ölçümü

Numunedeki toplam karbonu(TK) karbondioksite dönüştürmek için UV aydınlatması altında ısıtılan numuneye fosforik asit ve oksidan (persülfat) eklenir. Bu karbon dioksit, taşıyıcı gazla birlikte nem alma cihazı aracılığıyla NDIR(dağılmayan kızılötesi sensör) numune hücre sine akar. Karbondioksit tepe sinyalinin alanı ölçülür ve bu tepe alanı önceden hazırlanmış bir kalibrasyon eğrisi kullanılarak toplam karbon konsantrasyonuna dönüştürülür.

İnorganik Karbon Ölçümü

Numune fosforik asit ile asitleştirilir ve numunedeki inorganik karbonu(IK) karbon dioksite dönüştürmek için serpilir. Bu karbon dioksit, NDIR tarafından tespit edilir ve numune IK konsantrasyonu, TK ile aynı şekilde ölçülür.

TOK Ölçümü

IK konsantrasyonunun TK konsantrasyonundan çıkarılması TOK konsantrasyonunu belirler.[30]

3.4.LABORATUVAR ÖLÇEKLİ ARITIM ÇALIŞMALARI

Arıtılabilirlik çalışmaları sırasında öncelikle istasyonlardan ayrı ayrı alınan atıksular debi oranlarında karıştırılmıştır ve nötralizasyon-çöktürme yapılmıştır. Çamur miktarın optimizasyonu için birbirlerine debi ve karakter olarak yakın olan 1. ve 2. banyolar beraber karıştırılmış ve 3., 4., ve 5. banyolar ise beraber karıştırılmıştır. Bu şekilde oluşacak çamur miktarları gözlemlenerek en uygun karışım oranına karar verilmiştir. Bu karışımalar ayrı ayrı nötralizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Nötralizasyon deneyi 1N H₂SO₄ solüsyonu ile balık karıştırıcılı manyetik karıştırma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

3.4.1. Nötralizasyon Sonrası Çöktürme

Atıksuyun pH durumuna göre nötralizasyonu gerçekleştirmek için 1N H₂SO₄ veya 1N NaOH kullanılmıştır. Atıksuyun içerisinde Al⁺³ iyonları bulunduğu için gerçekleştirilen nötralizasyon çalışması ile Al⁺³ iyonları koagülant olarak görev yaparak flok oluşumunu sağlamaktadır. Çalışma sırasında gerçekleşen koagülasyon ve çöktürme verimi incelenerek oluşan çamur miktarları maliyet açısından değerlendirilmiştir.

3.4.2. Kum/Aktif Karbon/Zeolit Filtrasyon

Çöktürme işlemi sonucunda üst duru faz çamurdan ayrılarak farklı bir hazneye alınmıştır. Duru fazda bulunan çökmeyen floklar kum filtresi ile giderilmiştir. Katı maddeden temizlenen duru faz organik maddenin giderilmesi için aktif karbon filtreden geçirilmiştir. Daha sonrasında kum filtre ile zeolit filtrenin karşılaştırılması yapılarak maliyet ve giderim verimi açısından uygun filtre malzemesi seçilmiştir.

3.4.3. İyon Değiştirici Reçine

Gerikazanılan suyun iletkenliğinin düşürülmesi geri kullanıma uygun hale getirilmesi için anyonik ve katyonik reçineler kullanılmıştır. Çalışmada reçinelerin iletkenlik giderim verimleri rejenerasyon verimliliği ve maliyet gibi parametreler göz önünde bulundurularak atıksudan iyon giderimi araştırılmıştır.

3.4.4. Oksidant™ ile Çöktürme

Alkalinitesi yüksek atıksularda asit sarfiyatının azaltılması ve çamur miktarının optimum değere gelmesi amaçlanarak oksidant ile kirleticilerin oksidasyonu hedeflenmiştir. Çalışmada oksidantın kirleticilerin giderim verimliliği ve maliyet parametreleri incelenmiştir.

3.4.5. Zeolit Filtre

Oksidant ile çöktürme işlemi sonucunda üst duru faz çamurdan ayrılarak farklı bir hazneye alınmıştır. Duru fazda mevcut çökmeyen flokların giderilmesi amacıyla zeolit filtreden geçirilmiştir. Yüksek alkaliniteye sahip atıksuların zeolit filtre ile filtrasyonu sonucunda verimi ve maliyet parametreleri incelenmiştir.

3.4.6. Kum Filtre

Oksidant ile çöktürme işlemi sonucunda üst duru faz çamurdan ayrılarak farklı bir hazneye alınmış olan atıksuda bulunan, çökmeyen flokların giderilmesi ve zeolit filtre ile arıtma verimliliğini karşılaştırılması için kuvars kum filtre ile filtre edilmiştir.

3.4.7. Aktif Karbon Filtre

Yüksek alkaliniteye sahip atıksuların aktif karbon ile filtrasyonu sonucu TOK giderim verimi incelenmiştir.

3.4.8. Oksidant Optimizasyonu

Oksidant ile çöktürme, filtrasyon işlemlerinden olumlu sonuç alınması üzerine kullanılan oksidantın farklı konsantrasyonlarda dozlanarak arıtma verimliliği ve maliyet verimliliği optimizasyonu sağlanmıştır.

3.5. ALÜMİNYUM KUTU ÜRETİM ATIKSUYU ARITIM PROSES SEÇİMİ

Yapılan literatür araştırmaları ve çeşitli atıksu karışım varyasyonlar ile farklı proseslerin değerlendirilmesi ile yatırım ve işletme maliyetlerini optimizasyonunu sağlarken aynı zamanda maksimum geri kazanım verimliliğini sağlayan proseslerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

3.5.1. Alüminyum Kutu Üretim Atıksuyu Arıtım Prosesi Tasarımı

Gerçekleştirilen laboratuvar çalışmalarında elde edilen bilgiler ve sonuçlar ile atıksuların geri kazanım proseslerinde en ideal ve fizible olan prosesler belirlenmiştir. Bu proseslerin optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş olup en uygun işletme şartları ve maliyetleri belirlenmiştir.

3.5.2. Alüminyum Kutu Üretim Atıksuyu Arıtım Prosesi Maliyet Analizi

Belirlenmiş olan proseslerin zincir halinde olması ve gerçek bir tesiste uygulanması durumunda arıtmada kullanılacak olan sarf malzemeler, kimyasallar ve enerji maliyetleri incelenmiştir. Bu geri kazanımı sağlayacak olan arıtma tesisinin yatırım maliyetleri incelenmiştir.

3.5.3. Alüminyum Kutu Atıksuyu Arıtım Prosesi Üretimde Geri Kullanımının Araştırılması

Geri kazanımı sağlanan atıksuların analiz değerleri ile mevcutta kullanılan proses sularının analiz değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ile geri kazanım veriminin ve sürekliliğinin hesaplanması hedeflenmiştir. |

4. BULGULAR

Alüminyum Aerosol Kutu üretim proseslerinden olan banyo prosesinde kullanılan proses sularının, atıksular ve geri kazanım için laboratuvarında gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları incelenmiştir.

4.1. ATIKSU ANALİZLERİNİN İNCELENMESİ

Atıksular normalde tek kanaldan deşarj edilirken atıksuyu kaynağında ayırabilmek için istasyonlar ve karışımlarının analizleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 6’da Yıkama istasyonlarına ait atıksu numunesinin karakterizasyonu verilmiştir. pH değeri otomatik alkali deterjan dozlamasından dolayı beklendiği üzere yüksektir. Deterjan dozlaması iletkenlik parametresi ile otomatik dozlanmaktadır, bu nedenle beklenen aralıktadır. AKM, KOİ ve TOK değerleri deşarj standartları üzerinde kalsa da çok yüksek değildir bu nedenle arıtma sistemine girecek olan yük azdır. Alüminyum parametresi alkali ortamda alüminyumun reaksiyona girerek $Al(OH)_3$ oluşturması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Yağ-gres, ekstrüzyon prosesinin öncesinde şekil verme işleminin kolay ve sorunsuz olması için alüminyum pulların sabun adı verilen kayganlık veren ve içerisinde makine yağı ihtiva eden malzemeden gelmektedir. Bu parametreler başka bir kimyasal veya malzeme üretim sistemine girmemesinden dolayı geri kazanılan deterjanlı proses suyunun kalitesinde önemli rol oynayan parametreler olarak belirlenmiştir.

Tablo 6 Yıkama istasyonları atıksu karakterizasyonu

Analiz Parametreleri	Analiz Sonucu	Birimi
pH	13,16	
İletkenlik	11,9	mS/cm
AKM	116	mg/l
KOİ	480	mg/l
TOK	97,03	mg/l
Alüminyum	556	mg/l
Yağ-Gres	42,6	mg/l

Tablo 7’de Durulama istasyonlarına ait atıksu numunesinin karakterizasyonu verilmiştir. pH değeri nötr su(şebeke suyu) beslenmesine rağmen deterjanlı su alüminyum tüplerin üzerinde taşınarak durulama banyolarına geçmesinden dolayı normalden yüksek ama yıkama sularına

göre düşük değere sahiptir. İletkenlik, KOİ, AKM, TOK, alüminyum ve yağ-gres değeri pH parametresinde olduğu gibi yalnızca taze şebeke suyu verilmesinden dolayı seyrelerek azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 7 Durulama istasyonları atıksu karakterizasyonu

Analiz Parametreleri	Analiz Sonucu	Birimi
pH	10,47	
İletkenlik	508	µS/cm
AKM	<4	mg/l
KOİ	35	mg/l
TOK	12	mg/l
Alüminyum	28	mg/l
Yağ-Gres	6	mg/l

Şebeke suyu kullanıldığı için giriş suyu kalitesinde dalgalanması veya değişiklik olması beklenmemektedir. Tablo 8’de Tüm sistemin kullandığı su kaynağının karakterizasyonu verilmiştir.

Tablo 8 Mevcut kullanma suyunun giriş karakterizasyonu

Analiz Parametreleri	Analiz Sonucu	Birimi
pH	6,97	
İletkenlik	375	uS/cm
TOK	1,9	mg/l

Yıkama ve Durulama sularının karakterizasyonun incelenmesi üzerine farklı varyasyonlar ile debi oranlarında karışımlar sağlanarak analiz edilmesi ve arıtma proseslerinin bu doğrultuda uygulanmasının daha uygun olacağı kararı verilmiştir.

Tablo 9’da Yıkama prosesinin girişi olan istasyon 1 ve yıkama prosesi sularının karışımı olan istasyon 1-2 atıksularının karakterizasyonu verilerek karşılaştırma yapılmıştır. En kirli olması beklenen istasyon 1 ve istasyon 1’e oranla daha az kirli olması beklenen istasyon 2 karıştırıldığında ve analizleri karşılaştırıldığında beklenilenin aksine neredeyse bu iki istasyonun tüm önemli parametrelerinin aynı karaktere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 9 Yıkama prosesi atıksu istasyonlarının ve karışım varyasyonlarının parametreleri karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	İstasyon 1	İstasyon 1-2 Karışımı
pH	13,09	13,11
İletkenlik (µS/cm)	11.200	12.160
TOK (mg/l)	121,50	110,30
KOİ (mg/l)	404	390
Alüminyum (mg/l)	580	556

Tablo 10'da durulama prosesinin girişi olan istasyon 3 ve durulama prosesi sularının karışımı olan istasyon 3-4-5 atıksularının karakterizasyonu verilerek karşılaştırma yapılmıştır. En kirli durulama istasyonu olan istasyon 3 ve istasyon 3'e oranla daha az kirli istasyonlar olan istasyon 4 ve istasyon 5 sistemin debi oranlarına göre karıştırıldığında ve analizleri karşılaştırıldığında kirlilik konsantrasyonunun düştüğü gözlemlenmiştir. Tablo 10 detaylı incelendiğinde pH değerinde çok değişim olmadığı fakat iletkenlik konsantrasyonu değerinde şebeke suyuna yaklaşıldığı %37,50 oranında azaldığı, Toplam organik karbon konsantrasyon değerinin %23,60 oranında azaldığı, KOİ konsantrasyon değerinin %22,20 oranında azaldığı ve alüminyum değerinin %33,33 oranında azaldığı gözlemlenmiştir.

