

**T.C.**  
**TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALÜMİNYUM İŞLEME VE KAPLAMA ENDÜSTRİSİ**  
**ATIKSULARININ KARAKTERİZASYONU VE GERİ KAZANIM**  
**ALTERNATİFLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Hicran KAYA**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**DANIŞMAN: Doç. Dr. Elçin GÜNEŞ**

**TEKİRDAĞ-2019**

**Her hakkı saklıdır**

Doç. Dr. Elçin GÜNEŞ danışmanlığında, Hicran KAYA tarafından hazırlanan “Alüminyum İşleme ve Kaplama Endüstrisi Atıksularının Karakterizasyonu ve Geri Kazanım Alternatiflerinin Araştırılması” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Doç. Dr. Atakan ÖNGEN

*İmza:*

Üye: Doç. Dr. Elçin GÜNEŞ

*İmza:*

Üye: Doç. Dr. Gül KAYKIOĞLU

*İmza:*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ALÜMİNYUM İŞLEME VE KAPLAMA ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ KARAKTERİZASYONU VE GERİ KAZANIM ALTERNATİFLERİNİN ARAŞTIRILMASI

**Hicran KAYA**

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Elçin GÜNEŞ

Alüminyum kaplama tesislerinde proses içinde farklı ünitelerde farklı kirlilik profilleri ortaya çıkmaktadır. Emaye kaplama kısmında daha yoğun kirlilik yüküne sahip atıksu çıkışı gerçekleşmektedir. Yıkama ünitelerinde daha az yoğun kirliliğe sahip atıksu oluşumu söz konusudur. Eloksal kaplama ünitelerinden daha asidik sular çıkmakta olup çelikle birleştirmenin gerçekleşeceği ünitelerde yıkama ve şekillendirme amaçlı kullanılan sular daha yağlı ve KOİ'si yüksek atık sulardır. Tüm bu sular üretim sonucu birleşip atıksu arıtma tesisine verilmektedir. Bu çalışmada; Tekirdağ ilinde kurulu bulunan iki adet alüminyum kaplama tesisinden kaynaklanan atıksuların karakterizasyonları ve arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra proses içinde tekrar kullanılabilirliği araştırması yürütülmüştür. Ayrıca bu iki alüminyum tesisinde, arıtılan suyun tekrar kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için uygulanan ileri arıtma yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Mevcut arıtma tesislerinden çıkan atıksular kimyasal arıtma yöntemi uygulanarak arıtılmaktadır. Atıksular arıtıldıktan sonra deminerilizasyon, ultrafiltrasyon ve ters ozmos işlemlerine tabi tutularak Askıda Katı Madde (AKM), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), ağır metaller vb. kirlilik parametrelerinin giderimi ve yeniden kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kimyasal arıtmadan sonra pH, AKM, KOİ parametrelerinin optimum giderim verimlerinin hangi değerde sağlandığı, giderim verimi oranları, ileri arıtım yönteminin uygulanabilirliği ve geri kazanılan suyun oranı araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Deminerilizasyon, alüminyum endüstrisi, kimyasal arıtma, proses kullanım suyu

2019, 78 sayfa

## **ABSTRACT**

MSc. Thesis

### **INVESTIGATION OF THE CHARACTERIZATION AND RECOVERY ALTERNATIVES OF ALUMINUM PROCESSING AND COATING INDUSTRY WASTES**

**Hicran KAYA**

Tekirdağ Namık Kemal University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Elçin GÜNEŞ

Different pollution profiles occur in different units within the process in aluminum coating plants. In the enamel coating section, wastewaters with more intensive pollution load were formed. Less wastewater formed in the washing units. The more acidic waters are formed from the anodized coating units, and the oils used for washing and forming purposes have higher oil-grease and COD values in the units where the joining with steel occurs. All of these wastewaters are combined with the result of production and given to wastewater treatment plant. In this study; the characterization of wastewater from two aluminum plating plants in Tekirdağ was investigated. In addition, after the treatment of these wastewaters in the treatment plant, re-usability research was carried out. In addition, in these two aluminum plants, the comparison of the advanced treatment methods applied to evaluate the reusability of the treated water was made. The wastewater from the existing treatment plants is treated with chemical treatment. After treatment, wastewaters are subjected to demineralization, ultrafiltration and reverse osmosis processes. Removal of TSS, COD and heavy metals and re-usability of wastewater were investigated. After the chemical treatment, the efficiency of the pH, TSS, COD parameters optimum removal efficiency, the applicability of the advanced treatment method and the rate of recovered water were investigated.

**Keywords:** Demineralization, aluminium industry, chemical treatment, process water

**2019, 78 pages**

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	iii
<b>ÇİZELGE DİZİNİ</b> .....	v
<b>ŞEKİL DİZİNİ</b> .....	vi
<b>KISALTMALAR</b> .....	vii
<b>ÖNSÖZ</b> .....	viii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. ALÜMİNYUM ENDÜSTRİSİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ</b> .....	2
2.1 Alüminyum Endüstrisi Tanımı.....	3
2.2 Alüminyum Endüstrisi Üretim Prosesleri.....	4
2.2.1 Birincil alüminyum üretimi.....	4
2.2.1.1 Boksit.....	5
2.2.1.2 Alümina.....	5
2.2.1.3 Alüminyum.....	6
2.2.2 İkincil alüminyum üretimi.....	7
2.3 Alüminyum Ürünlerin Üretim Yöntemine Göre Sınıflandırılması.....	8
<b>3. SU GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ</b> .....	9
3.1. İyon Değişimi.....	9
3.2. İndirgeme ve Çöktürme.....	9
3.3. Koagülasyon ve Flokülasyon.....	9
3.4. Adsorpsiyon.....	10
3.5. Kimyasal Oksidasyon.....	10
3.6. Membran Prosesleri.....	12
3.7. Demineralizasyon.....	12
3.8. Elektrokoagülasyon.....	14
3.9. Evaporasyon.....	
<b>4. ALÜMİNYUM TESİSLERİNDE KULLANILAN KİMYASALLARIN TAYİNİ VE GERİ KAZANIM YÖNTEMLERİ</b> .....	15
4.1. Nötralizasyon ve Çöktürme Metodu.....	16
4.2. Termal Geri Kazanma Metodu.....	16

4.3. İyon Değişiriciler ile Geri Kazanım.....	17
4.4. Membran/Diyaliz Arıtma Sistemleri.....	19
4.5. Ekstraksiyon Metodu.....	19
4.6. Hidroliz Metodu.....	<b>20</b>
<b>5. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	
5.1. Paslanmaz Çelik Mutfak Eşyası (Tencere ve Tava)ile Yanmaz Yapışmaz Mutfak Eşyası Üretim Tesisinin İş Tanımı ve İş Akım Şeması.....	20
5.2. İkincil Alüminyumdan Eloksal Kaplama Tesisinin İş Tanımı ve İş Akım Şeması.....	22
5.3. Proseste Kullanılan Kimyasal ve Tüketilen Su Miktarı Tespiti için Analiz	38
5.4. Yöntemleri.....	<b>44</b>
<b>6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	
6.1. Paslanmaz Çelik Mutfak Eşyası (Tencere ve Tava) ile Yanmaz Yapışmaz Mutfak Eşyası Üretim Tesisi .....	44
6.1.1. Su kullanımı, atıksu oluşumu ve atıksu karakterizasyonu.....	46
6.1.2. Atıksu için yapılan analizler.....	47
6.1.3. Atıksuyun yeniden kullanılabilirliğinin belirlenmesi için yapılan deneysel çalışmalar	50
6.2. İkincil Alüminyumdan Eloksal Kaplama Tesisi.....	50
6.2.1. Su kullanımı, atıksu oluşumu ve atıksu karakterizasyonu.....	53
6.2.2. Atıksu için yapılan analizler.....	55
6.2.3. Su ve kimyasalların geri kazanımı için yapılan deneysel çalışmalar.....	<b>62</b>
<b>7. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR.....</b>	<b>66</b>
<b>8. KAYNAKLAR.....</b>	