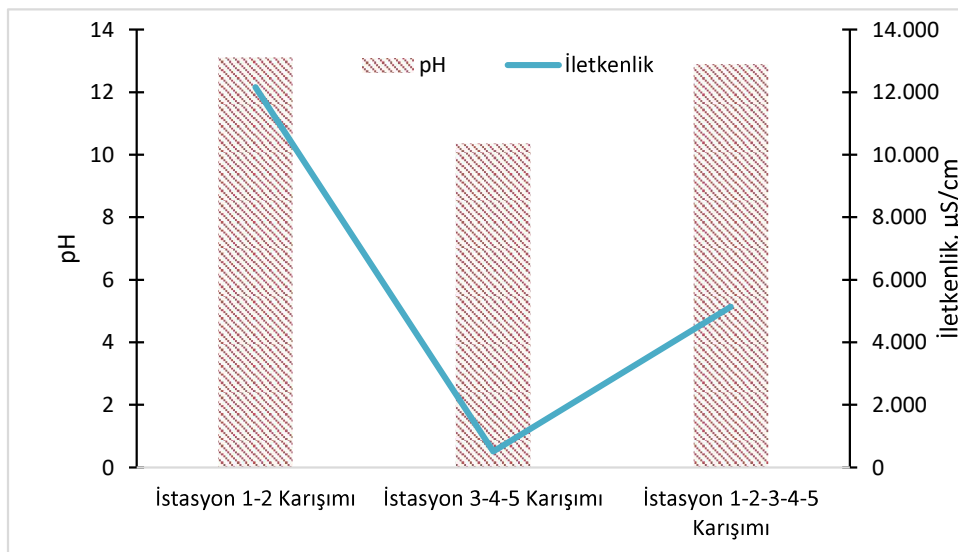
Tablo 10 Durulama prosesi atıksu istasyonlarının ve karışım varyasyonlarının parametreleri karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	İstasyon 3	İstasyon 3-4-5 Karışımı
pH	10,92	10,36
İletkenlik (µS/cm)	805	504
TOK (mg/l)	16,10	12,30
KOİ (mg/l)	45	35
Alüminyum (mg/l)	45	30

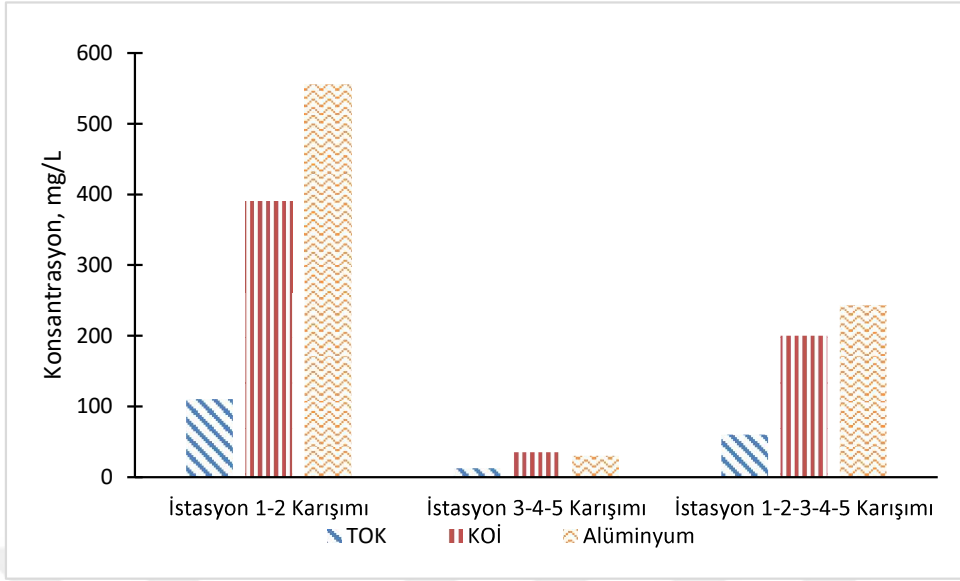
Tablo 11, ve Şekil 19’da tüm istasyonların kendi debisi oranında karıştırılması ile hazırlanan atıksu karışımının analizleri paylaşılmıştır. Analizler sonucunda yıkama prosesinin değerlerine oranla suyun kirlilik konsantrasyonu seyrelse de parametrelerin konsantrasyon değerleri durulama prosesine ait atıksuya değil yıkama prosesine ait atıksu değerlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenden dolayı atıksuların kaynağında ayırarak durulama ve yıkama sularının ayrı prosesler ve ayrı arıtma sistemleri ile geri kazanılması işleminin yapılması gerektiği gözlemlenmiştir.

Tablo 11 Tüm istasyonların karışımının durulama ve yıkama istasyonlarının karışımları ile parametrelerinin karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	İstasyon 1-2 Karışımı	İstasyon 3-4-5 Karışımı	İstasyon 1-2-3-4-5 Karışımı
pH	13,11	10,36	12,90
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	12.160	504	5.140
TOK (mg/l)	110,30	12,30	60
KOİ (mg/l)	390	35	200
Alüminyum (mg/l)	556	30	243,4



Şekil 18 İstasyon 1-2 karışımı, istasyon 3-4-5 karışım ve istasyon 1-2-3-4-5 karışımının pH ve iletkenliklerinin karşılaştırılması



Şekil 19 İstasyon 1-2 karışımı, istasyon 3-4-5 karışım ve istasyon 1-2-3-4-5 karışımının TOK, KOİ ve alüminyum konsantrasyonlarının karşılaştırılması

4.2.NÖTRALİZASYON PROSESİNİN SONUCUNDA ATIKSU ANALİZLERİNİN İNCELENMESİ

Yıkama prosesinin girişi olan istasyon 1, durulama prosesinin girişi olan istasyon 3, yıkama prosesi sularının karışımı olan istasyon 1-2, durulama prosesinin karışımı olan istasyon 3-4-5 ve normalde deşarj edilen karışım olan tüm istasyonları kapsayan 1-2-3-4-5 istasyonlarının karışımlarının her biri 500ml hazırlanmıştır. Bu karışımlara pH 7 olana kadar titrasyon yöntemi ile 1N H₂SO₄ eklenmiştir. Deney sonucunda sarfiyat miktarları, oluşan çamur miktarları ve arıtılmış olan suyun analiz değerleri incelenmiştir.

Tablo 12’de yıkama sularının nötralizasyon ve çöktürme işleminin sonucunda oluşan süzüntünün analizlerinin girişe göre karşılaştırması, asit sarfiyatı ve çıkan çamur miktarları paylaşılmıştır. Yüksek alkali olan yıkama sularının asit sarfiyatı ve çamur miktarı beklenildiği üzere yüksek çıkmıştır. İstasyon 1 ve istasyon 1-2 karışım karakterizasyonu aynı olmasından dolayı arıtma verimliliği, asit sarfiyatı ve oluşan çamur miktarı birbirine çok yakındır. Nötralizasyon ile pH değeri 7 ye düşürülen atıksu numunelerinde; iletkenlik değeri arıtma verimi istasyon 1 için %41,50 oranında, istasyon 1-2 karışım için %48,20 oranındadır. TOK değeri arıtma verimi istasyon 1 için %87 oranında, istasyon 1-2 karışım için %86,9 oranındadır. KOİ değeri arıtma verimi istasyon 1 için %85,60 oranında, istasyon 1-2 karışım için %85 oranındadır. Alüminyum değeri arıtma verimi istasyon 1 için %80 oranında, istasyon 1-2

karışım için %80,20 oranındadır. Arıtma verimlilikleri aynı kabul edilebilecek olan istasyon 1 ve istasyon 1-2 karışımların nötralizasyon için sarf edilen miktarlarda çok yakındır. İstasyon 1 için 37,60 ml 1N H₂SO₄ sarf edilirken, istasyon 1-2 karışım için 39,30 ml 1N H₂SO₄ sarf edilmiştir. Bunun sonucunda çöktürme işlemi gerçekleştirilmiş olup mezür ile kaç ml sulu çamur oluştuğu gözlemlenmiştir. İstasyon 1'in nötralizasyon sonucu ortaya çıkan sulu çamur miktarı 500 ml numune için 140 ml, istasyon 1-2 karışımının nötralizasyon sonucu ortaya çıkan sulu çamur miktarı 500 ml numune için 170 ml olarak ölçülmüştür.

Tablo 12 Yıkama sularının nötralizasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	Nötralizasyon Öncesi		Nötralizasyon Sonrası	
	İstasyon 1	İstasyon 1-2 Karışımı	İstasyon 1	İstasyon 1-2 Karışımı
pH	13,09	13,11	7,03	6,97
İletkenlik (µS/cm)	11.200	12.160	6.550	6.300
TOK (mg/l)	121,50	110,30	15,75	14,45
KOİ (mg/l)	404	390	58,20	58,50
Alüminyum (mg/l)	580	556	116	110
1N H ₂ SO ₄ Sarfiyatı (ml)	-	-	37,60	39,30
Sulu Çamur Miktarı (ml)	-	-	140	170

Tablo 13'de durulama sularının nötralizasyon ve çöktürme işleminin sonucunda oluşan süzüntünün analizlerinin girişe göre karşılaştırması, asit sarfiyatı ve çıkan çamur miktarları paylaşılmıştır. Kirliliği daha az olan durulama sularının nötralizasyonu sonunda elde edilen su karakterinin üretim prosesi için ideal olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda düşük asit sarfiyatı ve çamur miktarı nedeniyle bu proses tercih edilebileceği gözlemlenmiştir. İstasyon 3 ve istasyon 3-4-5 karışım karakterizasyonu aynı olmasından dolayı arıtma verimliliği, asit sarfiyatı ve oluşan çamur miktarı birbirine çok yakındır. Nötralizasyon ile pH değeri 7 ye düşürülen atıksu numunelerinde; iletkenlik değeri arıtma verimi istasyon 3 için %35,40 oranında, istasyon 3-4-5 karışım için %4,76 oranındadır. TOK değeri arıtma verimi istasyon 3 için %86,21 oranında, istasyon 3-4-5 karışım için %85,36 oranındadır. KOİ değeri arıtma

verimi istasyon 3 için %7,33 oranında, istasyon 3-4-5 karışım için %6,43 oranındadır. Alüminyum değeri arıtma verimi istasyon 3 için %71,11 oranında, istasyon 3-4-5 karışım için %66,66 oranındadır. Arıtma verimlilikleri aynı kabul edilebilecek olan istasyon 3 ve istasyon 3-4-5 karışımların nötralizasyon için sarf edilen miktarları yıkama banyolarında olduğu gibi benzer değildir. İstasyon 3 için 4,15 ml 1N H₂SO₄ sarf edilirken, istasyon 3-4-5 karışım için 1,75 ml 1N H₂SO₄ sarf edilmiştir. Bunun sonucunda çöktürme işlemi gerçekleştirilmiş olup mezür ile kaç ml sulu çamur oluştuğu gözlemlenmiştir. İstasyon 3'ün nötralizasyon sonucu ortaya çıkan sulu çamur miktarı 500 ml numune için 40 ml, istasyon 1-2 karışımının nötralizasyon sonucu ortaya çıkan sulu çamur miktarı 500 ml numune için 40 ml olarak ölçülmüştür.

Tablo 13 Durulama sularının nötralizasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	Nötralizasyon Öncesi		Nötralizasyon Sonrası	
	İstasyon 3	İstasyon 3-4-5 Karışımı	İstasyon 3	İstasyon 3-4-5 Karışımı
pH	10,92	10,36	6,95	7,08
İletkenlik (µS/cm)	805	504	520	480
TOK (mg/l)	16,10	12,30	2,22	1,80
KOİ (mg/l)	45	35	13,90	12,50
Alüminyum (mg/l)	45	30	13	10
1N H ₂ SO ₄ Sarfiyatı (ml)	-	-	4,15	1,75
Sulu Çamur Miktarı (ml)	-	-	40	40

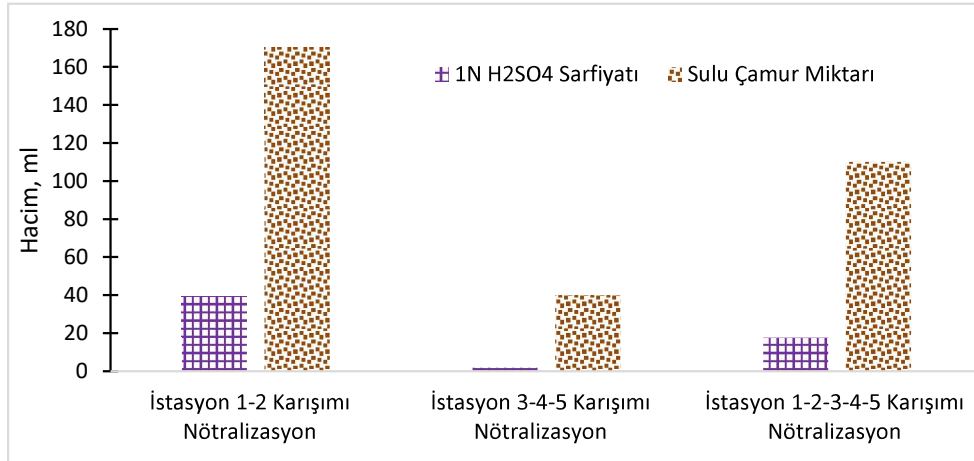
Tablo 14'de tüm istasyonların karışım sularının nötralizasyon ve çöktürme işleminin sonucunda oluşan süzöntünün analizlerinin girişe göre karşılaştırması, asit sarfiyatı ve çıkan çamur miktarları paylaşılmıştır. Nötralizasyon ile pH değeri 7 ye düşürülen atıksu numunesinde; iletkenlik değeri arıtma verimi %34,40, TOK değeri arıtma verimi %69,71, KOİ değeri arıtma verimi %72,40 oranında, alüminyum değeri arıtma verimi %84,39 oranındadır. İstasyon 1-2-3-4-5 karışımı için 17,70 ml 1N H₂SO₄ sarf edilmiştir ve sonucunda çöktürme işlemi

gerçekleştirilmiş olup mezür ile yapılan ölçümde nötralizasyon sonucu ortaya çıkan sulu çamur miktarı 500 ml numune için 110 ml olarak ölçülmüştür.

Tablo 14 Tüm istasyonların karışımı sularının nötralizasyon sonuçlarının karşılaştırılması

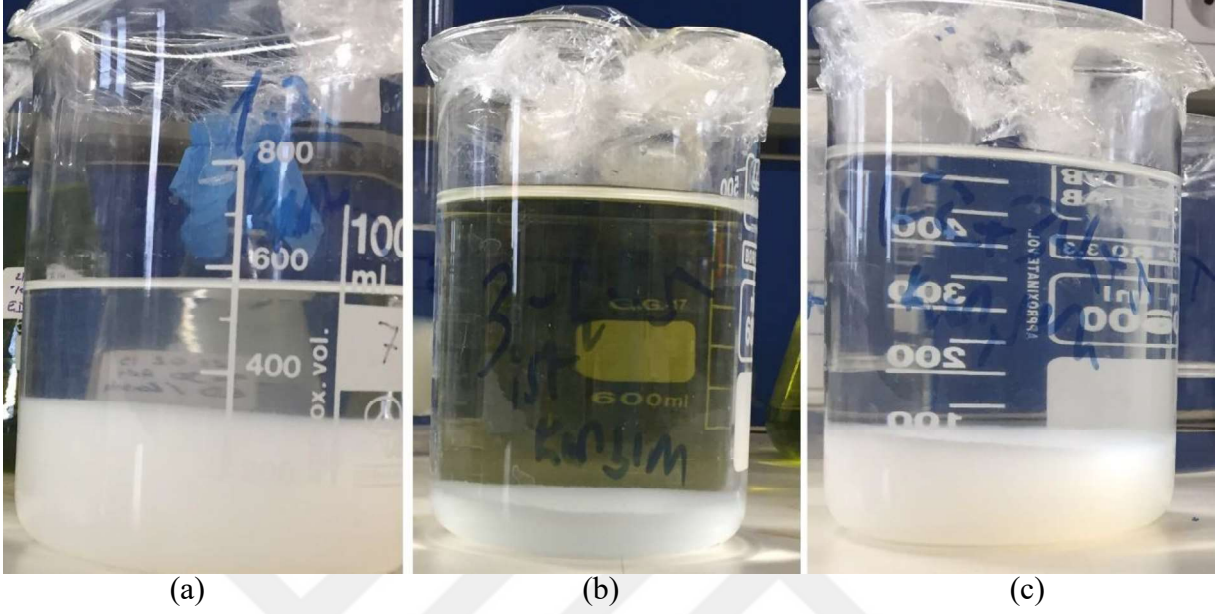
	Nötralizasyon Öncesi	Nötralizasyon Sonrası
Analiz Parametreleri	İstasyon 1-2-3-4-5 Karışımı	İstasyon 1-2-3-4-5 Karışımı
pH	12,90	7,02
İletkenlik (µS/cm)	5.140	3.370
TOK (mg/l)	60	18,17
KOİ (mg/l)	200	55,20
Alüminyum (mg/l)	243,4	38
1N H ₂ SO ₄ Sarfiyatı (ml)	-	17,7
Sulu Çamur Miktarı (ml)	-	110

Deneyle sonuçunda elde edilen veriler göstermektedir ki istasyonlar yıkama ve durulama olarak ayrılması ve durulama sularının nötralizasyon yöntemi ile arıtılırken yıkama prosesinin başka bir yöntem ile arıtılması veya geri kazanım yönteminin çalışmalarının yapılması gerektiğine karar verilmiştir. Bu sayede nötralizasyon prosesi için sarf edilen kimyasal maliyeti %90 oranında azalırken ve nötralizasyon sonucunda oluşan mineral çamurunun bertarafı



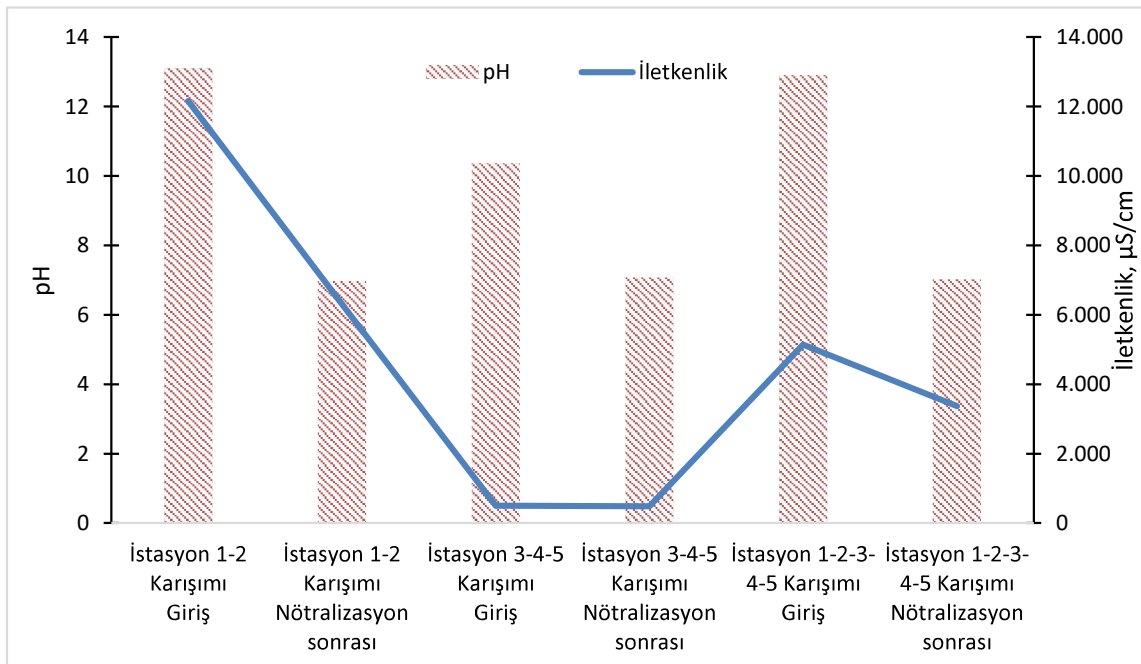
Şekil 20 Karışımların nötralizasyon için asit sarfiyatı ve çıkan çamur miktarlarının karşılaştırılması

maliyetlerini %63,63 oranında azaltılacağı sonucuna varılmıştır. Şekil 21 ve Şekil 20’de nötralizasyon sonrası çöken çamurun miktarlarının karşılaştırılması paylaşılmıştır.

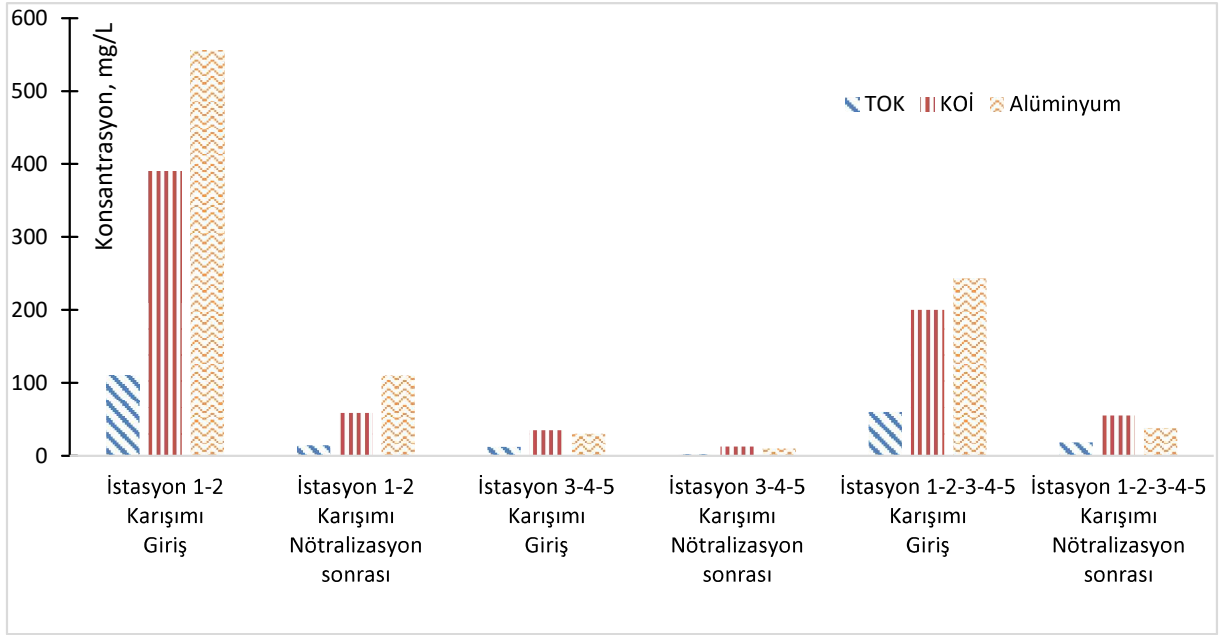


Şekil 21 Nötralizasyon sonrası çamur miktarlarının karşılaştırılması (a) İstasyon 1-2 karışımı, (b) İstasyon 3-4-5 karışımı, (c) İstasyon 1-2-3-4-5 karışımı

Karışımların nötralizasyonu sonrasında elde edilen arıtma verimlerinin öncesi ve sonrası Şekil 22 ve Şekil 23’de paylaşılmıştır.



Şekil 22 Karışımların nötralizasyon öncesi ve sonrası pH ve iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 23 Karışımların nötralizasyon öncesi ve sonrası TOK, KOİ ve alüminyum konsantrasyonlarının karşılaştırılması

4.3. DURULAMA SULARININ NÖTRALİZASYON SONRASI KUM/ZEOLİT VE AKTİF KARBON FİLTRE SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Çöktürme işlemi sonucunda istasyon 3-4-5 karışımının üst duru fazı çamurdan ayrılarak farklı bir hazneye alınmıştır. Duru fazda bulunan çökmeyen floklar kum filtresi ve zeolit filtre ile ayrı ayrı giderilmiştir. Tablo 15’de kum ve zeolit filtreden geçirilmiş olan suların karşılaştırılması paylaşılmıştır. Kum filtre ile süzülme işlemi sonucunda pH, iletkenlik, KOİ, alüminyum ve AKM değerlerinde değişiklik gözlemlenmez iken, TOK değeri arıtma verimi %33,33 oranında, bulanık değeri arıtma verimi %87,50 oranındadır. Zeolit filtre ile süzülme işlemi sonucunda pH, iletkenlik, alüminyum ve AKM değerlerinde değişiklik gözlemlenmez iken, TOK değeri arıtma verimi %50 oranında, KOİ değeri arıtma değeri %20 oranında, bulanık değeri arıtma verimi %91,66 oranındadır.

Analiz sonuçları incelendiğinde kum ve zeolit filtre arasında çok fark olmadığı gözlemlenmiştir. Fakat zeolit mineralinin yapısı nedeniyle kuma oranla daha küçük

mikronlarda filtrasyon yapabilmektedir ve arıtma verimleri kuma oranla daha iyi olması nedeniyle zeolit filtre prosesi tercih edilmesi planlanmaktadır.