## ÇİZELGE DİZİNİ

## Sayfa

Çizelge 2.1: Alüminyumun Kullanım Alanlarına Göre Dağılımı.....	3
Çizelge 2.2: Alüminyumun Kullanım Ömürleri Ve Geri Kazanma Oranları.....	6
Çizelge 2.3: Hurdaların Değerlendirilmesinde Geri Kazanım Oranları.....	7
Çizelge 3.1: Membran Prosesler ve Genel Özellikleri.....	12
Çizelge 6.1: AAT Proses Dizayn Kriterleri İçin Atıksu Kirlilik Değerleri (Arıtma Tesisi Giriş Suyu Değerleri).....	45
Çizelge 6.2: Tablo 15.11: Sektör: Metal Sanayii (Sırlama, Emayeleme, Mineleme Tesisleri) (Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Sınır Değerleri).....	46
Çizelge 6.3: Arıtma Tesisi Deşarj Noktasından Alınmış Anlık Analiz Sonuçları.....	47
Çizelge 6.4: Her Bir Prosesten Kaynaklanan Atıksu Analiz Sonuçları.....	48
Çizelge 6.5: Şekil 6.1'deki Örnekleme Noktasından (Kimyasal AAT çıkış suyundan) Alınan Ham Atıksu Analiz Değerleri ve Yeniden Kullanılabilirlik Değerlerinin Karşılaştırma Tablosu.....	49
Çizelge 6.6: Tablo 15.5: Sektör: Metal Sanayii (Elektrolitik Kaplama, Elektroliz Usulüyle Kaplama) ve Tablo 15.6: Sektör: Metal Sanayii (Metal Renklendirme).....	53
Çizelge 6.7: Arıtma Tesisi Giriş Noktasından (Şekil 6.3) Prosesten Çıkan Atıksu Analiz Sonuçları ve Arıtma Sonrası Değerler.....	54
Çizelge 6.8: Arıtma Tesisi Proses Suyu Verimi.....	55
Çizelge 6.9: Matlaştırma Banyosu Analiz Değerleri.....	56
Çizelge 6.10: Matlaştırma Durulama Atıksuları Geri Kazanım Çalışması Sonuçları.....	56
Çizelge 6.11: Eloksal Banyosu Analiz Değerleri.....	57
Çizelge 6.12: İkincil Alüminyumdan Eloksal Kaplama Tesisleri Ana Banyo Değerleri....	60
Çizelge 7.1: Birinci Tesis Kimyasal Arıtma Giriş ve Çıkışı ve İleri Arıtım (Yeniden Kullanılabilirlik) Değerleri Karşılaştırma Çizelgesi.....	62
Çizelge 7.2: İkinci Tesis Kimyasal Arıtma Giriş ve Çıkışı ve İleri Arıtım (Yeniden Kullanılabilirlik) Değerleri Karşılaştırma Çizelgesi.....	62
Çizelge 7.3: İki Tesis için İleri Arıtım Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	64

Çizelge 7.4: İkincil Alüminyumdan Eloksal Kaplama Tesisi Birim Asit-Kostik Kimyasal Sarfiyatı İle Gerçekleşen Eloksal Kaplama Üretim Miktarları.....

65





## ŞEKİL DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Alümyum Akış Diyagramı.....	3
Şekil 3.1: Elektrokoagülasyon Prosesi.....	13
Şekil 5.1: Paslanmaz Çelik Mutfak Eşyası Üretim Prosesi (Tencere ve Tava) ile Yanmaz Yapışmaz Mutfak Eşyası Üretim Prosesi İş Akım Şeması.....	22
Şekil 5.2: Ergitme ve Döküm Prosesi İş Akım Şeması.....	23
Şekil 5.3: Kalıp Üretimi İş Akım Şeması.....	24
Şekil 5.4: Kalıp Yüzey Sertleştirme İşlemi İş Akım Şeması.....	26
Şekil 5.5: Alüminyum Profil Üretim Prosesi İş Akım Şeması.....	27
Şekil 5.6: Eloksal Kaplama Prosesi İş Akım Şeması.....	29
Şekil 5.7: Elektrostatik Toz Boyama Prosesi İş Akım Şeması.....	31
Şekil 5.8: Alüminyum Rulo Bobin Boyama Prosesi İş Akım Şeması.....	33
Şekil 5.9: Kompozit Panel Üretimi İş Akım Şeması.....	34
Şekil 5.10: Fitol, Conta, Kauçuk İmalatı İş Akım Şeması.....	35
Şekil 5.11: Cam İşleme Prosesi İş Akım Şeması.....	37
Şekil 6.1: Paslanmaz Çelik Mutfak Eşyası (Tencere ve Tava) ile Yanmaz Yapışmaz Mutfak Eşyası Üretim Tesisinin Atıksu Arıtma Tesisi Akış Diyagramı.....	45
Şekil 6.2: Deminerilizasyon Ünitesi.....	50
Şekil 6.3: Tipik Bir İkincil Alüminyumdan Eloksal Kaplama Prosesi Su ve Kimyasal Giriş-Çıkış Diyagramı .....	51
Şekil 6.4: İkincil Alüminyumdan Eloksal Kaplama Tesisinin Atıksu Arıtma Tesisi Akış Diyagramı.....	52
Şekil 6.5: Asit Geri Kazanım Sistemi (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> geri kazanım sistemi).....	57
Şekil 6.6: Eloksal Durulama Banyosu Pilot Sistem Uygulaması Çıkış Sonuçları.....	58
Şekil 6.7: Kalay Durulama Banyosu Pilot Sistem Uygulaması Çıkış Sonuçları.....	59
Şekil 6.8: Soğuk Tespit Durulama Banyosu Pilot Sistem Uygulaması Çıkış Sonuçları...	59
Şekil 6.9: Eloksal Kaplama Tesisi için Kimyasal Atıksu Arıtma Tesisi .....	61
Şekil 7.1: Örnek Bir Alüminyum Eloksal Kaplama Tesisi Yıllık Su-Kimyasal-Doğalgaz-Elektrik Maliyetleri.....	63

## KISALTMALAR

AAT	:Atıksu Arıtma Tesisi
AKM	: Askıda Katı Madde
Al	: Alüminyum
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alüminyum Oksit
Al(OH) <sub>3</sub>	: Alüminyum Hidroksil
ED	:
Fe	: Demir
FeSO <sub>4</sub>	: Demir Sülfat
Fe(OH) <sub>3</sub>	: Demir Hidroksit
HCl	: Hidroklorik asit
EPA	: Enviromental Protection Agency
FAU	: Formazine Attenuation Unit
Gr	: Gram
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
L	: Litre
MF	: Mikro Filtrasyon
mg	: Miligram
NaAlO <sub>2</sub>	: Sodyum Alüminat
NF	: Nono Filtrasyon
Na OH	: Sodyum Hidroksit
NaHSO <sub>4</sub>	: Sodyum Hidrojen Sülfat
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	: Sodyum Metabisülfid
µS	: Mili Siemens
pH	: Power of Hydrogen
RO	: Ters Ozmoz
Sa	: Saat
SKKY	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
SM	: Standart Methods for The Examination of Water and Waswater
SO <sub>2</sub>	: Kükürt Dioksit
UF	: Ultra Filtrasyon
2 Sa	: 2 Saatlik Kompozit Numune