Tablo 15 Kum ve zeolit filtre karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	Nötralizasyon ve Çöktürme Sonrası	Kum Filtre Sonrası	Zeolit Filtre Sonrası
pH	7,08	7,08	7,06
İletkenlik (µS/cm)	480	470	460
TOK (mg/l)	1,80	1,20	0,90
KOİ (mg/l)	12,50	12,00	10,00
Alüminyum (mg/l)	10	9	9
AKM (mg/l)	<4	<4	<4
Bulanıklık (NTU)	24	3	2

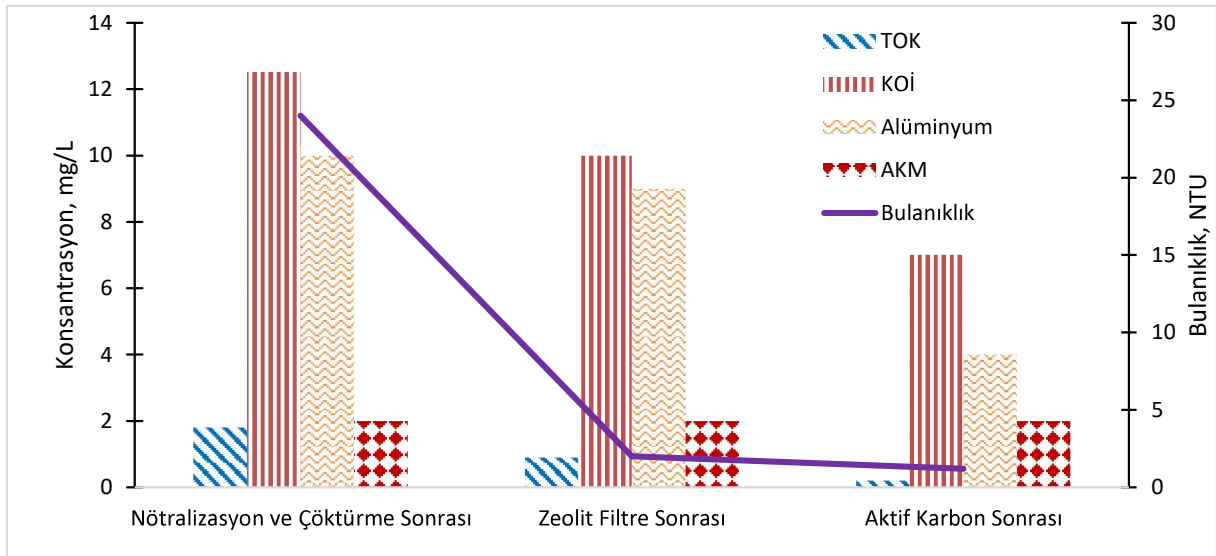
İstasyon 3-4-5 karışımı tekrar tekrar geri kazanılması durumunda zamanla TOK ve alüminyum değerinin artarak şişme yapacağı ve aynı zamanda ne kadar az olursa üretim prosesi için o kadar uygun olduğu bilindiği üzere zeolit filtreden sonra aktif karbondan filtre edilmiştir. Aktif karbon sonrasında ölçülen analiz sonuçlarının zeolit filtre ile karşılaştırılması Tablo 16'da paylaşılmıştır. Aktif karbon filtre ile süzülme işlemi sonucunda pH ve AKM değerlerinde değişiklik gözlemlenmez iken, iletkenlik değeri arıtma verimi %13 oranında, TOK değeri arıtma verimi %77,77 oranında, KOİ değeri arıtma verimi %30 oranında, alüminyum değeri arıtma verimi 55,55 oranında, bulanık değeri arıtma verimi %40 oranındadır.

Aktif karbon beklenildiği üzere TOK, KOİ, alüminyum ve bulanıklık parametrelerinde iyileştirme sağladığı, arıtma sonrasında kazanılan proses suyunun tesiste kullanılan taze şebeke suyu kalitesinin neredeyse aynısı olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında yıkama suları olan istasyon 3-4-5 karışım sularının arıtılmasında nötralizasyon ile çöktürme prosesi sonrasında, zeolit filtre ve aktif karbon filtre ile süzme proseslerinin projede olması uygun görülmüştür. Geri kazanılan proses suyunun üretim kalitesini olumsuz etkilemeyeceği

kanıtlanmıştır. Şekil 24’de uygulanan proseslerin arıtma verimliliğinin karşılaştırılması paylaşılmıştır.

Tablo 16 Zeolit filtre prosesinden sonra aktif karbon filtrasyonu karşılaştırması

Analiz Parametreleri	Zeolit Filtre Sonrası	Aktif Karbon Sonrası
pH	7,06	7,06
İletkenlik (µS/cm)	460	400
TOK (mg/l)	0,90	0,20
KOİ (mg/l)	10,00	7,00
Alüminyum (mg/l)	9	4
AKM (mg/l)	<4	<4
Bulanıklık (NTU)	2	1,2



Şekil 24 İstasyon 3-4-5'in uygulanan prosesler üzerine artıma veriminin TOK, KOİ, AKM, alüminyum konsantrasyonları ve bulanıklık değerleri ile karşılaştırılması

4.4.DURULAMA SULARININ İYON REÇİNESİ İLE FİLTRE SONUÇLARININ İNCELENMSİ

Nötralizasyon ile çöktürme prosesi sonrasında, zeolit filtre ve aktif karbon filtre ile süzme proseslerinden sonra elde geri kazanılan proses suyunun şebeke suyu yerine tekrar üretim prosesinde durulama istasyonları olan istasyon 3, istasyon 4, istasyon 5 proseslerinin besleme suyu olarak kullanılması uygun olduğu karar verilmiştir. Sistemin sanayiye uygulanabilirliğinin denemesini yapmak için su tekrar tekrar kirletilmiş ve 10 kere geri kazanım sağlanmıştır. Tablo 17’de gerçekleştirilen deneylerin sonucunda elde edilen analizler paylaşılmıştır. 10 kere geri kazanılan suyun, 1 kere geri kazanılan suya göre değeri incelendiğinde yalnızca iletkenlik değerinin 5,85 katına çıktığı gözlemlenmiştir.

Üretimde kabul edilen FEA standartlarına göre durulama sularının istasyon 3 ve istasyon 4 için 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iken istasyon 5 için 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerinde olması gerekmektedir. İletkenlik değerinin zamanla artmasını engellemek, suyun ve ürünlerin kalite standardını sağlamak için laboratuvar ortamında katyonik iyon reçinesi (H^+) ve anyonik iyon reçinesi (OH^-) karıştırılarak mixed-bed iyon reçine elde edilmiştir. Elde edilen mixed-bed iyon reçinesinden iletkenliği artan 10 kere geri kazanılmış proses suyu geçirilmiştir. Sonuçları Tablo 17’de paylaşılmıştır. Mixed-bed iyon reçinesi ile iyon değiştirme işlemi sonucunda pH, TOK, KOİ, AKM, alüminyum ve bulanıklık değerlerinde değişiklik gözlemlenmez iken, iletkenlik değeri arıtma verimi %99,92 oranındadır. İyon değiştirici sistemin durulama sularının geri kazanım proses akımına son proses olarak eklenmesi uygun görülmüştür.

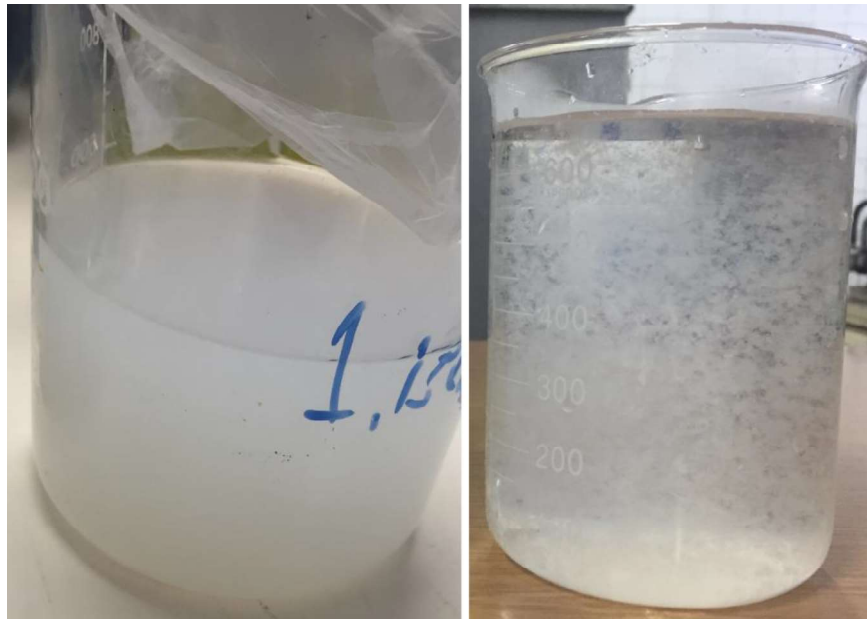
Tablo 17 1 kere geri kazanılan, 10 kere geri kazanılan ve mixed-bed iyon reçinesinden geçirilen proses sularının sonuçlarının karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	1 Kere Geri Kazanılan Proses Suyu	10 Kere Geri Kazanılan Proses Suyu	Mixed-Bed İyon Reçinesi Sonrası
pH	7,06	7,16	6,96
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	400	2.340	<2
TOK (mg/l)	0,20	0,50	0,50
KOİ (mg/l)	7,00	9,00	9,00
Alüminyum	4	6	5

(mg/l)			
AKM (mg/l)	<4	<4	<4
Bulanıklık (NTU)	1,2	1,3	1,3

4.5. YIKAMA SULARINI OKSİDANT İLE ÇÖKTÜRME SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Durulama ve yıkama sularının kaynağında ayrılarak arıtılması önceki çalışmalar ışığında karar verilmiştir. Durulama suları olan istasyon 1 ve istasyon 2 içerisinde iletkenlik değerine göre kostik içerikli deterjan kullanılmaktadır. Durulama sularının temizleyicilik özelliğini yitirmeden kirleticilerinden arındırılması için kirleticilerin oksidasyonu ve çöktürülerek uzaklaştırılması gerekmektedir. Patent konusu olan ve detayı verilemeyen uygun oksidant, durulama sularına dozlanarak oluşumları ve yapısı incelenmiştir. 'da paylaşıldığı üzere dozlama sonucunda kirleticilerin okside olarak pıhtılaşması gözlemlenmiştir. Pıhtılaşan flokların yer çekimi etkisi ile çökmesi beklenmiştir. Çökme sonucunda yıkama prosesi ne ait olan istasyon 1-2 karışımının üst duru fazı çamurdan ayrılarak farklı bir hazneye alınmıştır. Alkali suyun temizleyici özelliğini yitirmeden kirleticilerinden arıtılmasının denemesinin artıma verimi incelenmesi için analizler yapılmıştır.



(a)

(b)

Şekil 25 Oksidant™ ile oksidasyon ve flok oluşumu gözlemlenmesi (a) yıkama atıksuyu, (b) flok oluşumu

Tablo 18’de bu çalışmanın ileriye götürülmesinin uygunluğuna karar vermek için dozlanan kimyasal miktarının optimizasyonu yapılmamış, çöktürme sonrasında yalnızca yapılan deneyin sonuçları ve arıtma verimi incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda çalışmanın ileriye götürülmesinin uygun olduğu kararı verilmiştir. Oksidasyon ve çöktürme işlemi sonucunda pH ve iletkenlik değerlerinde önemli değişiklikler gözlemlenmez iken, alüminyum değeri arıtma verimi %87,93 oranında, bulanıklık değerleri arıtma verimi %94,80 oranındadır.

Tablo 18 Yıkama sularının giriş ile oksidasyon ve çöktürme sonuçlarının karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	İstasyon 1-2 Karışımı	Oksidasyon ve Çöktürme Sonrası
pH	13,09	13,18
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	11.200	11.900
Alüminyum (mg/l)	580	70
Bulanıklık (ntu)	42,5	2,21

Tablo 18’de paylaşılan sonuçlar incelendiğinde yıkama arıtma veriminin yüksek olması ve iletkenlik, pH gibi yıkama sularında önemli olan parametrelerin değişmemesi nedeniyle bu çalışmaların ileriye götürülerek parametrelerin daha da iyileştirilmesi ve tekrar tekrar kazanımlarda istenmeyen parametre değerlerinin şişerek artmaması için arıtma prosesleri üzerinde çalışmalar yapılması uygun görülmüştür.

4.6. YIKAMA SULARININ OKSİDASYON SONRASI ZEOLİT FİLTRE SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Çöktürme işlemi sonucunda üst duru faz çamurdan ayrılarak farklı bir hazneye alınmıştır. Duru fazda bulunan çökmeyen flokları gidermek ve durulama sularında olduğu gibi alüminyum ve bulanıklık değerlerinde arıtma sağlamak için zeolit filtre ile süzme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda ilk gözlem olarak suyun bulanıklaştığı gözlemlenmiştir. Bulanıklaşmasına rağmen su parametrelerine etkisi incelenmesi için iletkenlik, alüminyum, bulanıklık ve pH

değerleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 19’da paylaşılmıştır. Zeolit filtre ile süzülme işlemi sonucunda pH, değerinde değişiklik gözlemlenmez iken, iletkenlik değeri %81,93 oranında, alüminyum değeri %7,15 oranında düşmüştür. Ayrıca çözünme olduğundan dolayı suyun bulanıklık değeri 31,67 katına çıkmıştır. Sonuç olarak çöktürme sonrasında zeolit filtre ile süzme prosesinin durulama sularında olduğu gibi olumlu sonuç vermediği, yıkama sularının temizleyici özelliğini düşürürken aynı zamanda suyun bulanıklık parametresini arttırmasından dolayı kum filtre ile deneme yapılmasına karar verilmiştir.

Tablo 19 Oksidasyon sonrası zeolit filtre sonuçlarının karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	İstasyon 1-2 Karışımı	Oksidasyon ve Çöktürme Sonrası	Zeolit Filtre Sonrası
pH	13,09	13,18	12.90
İletkenlik (µS/cm)	11.200	11.900	2.150
Alüminyum (mg/l)	580	70	65
Bulanıklık (ntu)	42,5	2,21	70

4.7.YIKAMA SULARININ OKSİDASYON SONRASI KUM FİLTRE SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Çöktürme işlemi sonucunda üst duru faz çamurdan ayrılarak farklı bir hazneye alınmıştır. Duru fazda bulunan çökmeyen floklar kum filtre ile giderilmesi için süzme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonrasında gözlem olarak zeolit filtredeki gibi suyun bulanıklaşmadığı gözlemlenmiştir. Kum filtre ile süzme işleminin su parametrelerine etkisi incelenmesi için iletkenlik, alüminyum, bulanıklık ve pH değerleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 20’de paylaşılmıştır. Kum filtre ile süzülme işlemi sonucunda pH, iletkenlik ve alüminyum değerlerinde değişiklik gözlemlenmez iken, bulanıklık değeri arıtma verimi %25,33 oranındadır. Analiz sonuçlarına göre sanayi uygulamasında kum filtrenin uygun olduğu ve kesinlikle proses akımında olması gerektiğine karar verilmiştir.

Tablo 20 Oksidasyon sonrası kum filtre sonuçlarının karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	İstasyon 1-2 Karışımı	Oksidasyon ve Çöktürme Sonrası	Kum Filtre Sonrası
pH	13,09	13,18	13,15
İletkenlik (µS/cm)	11.200	11.900	11.800
Alüminyum (mg/l)	580	70	68
Bulanıklık (ntu)	42,5	2,21	1,65

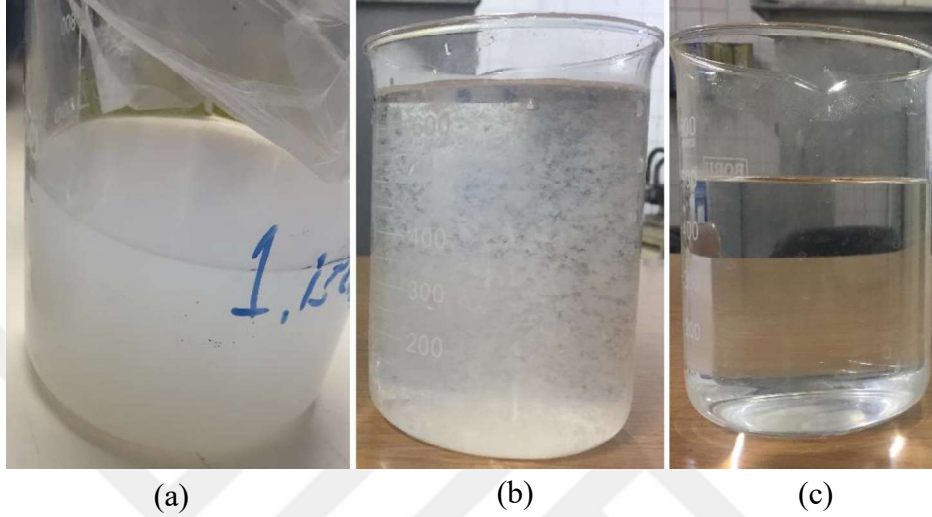
4.8.YIKAMA SULARININ OKSİDASYON SONRASI KUM VE AKTİF KARBON FİLTRE SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Yıkama sularının oksidasyon ile çöktürme daha sonra kum filtre ile süzme işlemlerinden sonra alüminyum ve bulanıklığın giderilmesi için aktif karbon filtre ile süzme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonrasında gözlem olarak suyun daha az bulanık olduğu gözlemlenmiştir. Aktif karbon ile süzme işleminin su parametrelerine etkisi incelenmesi için iletkenlik, alüminyum, bulanıklık ve pH değerleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 21’de paylaşılmıştır. Aktif karbon ile süzülme işlemi sonucunda pH ve iletkenlik değerlerinde değişiklik gözlemlenmez iken, alüminyum değerinde arıtma verimi %23,53 oranında, bulanıklık değeri arıtma verimi %27,27 oranındadır.

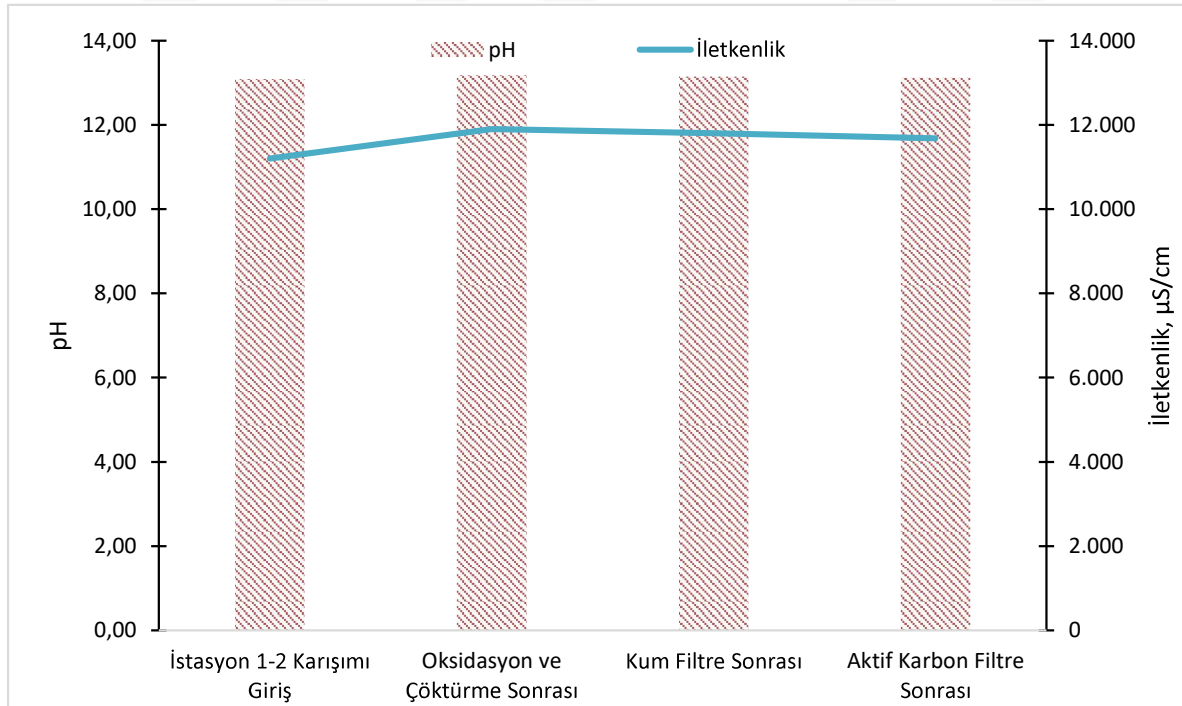
Tablo 21 Aktif karbon filtre sonrası analizlerin karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	İstasyon 1-2 Karışımı	Oksidasyon ve Çöktürme Sonrası	Kum Filtre Sonrası	Aktif Karbon Filtre Sonrası
pH	13,09	13,18	13,15	13,12
İletkenlik (µS/cm)	11.200	11.900	11.800	11.680
Alüminyum (mg/l)	580	70	68	52
Bulanıklık (ntu)	42,5	2,21	1,65	1,2

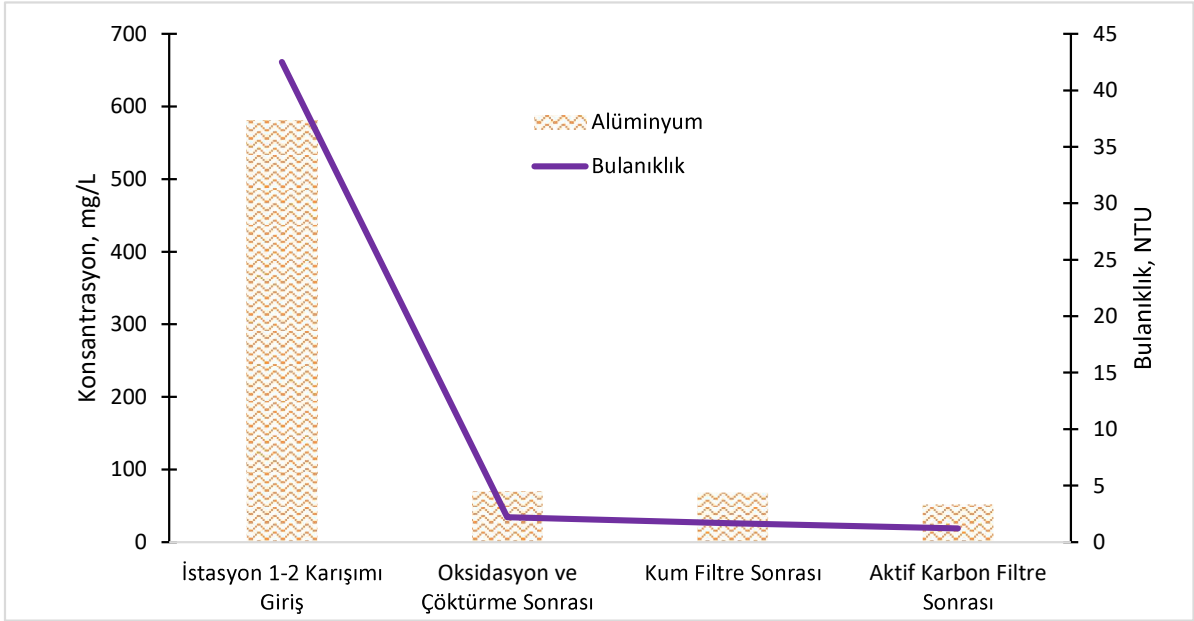
Sisteme az da olsa giren organik maddenin de geri kazanım sayısı arttıkça şişebileceği öngörülerek sanayi uygulamasında kum filtre prosesinden sonra kesinlikle olması gerektiğine karar verilmiştir. Şekil 27’de proseslerin proses bazlı arıtma görsellerinin karşılaştırılması, Şekil 26 ve Şekil 28’de arıtma verimlerinin karşılaştırılması paylaşılmıştır.