## ÖNSÖZ

Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı çerçevesinde hazırladığım ‘Alüminyum İşleme ve Kaplama Endüstrisi Atıksularının Karakterizasyonu ve Geri Kazanım Alternatiflerinin Araştırılması’ konulu bu tez için bana her türlü desteği veren ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarımın gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlayan Danışman Hocam Doç. Dr. Elçin GÜNEŞ ’e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2019

Hicran KAYA  
Çevre Mühendisi

## 1. GİRİŞ

İkincil alüminyum; döküm ürünlerinin üretimi sırasında oluşan, geri kazanım olasılığı % 100 olan yeni hurdalar ile kullanım ömrünü doldurmuş geri kazanım olasılığı yapısı, şekli ve et kalınlığına göre değişen eski hurdalardır. Ergene bölgesinde bulunan alüminyum tesislerinde ikincil alüminyumdan üretim gerçekleştirilmektedir. Alüminyum tesislerinde yarı mamül üretimi boyunca boya, kimyasal ve yağ karışımı yüksek olan atıksular oluşmaktadır.

Paslanmaz çelik mutfak eşyası (tencere ve tava) ile yanmaz yapışmaz mutfak eşyası üretim tesislerinde proses gereği KOİ ve AKM'si yüksek, ağır metal bakımından yoğun kirliliğe sahip atıksular oluşmaktadır. Özellikle döküm ve emaye kaplama bölümlerinde emaye ve astarlama kısımlarında kimyasallar kullanılmakta ve kirlilik değerleri yüksek atık sular oluşmaktadır.

İkincil alüminyumdan eloksal kaplama tesislerinde profil üretimi işleminde yarı mamül, eloksal kaplamalardan geçirilmektedir. Eloksal kaplama prosesinde üretim tanklarında, yapılacak işleme göre asidik veya bazik karakterli banyolar hazırlanmakta ve bu banyolar karakterleri bozulana kadar kullanılmaktadır. Karakteri bozulan bu atıksular aynı tankta toplandığında asit ve baz karakterli atıksuların birleşmesi sonucu tuz oluşmakta ve çökme sebebiyle arıtımı güç olmaktadır.

Çevre sorunlarına yol açması önlenemez veya minimize edilecek sanayileşmenin gerçekleştirilmesi ve yatırımların yönlendirilmesi amacıyla Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) kurulmuştur. Ancak Ergene havzasında Tekirdağ İl sınırları içinde bazı firmalar OSB sınırları içinde bulunmadıklarından atık suyun deşarj edilmesi noktasında büyük sorunlarla karşılaşmaktadır. Ayrıca Derin Deniz Deşarjı ile artacak olan temiz su kullanım maliyetleri ve atıksu bertaraf maliyetleri düşünüldüğünde işletmelerin geri kazanıma yatırım yapmaları kaçınılmaz bir zorunluluk olarak kendisini dayatacaktır.

Bu çalışmanın amacı; alüminyum sektörü atıksu karakterizasyonunun ve uygulanan arıtma yöntemine ek olarak uygulanabilecek ileri arıtım yöntemlerinin araştırılmasıdır. Atıksu geri kazanımı sonucu sıfır deşarj ile hem çevre sularımızın kirlenmesi önlenmiş olacak hem de kullanım suyu ve arıtılmış atıksu bertaraf maliyetleri minimum düzeye indirilmiş olacaktır.

## 2. ALÜMİNYUM ENDÜSTRİSİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

### 2.1. Alüminyum Endüstrisi Tanımı

Alüminyum, periyodik cetvelin III A grubunda bulunan ve atom numarası 13, atom ağırlığı 26.89 olan +3 değerlikli bir elementtir. Alüminyum doğada bileşikler halinde bulunur. Dünyamızda yaklaşık olarak % 8 civarında bulunan alüminyum metali, oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü elementtir. Bu kadar çok bulunmasına rağmen varlığı 1808 yılında İngiliz Sir Humphry Davy tarafından tesbit edilen bu metalin, ticari anlamda üretim teknolojisi ancak 1886 yılında Paul Louis Toussaint Heroult (Fransa) ve Charles Martin Hall (ABD) tarafından, birbirlerinden habersiz şekilde ayrı çalışmaları sonucunda geliştirilmiştir.

Alüminyum sektörü, boksit madeninden birincil alüminyum ve hurdadan ikincil alüminyum üreten, bunları kullanım amaçlarına göre aşımlandırarak ve üretimin yetişmemesi halinde ithal edilen külçe döküm ve işleme ingotlarını, dökme, haddeleme, çekme ve dövme işlemlerine tabi tutarak, piyasaya uç ürünlere kadar mal üreten kuruluşlardır.

Ülkemizde birincil alüminyum üreten tek kuruluş Eti Alüminyum A.Ş. Genel Müdürlüğü'dür. Özel sektör kuruluşları ağırlıklı olarak ikincil alüminyum ve buna dayalı sadece yarı ürün veya uç ürün üretimi alanında faaliyet göstermekte olup, bir anlamda alüminyum işleyen kuruluşlardır.

Kullanım alanına göre, özelliklerinden kaynaklanan bazı avantajları ve yeni aşımaların getirdiği bazı alanlarda, artan oranda çeliğe ikame olanakları nedeniyle, sanayinin tüm alanlarında alüminyum tüketimi diğer metallere göre daha fazla artmaktadır. Bu açıdan alüminyumun genel ekonomi içinde önemli bir yeri vardır (Günay 2006).

Alüminyum kullanım alanları Çizelge 2.1'de gösterildiği gibidir.

**Çizelge 2.1.** Alüminyumun Kullanım Alanlarına Göre Dağılımı (Çopur ve ark.2000)

İnşaat	% 25
Ulaşım	% 24
Ambalaj	% 15
Elektrik/Elektronik	% 10
Genel Mühendislik	% 9
Mobilya, ofis eşyaları	% 6
Demir çelik, metalurji	% 3
Kimya ve tarım ürünleri sanayi	% 1
Diğer	% 7
<b>TOPLAM</b>	<b>% 100</b>

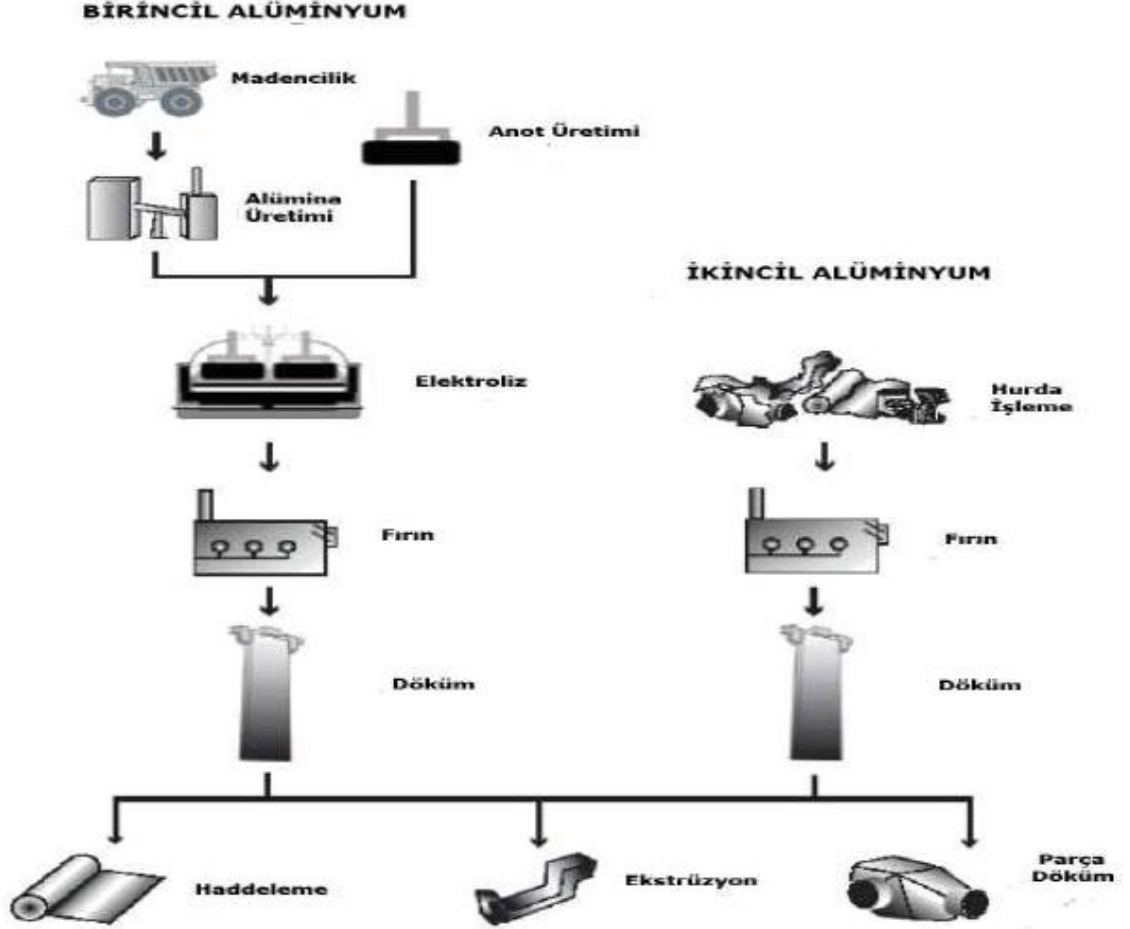
Ülkemizde, alüminyum ekstrüzyon, yassı ürünler, döküm ürünleri ve iletkenlerin geniş çapta üretimi, özel sektör tarafından gerçekleştirilmektedir. Türkiye’de alüminyum sektöründe faaliyet gösteren firmaların toplam üretim kapasiteleri 400-450 bin ton civarındadır (Alan 2008).

## **2.2. Alüminyum Endüstrisi Üretim Prosesleri**

Alüminyum üretiminde iki kaynak söz konusudur.

- Cevherden üretilen alüminyum (Birincil Alüminyum)
- Hurdadan üretilen alüminyum (İkincil Alüminyum)

Birincil ve ikincil alüminyum üretimi Şekil 2.1’de verilmiş olup aşağıda anlatıldığı gibidir.



Şekil 2.1. Alüminyum Akış Diyagramı (Anonim 2006).

### 2.2.1. Birincil alüminyum üretimi

Birincil alüminyum üretimi; birbirini takip eden beş ana üretim aşamasından oluşur.

- ❖ Boksit madeni işletmeciliği,
- ❖ Boksit cevherinden alümina üretimi
- ❖ Alüminadan elektroliz yolu ile sıvı alüminyum üretimi
- ❖ Sıvı alüminyumun alaşımlandırılarak dökümü
- ❖ Döküm ürünlerinden ekstrüzyon ve haddelene işlemleriyle yarı ve/veya uç ürün üretimi (Anonim 2006).

#### 2.2.1.1. Boksit

Farklı bileşikleri olmasına karşın, alüminyum metali üretiminde boksit cevherleri kullanılmaktadır. Boksit ( $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ ) birden fazla mineralden oluşmuş mineraller topluluğu

ve alüminyum cevherlerine verilen genel isimdir. Boksitler içerdikleri demir minerallerinin cins ve oranlarına bağlı olarak; kahve, kırmızı, bej, grive alacalı gibi çok değişik renklerde olabilmektedirler.

Boksit cevheri üretimi, genellikle açık ocak işletmeciliği ile yapılmaktadır. Ticari olarak işletilebilen boksit cevherinin Alüminyum Oksit ( $Al_2O_3$ ) tenörü % 30-65 arasında değişmektedir ve elde edilen boksitin % 85'i birincil alüminyum üretimine yöneliktir. Birincil alüminyum üretiminin ikinci kademesi olan alümina üretiminin yapıldığı tesislerin büyük çoğunluğunda islenen boksitlerin en az % 40  $Al_2O_3$ , en fazla %15 Silikon Dioksit ( $SiO_2$ ) içermesi gerekmektedir. Birincil alüminyum üretiminde kullanılan boksitlerin kimyasal ve mineralojik bileşenlerine bağlı olmak koşulu ile 4-5 ton boksitten 2 ton alümina, 2 ton alüminadan da yaklaşık 1 ton alüminyum elde edilmektedir (Anonim 2006).

### **2.2.1.2. Alümina (Alüminyum Oksit)**

Birincil alüminyum üretiminde, ikinci kademe bayer prosesi ile gerçekleştirilen, alümina üretimidir. Boksit cevheri yıkandıktan sonra kırılıp öğütülür. Öğütülüp, ham pulp haline getirilmiş boksitler, yüksek ısı ve basınçta sudkostik (NaOH) çözeltisi ile reaksiyona sokulmak suretiyle, kimyasal yollacevherdeki alumina ( $Al_2O_3$ ) sodyum alüminat ( $NaAlO_2$ ) çözeltisi ve demir, silis, titanyum vb. gibi safsızlıkları içeren sıvı faza alınır. Çözünmeyen bileşenler tankın dibine çökerek, oluşan atıklar (kırmızı çamur) ayrılır. Başka bir tanka gönderilen istenilen temizlikteki sodyum alüminat çözeltisi aşılansarak tabanda alüminyum hidroksit (Hidrat)  $Al(OH)_3$  kristali halinde çöktürülür. Elde edilen hidrat, akışkan yataklı veya döner fırınlarda  $1100-1200^{\circ}C$  sıcaklıkta kimyasal bağlı suyu uçurmak amacıyla kalsine edilerek alümina elde edilmektedir. Alümina tesisleri, genellikle boksit cevherlerinin yakınına kurulmaktadır (Anonim 2006).

### **2.2.1.3. Alüminyum**

Alümina üretiminden sonraki aşama, alüminanın ergimiş kriyolit banyosunda elektrolizi ile metalikalüminyuma dönüştürülmesidir. Birincil alüminyum, alüminanın alüminyum elektroliz hücrelerinde yüksek akım (100-400kA) altında  $960-970^{\circ}C$  sıcaklıkta elektrolit adı verilen kriyolit-alüminyumflorür ergimiş tuz ergiyiği içinde çözünmesi, ayrışması ve indirgenmesi sonucu nötrleşen alüminyum metalinin tabanda birikmesi ile elde edilmektedir. Proses sırasında alüminanın parçalanmasıyla açığa çıkan oksijen ise petrol koku



ve bağlayıcı olarak taş kömürü ziftinden oluşan anot karbonu ile birleşerek oluşan karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) karbonmonooksit (CO) C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> ve elektrolitteki reaksiyonlar sonucu gaz fazına geçen flor bileşikleriyle birlikte gaz temizleme sistemine gitmektedir.