Şekil 27 Yıkama suyunun proses bazlı arıtma görsellerinin karşılaştırılması (a) yıkama atıksuyu, (b) atıksu oksidasyon, (c) aktif karbon ile süzme



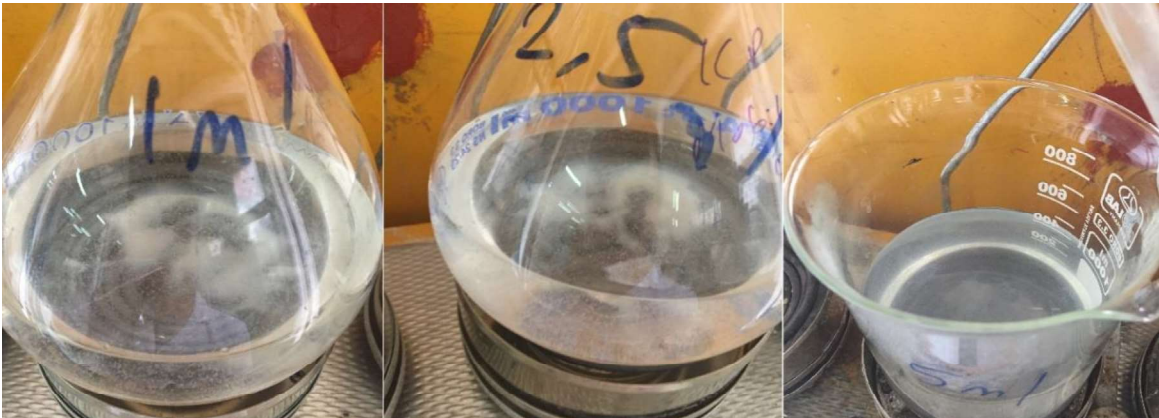
Şekil 26 İstasyon 1-2’ye uygulanan prosesler sonucunda pH ve iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 28 İstasyon 1-2'ye uygulanan prosesler üzerine artıma veriminin alüminyum konsantrasyonları ve bulanıklık değerleri ile karşılaştırılması

4.9.YIKAMA SULARINI OKSİDANT İLE ÇÖKTÜRME İŞLEMİNİN DOZAJ OPTİMİZASYON SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Yıkama sularının geri kazanımında proses akımının belirlenmesi ve geri kazanımında olumlu sonuç vermesi üzerine oksidasyon yöntemi ile çöktürme işleminde kullanılan oksidant miktarının belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bu işlem sırasında ideal oksidant miktarı ile sonuç ilişkisi kurularak en ideal dozaj miktarı belirlenmiştir. Şekil 29'de farklı dozlarda oksidant eklenmesi sonucunda oluşan flokların karşılaştırılması paylaşılmıştır.



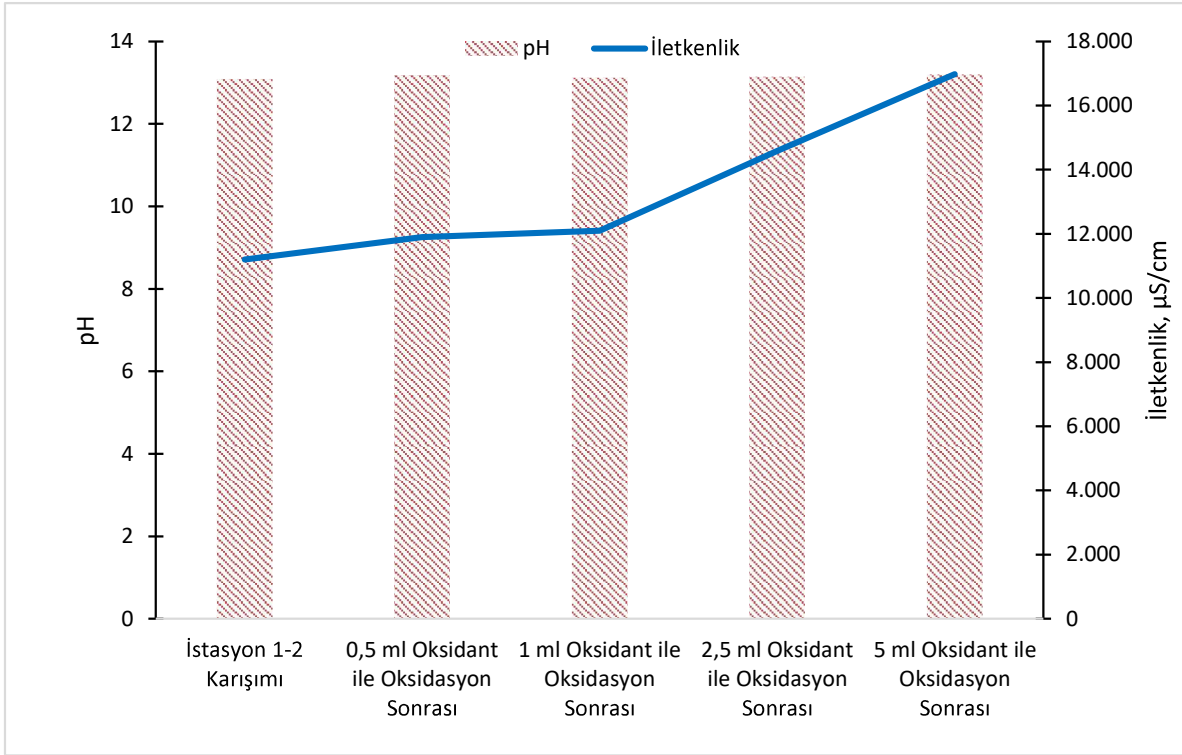
Şekil 29 Farklı dozajlarda oksidasyon sonucu flok oluşumlarının karşılaştırılması (a) 1ml oksidant, (b) 2,5 ml oksidant, (c) 5 ml oksidant

Çöktürme işlemi sonucunda üst duru faz çamurdan ayrılarak farklı bir hazneye alınmıştır ve analizleri yapılmıştır. Sonuçları karşılaştırmak için iletkenlik, alüminyum, bulanıklık ve pH değerleri analiz edilmiştir. Tablo 22’ de analiz sonuçları paylaşılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde 0,5 ml oksidant ile oksidasyon sonrasında pH ve iletkenlik değerinin değişmediği gözlemlenirken, alüminyum değeri %87,93 oranında, bulanıklık değeri %94,80 oranında düşmüştür. 1 ml oksidant ile oksidasyon sonrasında pH ve iletkenlik değerinin değişmediği gözlemlenirken, alüminyum değeri %90,68 oranında, bulanıklık değeri %97,18 oranında düşmüştür. 2,5 ml oksidant ile oksidasyon sonrasında pH değerinin değişmediği gözlemlenirken iletkenlik değerinin %30,18 oranında yükselmiş, alüminyum değeri %91,04 oranında, bulanıklık değeri %96,94 oranında düşmüştür. 5 ml oksidant ile oksidasyon sonrasında pH değerinin değişmediği gözlemlenirken iletkenlik değerinin %51,61 oranında yükselmiş, alüminyum değeri %91,72 oranında, bulanıklık değeri %43,53 oranında düşmüştür. Değerler detaylı incelendiğinde pH ve iletkenlik değerini giriş suyu olan istasyon 1-2 karışım değerlerinden çok farklı olmayan aynı zamanda en yüksek alüminyum değeri giderimi sağlayan, oksidasyon ile çöktürme sonrasında üst fazın bulanıklık değeri en iyi sonuç verirken az kimyasal ile en fazla verimi sağlayan dozun 1 ml oksidant ile oksidasyon olduğu tespit edilmiştir.

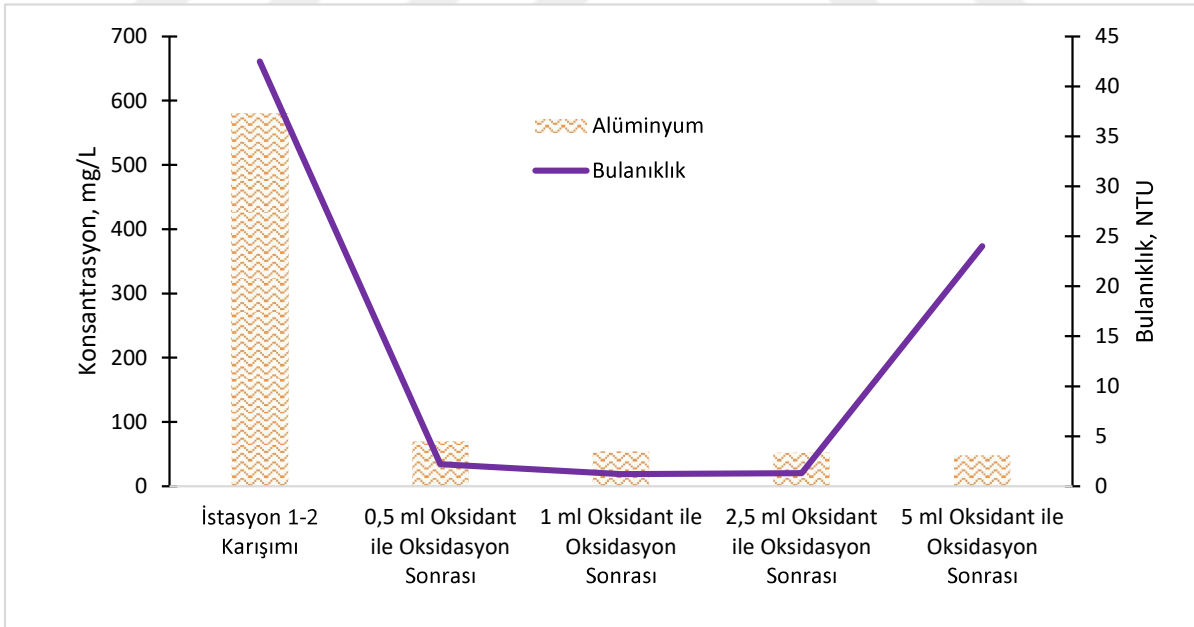
Tablo 22 Farklı dozajlarda oksidasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	İstasyon 1-2 Karışımı	0,5 ml Oksidant ile Oksidasyon Sonrası	1 ml Oksidant ile Oksidasyon Sonrası	2,5 ml Oksidant ile Oksidasyon Sonrası	5 ml Oksidant ile Oksidasyon Sonrası
pH	13,09	13,18	13,12	13,14	13,20
İletkenlik (µS/cm)	11.200	11.900	12.100	14.580	16.980
Alüminyum (mg/l)	580	70	54	52	48
Bulanıklık (ntu)	42,5	2,21	1,2	1,3	24

Şekil 31 ve Şekil 30’de istasyon 1-2’nin farklı dozajlarda oksidant ile oksidasyon edilmesi sonucunda elde edilen verimlerin karşılaştırılması paylaşılmıştır.



Şekil 31 İstasyon 1-2'ye uygulanan farklı dozajlarda oksidant ile oksidasyon sonrası pH ve iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 30 İstasyon 1-2'ye uygulanan farklı dozajlarda oksidant ile oksidasyon sonrası alüminyum konsantrasyonu ve bulanıklık değerlerinin karşılaştırılması

4.10. ALÜMİNYUM KUTU ÜRETİM ATIKSUYU ARITIM PROSESLERİNİN BELİRLENMESİ

Yapılan deneyler sonucunda alüminyum aerosol kutu üretimi sırasında meydana gelen atıksuların proses suyu olarak geri kazanılması için ideal proses akım şemaları belirlenmiştir. Bu süreç boyunca meydana gelen yıkama ve durulama sularının beraber geri kazanımı ve ayrılarak geri kazanılması konusunda çalışmalar yürütülmüştür. Analiz sonuçları ve gözlemler ile durulama ve yıkama sularının kaynağında ayrılması ve ayrı prosesler ile geri kazanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Durulama ve yıkama sularının ayrı olarak geri kazanılması sayesinde tüm istasyonların karışımına oranla nötralizasyona harcanan 1N H₂SO₄ Sarfiyatı %98,87 oranında azalırken çamur miktarı %63,63 oranında azalmıştır. Bu sayede kimyasal maliyetlerinden ve çamur bertaraf maliyetlerinden tasarruf sağlanmıştır. Karşılaştırma Tablo 23'de paylaşılmıştır.

Tablo 23 Atıksuların ayrılması ile asit sarfiyatı ve çamur miktarının karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	İstasyon 3-4-5 Karışımı	İstasyon 1-2-3-4-5 Karışımı
pH	7,08	7,02
1N H ₂ SO ₄ Sarfiyatı (ml)	1,75	17,7
Sulu Çamur Miktarı (ml)	40	110

Atıksuların durulama ve yıkama suları olarak ayrılması sayesinde yüksek alkali olan içerisinde kostikli deterjan bulunduran yıkama sularının geri kazanımında yalnızca atıksu geri kazanımı değil aynı zaman ısı enerjisi ve kostik geri kazanımı sağlanmıştır. Bu sayede üretim prosesinde kullanılan su ve kostik tüketiminde %95 oranında tasarruf ve %80 oranında ısı enerjisinde tasarruf sağlanmıştır. Bu kazanımlar sağlanırken alkali suyun nötralizasyonu için harcanması gereken asit ve sonucunda çıkacak olan çamur bertaraf maliyetlerinden de dolaylı kazanım sağlanmıştır.