Tabanda biriken sıvı alüminyum belirli periyotlarla kapalı vakum potalarıyla çekilip alaşımlandırma ve kalıplara dökülmek üzere dökümhane birimine gönderilmektedir. Dökümhane ünitesinde üretilen yassı, yuvarlak ve külçe şeklindeki ara ürünler piyasaya verilmektedir. Yassı ingotlar haddehane ünitesinde istenen kalınlıklarda levha ve daha ileri aşamada folyo, yuvarlak ingotlar ekstrüzyon tezgahlarında kalıplardan geçirilerek istenen şekillerde profil haline getirilip uç ürün olarak pazarlara sevk edilmekte, külçeler ise tekrar eritilip, amaca göre alaşımlandırılıp istenen formlarda kalıplara dökülmektedir (Anonim 2006).

### 2.2.2. İkincil alüminyum üretimi

İkincil alüminyum üretiminde metal kaynağı olarak alüminyum hurda kullanılmaktadır. Alüminyum hurdaların başlıca iki kaynağı vardır:

- ❖ İşlem ve döküm ürünlerinin üretimi sırasında oluşan, geri kazanım olasılığı % 100 olan yeni hurda,
- ❖ Kullanım ömrünü doldurmuş geri kazanım olasılığı yapısı, şekli ve et kalınlığına göre % 30-95 arasında değişen eski hurda.

Defalarca yeniden kullanılabilir bir metal olan alüminyumun alanlarına göre kullanım ömürleri teknolojik gelişmelerin sağladığı geri kazanım oranları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Alüminyum Kullanım Ömürleri ve Geri Kazanım Oranları (Temürtürkan ve Kabukçu 2003)

Kullanım Alanı	Kullanım Ömrü (Yıl)	Geri Kazanma Oranı (%)	
		25 Yıl Önce	Günümüzde
Yeni Hurda	0	100	100
Otomotiv	10-30	50	95
Yapı	30-50	70	85
Ambalajlama	1/2-2	5-20	30

Alüminyumun geri dönüşümü ile ilgili uygulamalar; iki kategori altında kapalı ve açık döngü geri dönüşüm olarak tanımlanmaktadır. Kapalı döngü geri dönüşüm, alüminyum üretimi sırasında çıkan hurdaların yani yeni hurdanın tekrar aynı ürünün üretilmesinde

değerlendirilmesi veya kullanılmış içecek kutularının tekrar içecek kutusu üretiminde kullanılması, açık döngü geri dönüşümse çeşitli alüminyum hurda malzemelerini, alaşım elementlerini hatta birincil alüminyumunu bir arada kullanarak döküm alaşımları üretmektir. Kapalı döngü geri dönüşümde malzemenin özelliğini yitirmesi ihtimali vardır.

Alüminyumun yeniden değerlendirilmesi; hurda toplanması, tasnifi ve hazırlanması, ergitme, rafinasyon, alaşımlama gibi süreçleri içermektedir. Alüminyum hurdalarının cinslerine göre gruplandırılması gerekir. Ergitme oranını yükseltmek, elde edilecek sıvı metalin kirlenmesini önleyerek eriyik kalitesini yükseltmek ve emisyonu azaltmak amacıyla boyalı ve yağlı hurda malzemeler ergitme öncesi boyadan ve yağdan arındırılırlar. Nemin giderilmesi amacı ile önısıtma uygulanması da bir diğer ergitme öncesi işlemdir.

İkincil alüminyum üretiminde döner, reverber ve indüksiyon fırınlar kullanılmaktadır. Kullanılacak fırın tipini belirlemede ergitilecek hurdanın cinsi, büyüklüğü ve kirlilik derecesi gözönünde bulundurulmaktadır (Anonim 2006).

İkincil alüminyum üretiminde kullanılan fırınlarda hurdaların yapısına göre geri kazanım oranları Çizelge 2.3'de verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Hurdaların Değerlendirilmesinde Geri Kazanım Oranları (Temürtürkan ve Kabukçu 2003)

Hurda Cinsi	Geri Kazanım Oranı (%)		
	R.Fırını	D.Fırını	İ.Fırını
Levha, Kırpıntı, Araş	87	90	93
Preslenmiş Talaş, Folyo	80	85	90
Döküm Makine Parçaları	85	88	-
İçecek Kutuları	75	85	85
Şişe Kapakları	65	70	75

### 2.3. Alüminyum Ürünlerin Üretim Yöntemine Göre Sınıflandırılması

Alüminyum, ekstrüzyon, haddeleme ve döküm işlemleri ile çeşitli yarıürün ve ürünler haline dönüştürülür (Anonim 2018).

Ekstrüzyon yöntemi ile çeşitli kesitlerde alüminyum profil, çubuk, boru, lamalar ve filmaşın elde edilir (Anonim 2018). Ekstrüzyon işleminde kovan içine yerleştirilmiş alüminyum biyetlere basma gerilmeleri uygulanır ve alüminyum bir kalıp deliğinden kesit alanı küçültülerek geçmeye zorlanır. Kalıp deliği, imal edilmesi istenen ürünün kesitine sahip

olup kuvvet, bir piston yardımıyla biyetin kalıba doğru ittirilmesiyle uygulanır (Çapan2010).

Sıcak ve soğuk haddeleme yöntemi ile alüminyumdan plaka, levha ve folyo gibi yassı ürünler elde edilir (Anonim 2018). Haddeleme işleminde alüminyum iki merdane arasından geçirilmesi sırasında ezilir ve kalınlığı merdane arasındaki boşluk değerine düşürülür. Soğuk haddeleme; malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının altında yapılan haddelemedir (Anonim 2018). Sıcak haddeleme ise malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde yapılan haddelemedir (Anonim 2018). Soğuk haddeleme daha çok sac, levha veya folyo gibi yassı ürünlerin elde edilmesinde kullanılırken diğer kesitlere sahip malzemeler, sıcak haddelemeyle elde edilir (Çapan 2010). Haddelemede amaç haddelenen malzemeyi sıkıştırmak yani daha yoğun hale getirmektir. Böylece bunker ve buna benzer boşluklar giderilir veya azaltılır. Ayrıca malzemedeki curuf birikintileri dışarı atılır. İkinci amaç ise malzemeyi daha küçük bir kesit haline getirmektir.

Alüminyumdan, kokil, basınçlı veya kum döküm yöntemleri ile çeşitli büyüklük ve şekilde parçalar üretilir (Anonim 2018). Döküm işleminde içinde üretilmek istenen parçanın biçimine sahip bir boşluk bulunan kalıplara sıvı metalin doldurulması ile yapılır. Kalıp boşluğunun boyutları elde edilmek istenen parçadan biraz daha büyüktür. Bu şekilde katılaşma ve soğuma sırasındaki boyut azalmaları dengelenir. Döküm öncesinde metal eritilir ve döküm sıcaklığına çıkarılır. Kalıba dolan metal soğumaya başlar, sıcaklık belirli bir değere düştüğü zaman katılaşma başlar ve katılaşma tamamlandığında hala sıcak olan parça oda sıcaklığına kadar soğur. Döküm sonrasında parça kalıptan çıkarılır. Katılaşma sonrasında bazı döküm yöntemlerinde parçanın çıkarılması için kalıbın bozulması gerekir, yani kalıplar sadece bir kez kullanılırlar (kum kalıp). Bazı yöntemlerde ise kalıplar kalıcıdır ve birden çok parça üretimi için kullanılırlar (metal/kokil kalıp) (Aran 2007).