Elde edilen veriler ışığında sanayi için uygun proses akım şeması Şekil 32'de paylaşılmıştır. Durulama sularını geri kazanım prosesinde atıksu öncelikle dengeleme tankına alınır, pompa ile istenilen debi ile nötralizasyon işlemi için hızlı karıştırma tankına aktarılır, bu haznede dozaj

pompas pH probu yardımı ile otomatik asit dozajlaması yaparak pH değerini ayarlanamış olan değere getirir. pH ayarı istenilen ayara getirilen atıksu cazibeli akım ile yavaş karıştırma tankına geçer burada oluşan flokların daha büyük hale gelmesi ve çöktürme veriminin artırılması için polieletrolit dozajı debiye oranla dozajlanır ve yavaş karıştırma sayesinde flokların birbirine yapışması sağlanır. Daha sonra çöktürme tankına gönderilen atıksuda oluşan floklar yerçekimi yardımı ile çökerken savaktan taşan su pompa yardımı ile zeolit filtrede ve daha sonra aktif karbon filtreden süzdürülerek filtre edilir. Zamanla istenmeyen iletkenlik değerini kontrol altına almak için aktif karbon filtreden sonra demineralizasyon prosesi olan katyonik iyon değiştirici reçine, anyonik iyon değiştirici reçine ve mixed-bed iyon reçinesi uygulanır. Geri kazanılan atıksu durulama proses sularının işletme parametrelerine uygun hale geldiği için direkt olarak sistem beslemesinde kullanılır. Yıkama sularının geri kazanım prosesinde atıksu öncelikle dengeleme tankına alınır, pompa ile istenilen debi ile oksidasyon işlemi için hızlı karıştırma tankına aktarılır, bu haznede dozaj pompası debiye oranla kimyasalı atıksuya dozlama yapar. Oksidasyon için ideal doz tamamen hızlı karıştırma sistemi sayesinde homojen halde karıştırılır ve cazibeli akım ile yavaş karıştırma tankına geçer burada oluşan flokların daha büyük hale gelmesi ve çöktürme veriminin artırılması için polieletrolit dozajı debiye oranla dozajlanır ve yavaş karıştırma sayesinde flokların birbirine yapışması sağlanır. Daha sonra çöktürme tankına gönderilen atıksuda oluşan floklar yerçekimi yardımı ile çökerken savaktan taşan su pompa yardımı ile kum filtrede ve daha sonra aktif karbon filtreden süzdürülerek filtre edilir. Geri kazanılan atıksu yıkama proses sularının işletme parametrelerine uygun hale geldiği için direkt olarak sistem beslemesinde kullanılır.

4.11. ALÜMİNYUM KUTU ÜRETİM ATIKSUYU GERİ KAZANIM PROSESİ MALİYET ANALİZİ

Ortalama bir fabrikada 5 hat olduğu, kabul edilirse yıkama ve durulama hatlarının ayrılması ve ayrı ayrı geri kazanılması için ortalama 500.000,00 Euro yatırım maliyeti gerekmektedir. Kurulan sistemin tam otomasyonlu ve üretim için kritik olan parametrelerin her an kontrolü ve müdahalesinin otomasyon ile yapılması ve bu sayede arıtma verimi ve kimyasal tüketimi optimum seviyede tutularak maksimum geri kazanım sağlanması öngörülmüştür.

Arıtma kapasiteleri belirlenirken hat başına yıkama suları için 0,6 m³/saat, durulama suları için 1,5 m³/saat kapasite kabul edilmiştir. Yıkama suları geri kazanım proseslerinde kullanılacak olan kimyasallar, elektrik enerjisi giderleri, bertaraf maliyetleri ve sarf malzemeleri giderleri toplamı arıtma birim maliyeti 0,60 Euro/m³ hesaplanmıştır. Bu işletme giderlerinin karşılığında ısı enerjisi, kostik ve su geri kazanımından toplam metreküp başına kazanım 7,86 Euro/m³ hesaplanmıştır. Durulama suları geri kazanım proseslerinde kullanılacak olan kimyasallar, elektrik enerjisi giderleri, bertaraf maliyetleri ve sarf malzemeleri giderleri toplamı arıtma birim maliyeti 0,22 Euro/m³ hesaplanmıştır. Bu işletme giderlerinin karşılığında su geri kazanımından toplam metreküp başına kazanım 0,27 Euro/m³ hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplar sonucunda net kar hat başına 38.000 Euro/yıl, yani 5 hatlı bir fabrikanın yıllık kazanımının 190.000,00 Euro/yıl olduğu ve bu durumda sistemin ilk yatırım maliyetini ortalama 2,5 yıl gibi kısa bir sürede geri ödediği hesaplanmıştır.

4.12. ALÜMİNYUM KUTU ATIKSUYU ARITIM PROSESİ ÜRETİMDE GERİ KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

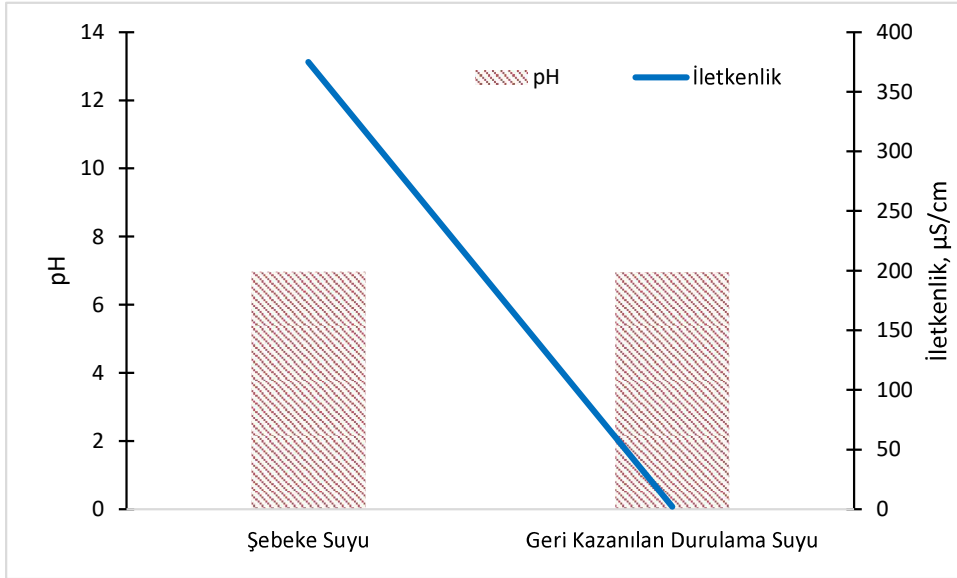
Geri kazanımı sağlanan atıksuların analiz değerleri ile mevcutta kullanılan proses sularının analiz değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ile geri kazanım veriminin ve sürekliliğinin hesaplanması hedeflenmiştir.

Durulama suyunun arıtımından sonra geri kullanımına uygunluğu için standart olarak kullanılan şebeke suyu analizleri geri kazanılan durulama suyunun analizleri karşılaştırılmıştır.

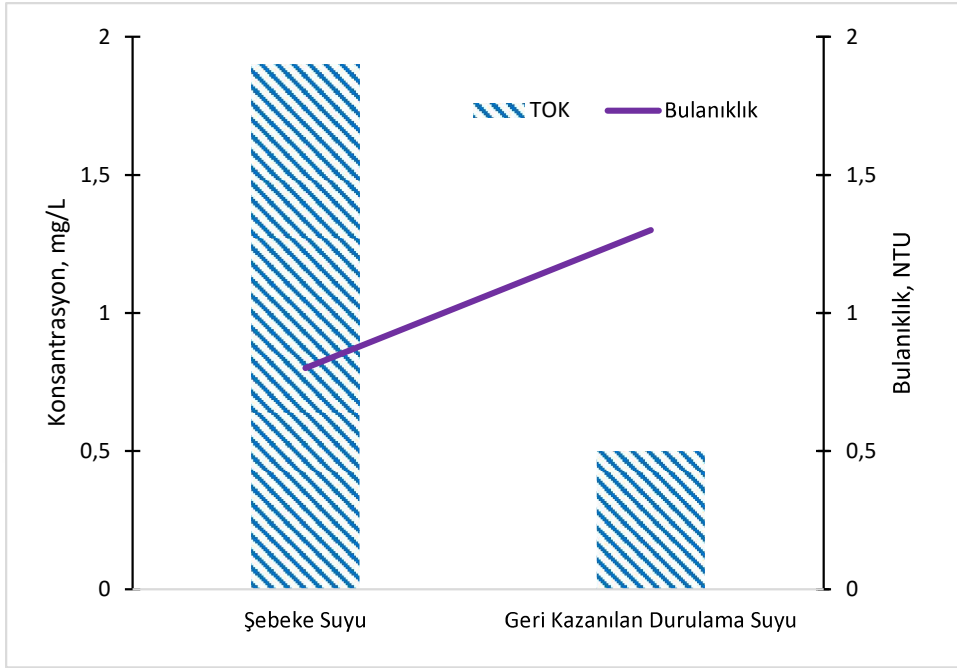
Analizler Tablo 24'de, karşılaştırılması Şekil 33 ve Şekil 34'de paylaşılmıştır. Analizler incelendiğinde pH değerinin birebir aynı olduğu gözlemlenmiştir. İletkenlik değerinin %99,47 oranında ve TOK değerinin %73,69 oranında şebeke suyuna göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bulanıklık değerinin şebeke suyuna göre %38 daha fazla olmasına rağmen içme suyu bulanıklık değeri olarak kabul göre 1 NTU değerine yakın olduğu için uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu karşılaştırma ile geri kazanılan durulama suyunun üretim prosesinde kullanılmaya ve FEA standartlarına uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 24 Şebeke suyunun geri kazanılan durulama suyu ile analizlerinin karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	Şebeke Suyu	Geri Kazanılan Durulama Suyu
pH	6,97	6,96
İletkenlik (µS/cm)	375	<2
TOK (mg/l)	1,9	0,50
Bulanıklık (NTU)	0,8	1,3



Şekil 33 Geri kazanılan durulama suyunun normalde kullanılan şebeke suyu ile pH ve iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması

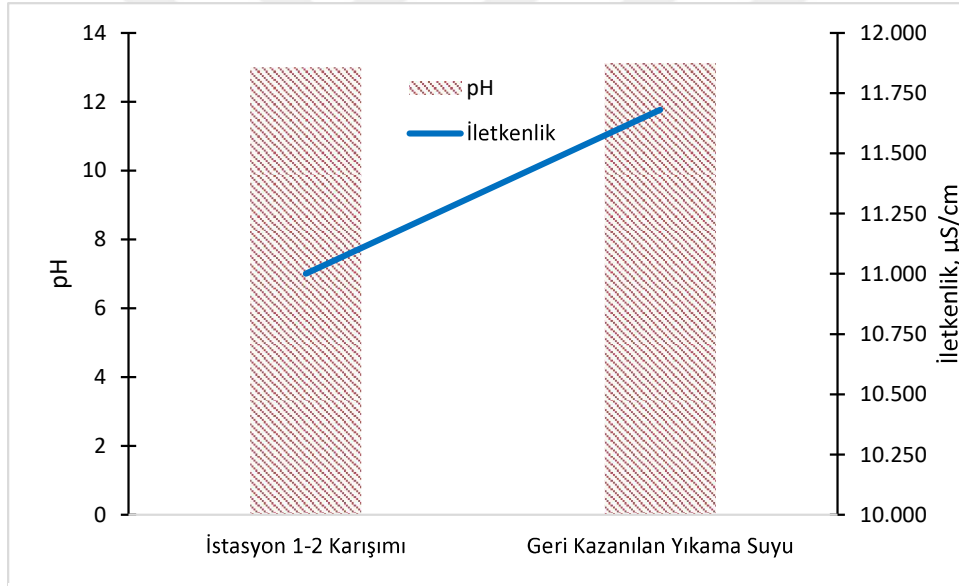


Şekil 34 Geri kazanılan durulama suyunun normalde kullanılan şebeke suyu ile TOK konsantrasyonu ve bulanıklık değerlerinin karşılaştırılması