### **3. SU GERİ KAZANIM YÖNTEMLERİ**

#### **3.1 İyon Değişimi**

Endüstriyel atıksu arıtımında kullanılan, atıksu bünyesinde istenmeyen anyon ve katyonların uygun bir anyon ve katyon tipi iyon değiştirici kolonda tutulması işlemidir. İyon değiştiriciler, genellikle aşağı akışlı kolon tipindedir. Atıksu basınç altında kolona yukarıdan girer, reçine boyunca ilerleyerek aşağıdan uzaklaştırılır. Reçine kapasitesi düşünce kolonun rejenerasyonu gereklidir. Katyonik iyon değiştirme reçinelerinde genellikle sodyum hidroksit

rejeneran olarak kullanılır (Anonim 2019).

### 3.2 İndirgeme ve Çöktürme

Bu yöntem Demir Sülfat ( $\text{FeSO}_4$ ), Kükürt Dioksit ( $\text{SO}_2$ ), Sodyum Hidrojen Sülfat ( $\text{NaHSO}_4$ ) ve Sodyum Metabisülfid ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) gibi indirgeme maddeleri ile  $\text{Cr}^{+6}$  nın asitli ortamda  $\text{Cr}^{+3}$  e indirgenmesi işlemlerini kapsar. Kromlu atıkların çökelmeden önce indirgenmesi ve asitlendirilmesi gereklidir. Bunun için de kromlu atıklar öncelikle siyanürlü atıklardan ayrılmalıdır. İndirgeme işleminden sonra asidi nötralize etmek ve  $\text{Cr}^{+3}$  ü çöktürmek için bir alkali ile muamele edilmelidir. Genellikle alkali olarak kireç bulamacı ilave edilir. Kimyasal çöktürme prosesinde karıştırma, flokülasyon, koyulaştırma ve süzme işlemleri uygulanır. Bu işlemleri sonucu elde edilen çökelekten değerli metaller ayrılır. Çöktürücü olarak, metal iyonunun yapısına göre kireç, kostik soda kullanılır.

### 3.3 Koagülasyon ve Flokülasyon

Hızlı karıştırma işlemi, atıksuya kimyasal maddenin homojen olarak karışmasını sağlamak amacı ile uygulanır. Bu işlem sonucu oluşan tanecikler çok küçük yumaklar halinde birleşirler. Atıksuyun bu üniteye kalış süresi 0,5- 5 dakika arasında değişir. Kimyasal madde olarak polielektrolit, kireç, alum, demirsülfat, demir klorür gibi maddeler kullanılır. Hızlı karıştırma işleminde yaygın olarak yüksek hızlı mekanik karıştırıcılar kullanılır. Bu işlemden sonra, suyun yavaş bir şekilde karıştırılması, pıhtılaştırma ile oluşan taneciklerin birleşerek daha kolay çöken yumaklar oluşturmasını sağlamak amacıyla yumaklaştırma işlemi uygulanır (Anonim 2019).

### 3.4 Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, bir maddenin bir başka yüzey üzerinde moleküler ya da atomik bir film oluşturarak tutunmasıdır (Ekizoğlu 2008). Adsorpsiyon işleminde, birikim gösteren maddeye adsorbat, adsorblayan katıya da adsorban denilmektedir. Üç tip adsorpsiyon çeşidi vardır.

- Fiziksel
- Kimyasal
- Değişim (İyon değişimi gibi)

Fiziksel adsorpsiyon moleküller arası düşük çekim gücünden veya van der Waals kuvvetlerinden dolayı meydana gelmektedir. Adsorbe olan molekül katı yüzeyinde belirli bir

yere bağlanmamıştır, yüzey üzerinde hareketli bir durumdadır. Bununla birlikte, adsorbat adsorbanın yüzeyinde birikir ve gevşek bir tabaka oluşturur. Fiziksel adsorpsiyon genellikle geri dönüşümlüdür.

Kimyasal adsorpsiyon ise daha kuvvetli güçlerin etkisi sonucu oluşur. Genellikle adsorbat yüzey üzerinde bir molekül kalınlığında bir tabaka oluşturur, moleküller yüzey üzerinde hareket etmezler. Adsorban yüzeyinin tamamı bu mono moleküler tabaka ile kaplandığında, adsorbanın adsorplama kapasitesi bitmiş olur. Bu tür adsorpsiyon çok nadir olarak geri dönüşümlüdür. Adsorbe olan maddenin uzaklaştırılması için adsorbanın yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılması gibi işlemler uygulanır.

Değişim adsorpsiyonu, adsorbat ile yüzey arasındaki elektriksel çekim ile olmaktadır. Zıt kutup yüklerine sahip olan adsorbat ile adsorban yüzeyinin birbirlerini çekmesiyle oluşur (Sawyer ve McCarty 1978).

### **3.5 Kimyasal Oksidasyon**

Kimyasal oksidasyon prosesi; kimyasal türler arasında elektronların transferine dayanır. Bu proses indirgenme yükseltgenme prosesi olarak da bilinir. Kimyasal oksidasyonun amacı, su içerisinde bulunan bir maddenin kimyasal olarak oksitlenerek kararsız son ürüne dönüştürülmesidir (Arıcı 2000).

Kimyasal oksidasyon, genelde son arıtma olarak veya istenmeyen bileşiklerin azaltılarak daha sonraki arıtma işlemleri için kirlilik yükünün azaltılması sebebiyle ön arıtma olarak uygulanmaktadır ve rengin yanında ilave organik madde giderimini de sağlamaktadır. (Dikmen1998). Başlıca kullanım alanları; demir ve mangan giderilmesi, dezenfeksiyon, organik bileşiklerin giderilmesi, alg kontrolü, renk, tat ve koku giderilmesi, siyanür, kükürt, amonyak giderilmesi, krom indirgenmesi, korozyonkontrolüdür. Kimyasal oksidasyonda oksijen, ozon, potasyum permanganat, hidrojen peroksit, klor kullanılabilir (Anonim 2013).

### **3.6 Membran Prosesleri**

Membran, iki farklı fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve bir tarafından diğer tarafa maddelerin seçici bir şekilde taşınmasını sağlayan geçirgen bir tabakadır. Membranla ayırma teknolojilerinin tümünde membrandan geçme yönünde akış sağlamak üzere itici bir kuvvet ve bazı maddelerin geçişini engelleyen ayırma faktörü, temel iki prensiptir. Kütle transferi, konsantrasyon farkı, basınç farkı ve elektriksel potansiyel farkı gibi itici güçler yardımıyla

gerçekleşmektedir. Membran proseslerinde en yaygın itici kuvvet basınçtır. Membran ayırma prosesleri mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters ozmos (RO), elektrodializ (ED), ve pervaporasyondur. Bu yöntemlerde ayırma, moleküllerin boyutlarına ve molekül kütlelerine göre olur. Bu membranlar geçirdikleri maksimum molekül ağırlığına göre ayırt edilirler.

RO sisteminde temiz suyu kirli sıvıdan ayıran yarı geçirgen bir membran vardır. Kirli tarafa bir basınç uygulandığında kirli taraftaki su temiz tarafa diffüze olur. Proses sonunda, istenmeyen kimyasal maddeler yoğunlaşarak temiz sudan ayrılır. RO prosesi atıksudan inorganik tuzları ayırmada ve atıksudaki belli organik çözücülerin giderimin de kullanılır. UF ve MF proseslerinde membranların gözenek boyutları daha büyük olduğundan ayırma için daha düşük basınç gerekir. UF prosesinde 0,1-0.01µm büyüklüğündeki partiküller tutulur. UF prosesi atıksudan makro molekül ve kollooidlerin konsantre edilerek ayrılmasında kullanılır. Atıksu belirli gözenek boyutundaki geçirgen zarın bir tarafında basınç altında bulunur. Gözenek boyutundan küçük tüm maddeler membrandan geçer, büyük boyutlular kirli su tarafında kalır. UF prosesi, RO prosesi öncesi ön arıtım kademesi olarak da kullanılır. Elektrodializde elektrik yüklü membranlar kullanılır. Katyon veya anyonlar seçici membran tarafından reddedilirler. Bu reddedilen anyonlar elektrodializ hücresinden deşarj edilirler. Membrandan geçmeyen maddelerin, tıkanmaya neden olmamaları için periyodik olarak toplanarak membranın temizlenmesi gerekir (Anonim 2019).

Çizelge 3.1'de özellikleri kısaca verilen mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters osmoz (RO), ileri osmoz (İO), membran distilasyonu (MD), elektrodializ (ED), elektrodeiyonizasyon (EDI), pervaporasyon (PV) ve membran kontaktör (MK) prosesleri hakkında genel bilgiler sunulmuştur (Koyuncu 2018).

**Çizelge 3.1.** Membran Prosesler ve Genel Özellikleri (Koyuncu 2018).

<b>Membran Prosesi</b>	<b>MF</b>	<b>UF</b>	<b>NF</b>	<b>RO</b>	<b>İO</b>	<b>MD</b>	<b>ED</b>	<b>EDİ</b>	<b>PV</b>	<b>MK</b>
<b>Membran Tipi</b>	Gözenekli	Gözenekli	Gözeneksiz	Gözeneksiz	Gözeneksiz	Gözenekli	Gözeneksiz	Gözeneksiz	Gözeneksiz	Gözenekli
<b>Membran Yapısı</b>	Simetrik, Asimetrik	Asimetrik	Asimetrik, İnce Film Kompozit	İnce Film Kompozit	Asimetrik, İnce Film Kompozit	Simetrik	Simetrik, Kompozit	Simetrik, Kompozit	Asimetrik, Kompozit	Simetrik, Kompozit
<b>Sürücü Kuvvet</b>	Hidrostatik Basınç	Hidrostatik Basınç	Hidrostatik Basınç	Hidrostatik Basınç	Kons. Farklılığı	Sıcaklık/ Basınç	Elektriksel Potansiyel Farklılığı	Elektriksel Potansiyel Farklılığı	Kons. ve Buhar Basıncı Farkı	Kons. ve Buhar Basıncı Farkı
<b>Tipik Kullanım Alanları</b>	Askıda katı madde giderimi	Virüsler, kolloidler, makromoleküllerin giderimi	İyonlar ve renk giderimi, su yumuşatma	İyonlar ve küçük moleküllerin giderimi	İyonlar ve küçük moleküllerin giderimi	İyonlar, küçük moleküller	İyon giderimi, ultra saf su üretim	İyon giderimi, ultra saf su üretimi	Uçucu küçük moleküllerin su giderimi	Uçucu küçük moleküllerin su giderimi
<b>Geçirgenlik Dışında Performans Göstergesi</b>	Gözenek Çapı	MWCO	MgSO <sub>4</sub> giderimi	NaCl giderimi	Su akısı, Ters tuz akısı	Sıvı geçiş basıncı (LEP)	Etkin iyon giderimi	Etkin iyon giderimi	Nihai ürün saflık oranı	Seçicilik
<b>Membran Tertip Tarzı</b>	Düz plaka, içi boşluklu fiber, tübüler	Düz plaka, içi boşluklu fiber, tübüler	Düz plaka, içi boşluklu fiber	Düz plaka	Düz plaka, içi boşluklu fiber	Düz plaka, içi boşluklu fiber	Düz plaka, tübüler	Düz plaka, tübüler	Düz plaka, tübüler	İçi boşluklu fiber, düz plaka
<b>Tipik İşletme Basıncı</b>	0,1-2	0,5-5	3-15	8-60	-	-	-	-	-	-

### 3.7 Demineralizasyon

Demineralize ünitesi en az iki kolondan oluşmaktadır. Birinci kolonda katyonik reçine bulunmaktadır ve normal yumuşatma prosesinde olduğu gibi pozitif yüklü metal iyonlarını uzaklaştırır. Ancak yumuşatma prosesinden farklı olarak sistem rejenerasyonunu tuz yerine asitle yapmakta ve reçineyi sodyum yerine hidrojen iyonları ile yenilemektedir. Yüklü iyonlar, değişim materyaline yapıştıklarında yükleri kadar hidrojen iyonu bırakır. Hidrojen iyonlarının artması yüzünden çözeltideki asit miktarı artar. Bu noktada deiyonizasyon prosesinin yarısı tamamlanmıştır. Pozitif yüklü metal iyonları arıtılmakla birlikte çözeltide, hidrojen iyonları ve anyonlar bulunmaktadır. İkinci kolonda ise anyonik reçine bulunmaktadır ve çözeltideki negatif iyonları absorbe etmektedir. Reçine doyduğunda ise (çıkış suyundaki iletkenlik değerinden hemen anlaşılabilir) rejenerasyon işlemi baş ile yapılmaktadır. Burada da rejenerasyon sonucunda hidroksit reçineye bırakılır. Bu durumda çözeltide birinci aşamadan kalan  $H^+$  ve ikinci aşamada ortaya çıkan  $OH^-$  iyonları bulunmaktadır. Bunlar birleşerek su molekülü oluştururlar. Sonuç olarak, bu proses sonunda mineralsiz bir su elde edilir (Anonim 2018).

### 3.8 Elektrokoagülasyon

Bir elektrokimyasal arıtım prosesinde en önemli etkenlerden biri kullanılan elektrotun cinsidir. Elektrokoagülasyon prosesinde genellikle alüminyum ( $Al^{+3}$ ) ve demir ( $Fe^{+3}$ ) veya ( $Fe^{+2}$ ) elektrotlar kullanılmaktadır (Holt ve ark. 2002). Metalik iyonların yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olması, alüminyum ve demirin alternatiflerine göre kolay ulaşılabilir ve düşük maliyette olması, bu elektrotlar ile kararlı yapıda çamurun elde edilmesi bu elektrotların tercih edilmesinin öncelikli sebeplerindedir. Alüminyum ve demir dışında çelik, grafit ve titanyum gibi maddeler elektrot olarak kullanılabilir (Akarsu 2014). Proses işletim sırasında bu elektrotlar atıksuda reakte olarak  $Al(OH)_3$ ,  $Fe(OH)_3$  gibi metal hidroksit bileşikleri meydana gelmektedir. Bu metal hidroksitler atıksu ortamındaki farklı kirlilik parametrelerini adsorbe ederek çökmesini sağlar. Kirleticiler bu sayede atıksudan uzaklaştırılmış olur (Holt ve ark. 2002).