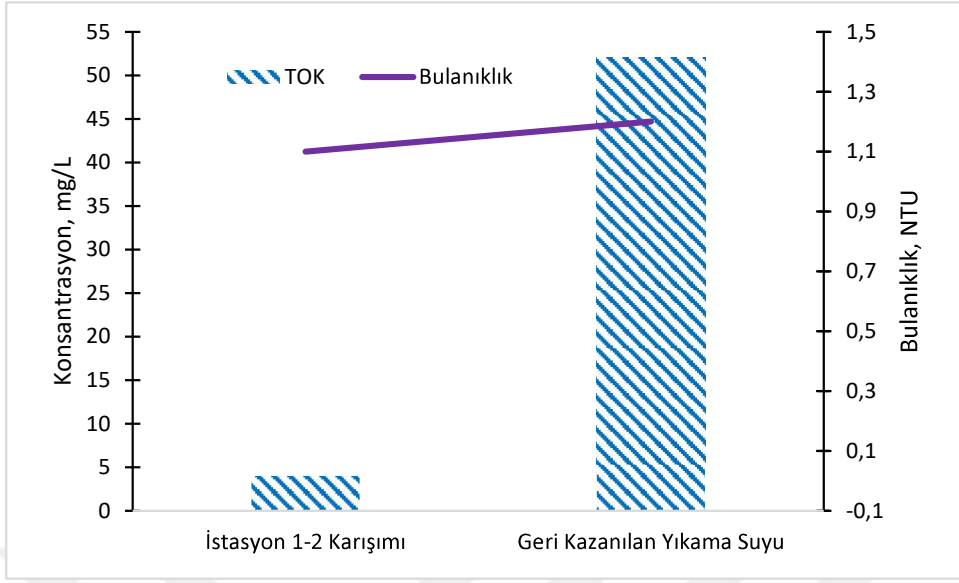
Yıkama suyunun arıtımından sonra geri kullanımına uygunluğu için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda istenilen su ile karşılaştırmak için standart olarak kullanılan şebeke suyuna iletkenlik değerine göre otomatik olarak dozlanan kostik içerikli deterjan manuel olarak eklenmiştir. Geri kazanılan yıkama suyu ve kostikli şebeke suyunun analizleri karşılaştırılmıştır. Analizler Tablo 25'de, karşılaştırılması Şekil 35 ve Şekil 36 Şekil 34'de paylaşılmıştır. Analizler incelendiğinde pH ve bulanıklık değerlerinin değişmediği gözlemlenmiştir. İletkenlik değerinin %5,82 oranında arttığı bunun nedeninin içerisinde bulunan alüminyum iyonlarından kaynaklandığı öngörülmüştür. Alüminyum değeri geri kazanılan yıkama suyunda 52mg/l değerinde olmasının yıkama performansını olumsuz yönde etkilemediği tespit edilmiştir. Bu karşılaştırma ile geri kazanılan yıkama suyunun üretim prosesinde kullanılmaya ve FEA standartlarına uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 25 Deterjan eklenmiş şebeke suyunun geri kazanılan yıkama suyu ile analizlerinin karşılaştırılması

Analiz Parametreleri	İstasyon 1-2 Karışımı	Geri Kazanılan Yıkama Suyu
pH	13,00	13,12
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	11.000	11.680
Alüminyum (mg/l)	<4	52
Bulanıklık (ntu)	1,1	1,2



Şekil 35 Geri kazanılan yıkama suyunun normalde kullanılan kostikli şebeke suyu ile pH ve iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 36 Geri kazanılan durulama suyunun normalde kullanılan kostikli şebeke suyu ile TOK konsantrasyonu ve bulanıklık değerlerinin karşılaştırılması



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, alüminyum kutu üretim prosesi sırasında ortaya çıkan alkali atıksuların mevcut arıtma sistemlerinden farklı olarak arıtılarak geri kazanılması, yeni bir arıtma sistemin geliştirilmesi, maliyet analizlerinin yapılması ve arıtma denemeleri gerçekleştirilmiştir. Yeni sistemde, konvansiyonel sistemlere göre daha az miktarda kimyasal ve enerji kullanımı sağlanarak maksimum kazanç elde edilmesi için çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalar yürütülürken FEA tarafından belirlenmiş olan pH, iletkenlik, AKM, bulanıklık, alüminyum değerlerinin karşılaştırılması ile takip edilmiştir.

Geliştirilen sistem alkali atıksuların kaynağında karakterine göre yıkama ve durulama suları olarak ayrılması ile diğer geri kazanım sistemlerine göre daha az enerji ve kimyasal tüketimi ile hem proses suyu, hem kostik hemde ısı enerjisi geri kazanımı sağlanmıştır. Aynı zamanda arıtma prosesi sonucunda oluşan çamur miktarı konvansiyonel arıtma sistemlerine göre %60 oranında daha az çamur atık oluşturması esasına dayanmaktadır.

Sistemin tüm istasyonlarının karıştırılıp nötralizasyon işlemi için harcanan asit miktarı sadece durulama suları olan istasyon 3-4-5'in nötralizasyon işlemi için harcanan asit miktarının 10 katıdır. Sistemin atıksularının kaynağında karakterine göre yıkama ve durulama suları olarak ayrılması ve ayrı prosesler ile arıtılması ve geliştirilen sistemin yıkama suyu geri kazanımında kullanılması ile ısı enerjisinde %80, kostikli deterjan tüketiminde %95 oranında geri kazanım sağlanmaktadır.

Alüminyum kutu sanayisi üretiminde bulunan bir hattın banyosunun standart olarak 1-2 istasyonları yıkama, 3-4-5 istasyonları durulama prosesi kullanılmaktadır. Bir hatta ait yıkama sularının debisi 0,6 m³/saat, durulama sularının ise 1,5 m³/saat kapasite ile işletilmesi durumunda geliştirilen sistem sayesinde ısı enerjisi, alkali deterjan ve proses suyu geri kazanımları ile ortalama yıllık 38.000 Euro/hat tasarruf sağlamakta olduğu hesaplanmıştır. Ortalama bir fabrikada 5 hat olduğu, kabul edilirse yıkama ve durulama hatlarının ayrılması ve ayrı ayrı geri kazanılması için ortalama 500.000,00 Euro yatırım maliyeti gerektiği ve bu durumda sistemin ilk yatırım maliyetini ortalama 2,5 yıl gibi kısa bir sürede geri ödediği hesaplanmıştır. Bu geri kazanımlar sağlanırken ürün başına düşen karbon ve su ayak izi azalmasından dolayı Avrupa pazarında büyük avantaj da sağlamaktadır.

Bu çalışmalar ışığında diğerk alüminyum sektörlerine bu uygulamaların adaptasyon çalışmaları gerçekleştirilebileceğı düşünölmektedir. Bu sayede yabancı kura bağılı olan ve ölkemizde çoğunlukla ithal edilen kostik ve/veya kostik bazlı deterjanların tedarik ihtiyacının azaltılması ve uluslararası pazarda yerli yatırımcılarımızın fiyat avantajı sağlamasını ve yer alması hedeflenmektedir. |



KAYNAKLAR

- [1] B. Yüzer, “Atıksuların Bipolar Membran Elektrodializ Prosesi İle Arıtılması Ve Geri Kullanım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi,” Doktora, İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, İstanbul, 2012.
- [2] S. Ünal, “Nihai Kullanım Amacına Göre Uygulanan Membran Prosesler Ve Diğer Su Arıtma Yöntemleri İle İçme Ve Proses Suyu Üretiminin Maliyet Analizi,” İstanbul, 2015.
- [3] M. M. Mekonnen and A. Y. Hoekstra, “Four billion people facing severe water scarcity,” *Science Advances*, vol. 2, no. 2, Feb. 2016, doi: 10.1126/sciadv.1500323.
- [4] A. Maddocks, R. S. Young, and P. Reig, “Ranking The World’s Most Water-Stressed Countries in 2040,” *World Resources Institute*, 2015.
- [5] P. G. Sheasby, R. Pinner, and S. Wernick, *The Surface Treatment And Finishing of Aluminum And Its Alloys*, vol. 1. ASM International, Novelty, 2001.
- [6] Assan Alüminyum, “Her Yönüyle Alüminyum,” <https://www.assanaluminyum.com/tr-tr/surdurulebilirlik/her-yonuyle-aluminyum>, 2020.
- [7] Hinterkopf, “Necking Machine,” <https://www.hinterkopf.de/en/solutions/machines/necking-machines.html>, 2022.
- [8] İSKİ Genel Müdürlüğü Atıksuların Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliği, *T.C İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Su Ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Genel Müdürlüğü*. İstanbul, 2013.
- [9] Ö. Besli, “Alüminyum Sektöründe Atıksuların İncelenmesi Ve Arıtılması,” Kocaeli Üniversitesi, 2011.
- [10] W. S. Chai *et al.*, “A review on conventional and novel materials towards heavy metal adsorption in wastewater treatment application,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 296, p. 126589, May 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126589.

- [11] J. O. Eniola, R. Kumar, M. A. Barakat, and J. Rashid, "A review on conventional and advanced hybrid technologies for pharmaceutical wastewater treatment," *Journal of Cleaner Production*, vol. 356, p. 131826, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131826.
- [12] M. A. Rahman and N. E. Khan, "Study of an Evaporation System for Sodium Hydroxide Solution," *Journal of Chemical Engineering*, pp. 35–36, Jul. 2010, doi: 10.3329/jce.v24i0.5581.
- [13] E. T. Elmas, "Evaporation Plant for Recycling of Caustic Soda," 2017.
- [14] Kaya Hicran, "Alüminyum İşleme Ve Kaplama Endüstrisi Atıksularının Karakterizasyonu Ve Geri Kazanım Alternatiflerinin Araştırılması," T.C. TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ, 2019.
- [15] S. U. Sayyad, N. K. Kamthe, and S. M. Sarvade, "Design and simulation of reverse osmosis process in a hybrid forward osmosis-reverse osmosis system," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 183, pp. 210–220, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.cherd.2022.05.002.
- [16] F. Elazhar, M. Elazhar, N. el Filali, S. Belhamidi, A. Elmidaoui, and M. Taky, "Potential of hybrid NF-RO system to enhance chloride removal and reduce membrane fouling during surface water desalination," *Separation and Purification Technology*, vol. 261, p. 118299, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.seppur.2021.118299.
- [17] Basak Aslı, "Alüminyum Mamül Üretim Prosesi Atıksuyunda İyon Değişirme Prosesi İle Ağır Metal Giderimi," T.C. ERCİYES ÜNİVERSİTESİ, 2017.
- [18] E. Laforce, I. Stals, E. R. Cornelissen, P. Vermeir, and J. de Clercq, "Revealing the effect of anion exchange resin conditioning on the pH and natural organic matter model compounds removal mechanisms," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 10, no. 5, p. 108315, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.jece.2022.108315.
- [19] A. Hussain, R. Sharma, J. Minier-Matar, Z. Hirani, and S. Adham, "Application of emerging ion exchange resin for boron removal from saline groundwater," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 32, p. 100906, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.jwpe.2019.100906.

- [20] C. P. Gomes, M. F. Almeida, and J. M. Loureiro, "Gold recovery with ion exchange used resins," *Separation and Purification Technology*, vol. 24, no. 1–2, pp. 35–57, Jun. 2001, doi: 10.1016/S1383-5866(00)00211-2.
- [21] A. D. Eaton and M. A. H. Franson, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition," 2005.
- [22] Tuna Silis Kum, "Kuvars Kumü," <https://www.tunasiliskum.com.tr/kuvars-kumu/>, 2019.
- [23] Rota Mining, "Klinoptilolit Nedir?," <https://www.rotamining.com/klinoptilolit-nedir/?lang=tr>, 2022.
- [24] Solechem, "Aktif Karbon," <https://www.solechem.com/u/aktif-karbon/>, 2022.
- [25] Labor Teknik, "WTW Turb 430 Ir/Set Portatif Bulanıklık Ölçer," <https://www.labor.com.tr/urun/wtw-turb-430-ir-set-portatif-bulaniklik-olcer>, 2022.
- [26] Arif Malyer LTD. STI, "Hach HQ40D Portatif Multi Parametre Ölçüm Cihazı – Set," <https://www.arifmalyer.com.tr/urun/hach-hq40d-portatif-multi-parametre-olcum-cihazi-set/>, 2022.
- [27] Hach, "KOİ küvet testi, 100-2000 mg/L O₂," <https://tr.hach.com/koi-kuvet-testi-100-2000-mg-l-o/product?id=26370298820>, 2022.
- [28] Hach, "DR6000 Spektrofotometre," <https://tr.hach.com/spektrofotometreler/dr6000-spektrofotometre/family?productCategoryId=24970700871>, 2022.
- [29] Hach, "Alüminyum küvet testi, 0,02-0,5 mg/L Al," <https://tr.hach.com/aluminyum-kuvet-testi-0-02-0-5-mg-l-al/product-details?id=26370275699>, 2022.
- [30] Ant Teknik, "Toplam Organik Karbon Analizörü - Islak Kimyasal Oksidasyon (Wet Type) | TOC-VWP," <https://www.antteknik.com/tr/urunler/?p=toplam-organik-karbon-analizoru-wet-type-toc-vwp>, 2022.

EKLER

|