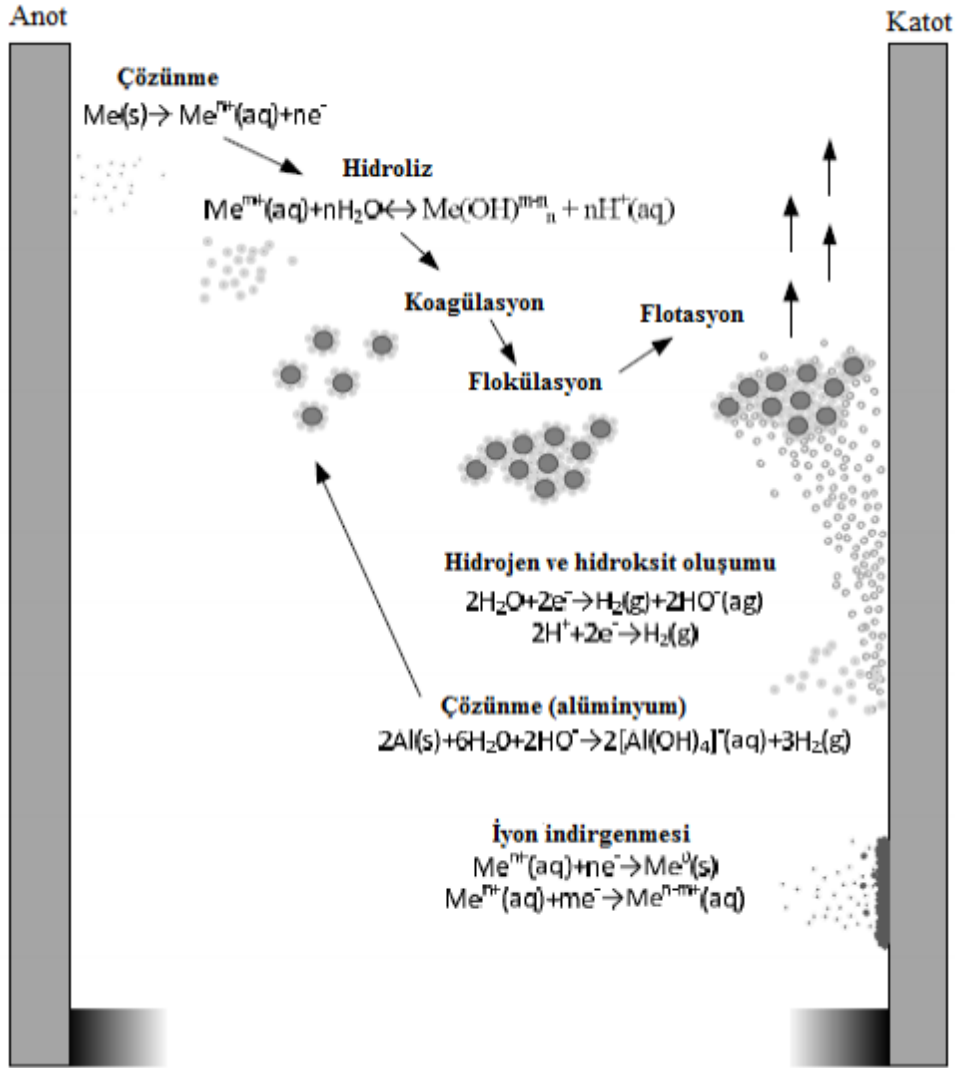
Elektrokoagülasyon prosesi sırasında 3 temel işlem gerçekleşir.

- 1) Elektrot yüzeyinde gerçekleşen elektrolitik reaksiyonlar
- 2) Metalik iyonların oluşumu
- 3) Koloidal özellikteki kirleticilerin adsorpsiyon, koagülasyon, sedimentasyon veya flotasyon



mekanizmaları ile giderilmesi (Mollah ve ark. 2001).

Elektrokoagülasyon prosesi ağır metal gideriminde, süspansiyon ve koloidal katıların gideriminde, yağ emülsiyonlarının gideriminde, yağ ve gres gideriminde, kompleks organiklerin gideriminde ve mikroorganizmaların gideriminde kullanılabilir (Akarsu 2014).



Şekil 3.1. Elektrokoagülasyon Prosesi (Akarsu 2014)

Elektrokoagülasyon sistemi alışılmış koagülasyon flokülasyon uygulamalarına benzese de bu sistemlere kıyasla birçok avantajı vardır.

- Elektrokoagülasyon küçük koloidal partiküllerin kararlı hale getirilip giderilmesinde konvansiyonel koagülasyona oranla daha etkilidir.
- Elektrokoagülasyonda daha az ve daha kararlı çamur oluşmaktadır.
- Elektrokoagülasyon ekipmanlarının kullanımı ve işletmesi kolaydır.
- Elektrokoagülasyonda kimyasal madde eklenmesine gerek yoktur.

Bu yüzden işletme ve bakımı daha kolaydır.

e) Oluşan çamur daha susuzlaştırılabilir yapı sergilemektedir (İlhan ve ark. 2007, Alinsafi ve ark. 2005).

f) İlk yatırım maliyeti alternative teknolojilerine göre oldukça düşüktür.

g) Birçok kirletici tek bir proses ile giderilir (Akarsu 2014).

### **3.9 Evaporasyon**

Evaporatörler; atıksuyun kimyasal ve biyolojik yönlemlerle arıtımının yetersiz kaldığı durumlarda kullanılan sistemlerdir. Çalışma prensibi, atıksuların buharlaştırılıp, tekrar yoğunlaştırılarak saflaştırılması esasına dayanır (Anonim 2018).

Evaporatörlerin çift boylerli tank tasarımı bütün suyu buharlaştırarak geriye sadece toz veya kuru çamur atığı bırakır (Anonim 2018).

Ekipmanın çalıştırılması ve malzemenin buharlaşma sıcaklığına kadar ısıtılması yeterlidir. Normal çalışma için hemen hemen hiç harici enerji kaynağı gerektirmez. Bu, buharlaşma ve konsantrasyon alanında en az enerji gerektiren yeni bir teknolojidir. 1960'lardan itibaren Almanya ve Fransa bu teknolojiyi; kimyasal, ilaç, kağıt yapımı, kanalizasyon arıtımı, deniz suyu tuzu giderimi ve diğer sanayilerde uygulamaya başlamıştır.

Evaporatör sistemlerinin şu gibi avantajları mevcuttur. Sistem kaynaklı atıksu çıkışı olmadığından atıksu deşarjı da yoktur. Bu sebeple kanalizasyon bağlantısına gerek kalmamaktadır. Arıtılan su distile su olduğundan, işletmede tekrar kullanılabilme imkanı vardır. Sistemin çalışma prensibi; zararlı atıkların konsantre edilerek atık maliyetlerinin düşürülmesidir. İşletimi kolaydır ve personel istihdamına ihtiyaç duyulmaz. Aynı zamanda işletme maliyetleri düşüktür. Isıtma istemi ile atıksu hiç bir şekilde birbiriyle temas etmez. Sistem; suyu buharlaşma seviyesine kadar ısıtma sistemi içinde tutarak enerji tasarrufu sağlar. Basınçlı kap olmadığından genleşme veya patlama riski yoktur. Ekstra kimyasal maddeye gereksinim duymaz. Yüzey işlem hatlarında kullanılan (altın, gümüş, platin, vb.) metallerin geri kazanımına katkı sağlar.

## 4. ALÜMİNYUM TESİSLERİNDE KULLANILAN KİMYASALLARIN TAYİNİ VE GERİ KAZANIM YÖNTEMLERİ

İkincil alüminyumdan eloksal kaplama endüstrisinde oluşan atıksular genellikle eloksal ve aşındırma proseslerinden sonra yapılan durulama işleminden kaynaklanmaktadır. Burada oluşan asidik atıksular, sülfürik asit ve alüminyum, bazik atıksular ise sodyum hidroksit ve alüminyum içermektedir.

Özellikle asit banyolarından değerli ağır metallerin, asit likörlerinin geri kazanılması konusu yıllardır üzerinde çalışılan bir konu olup bu kapsamda çok farklı metotlar geliştirilmiş ve laboratuvar ölçeğinde denenmiştir. Literatürde ve/veya uygulamada kullanılan metotlar aşağıda değerlendirilmiştir.

### 4.1. Nötralizasyon ve Çöktürme Metodu

Nötralizasyon ve sonrasında çöktürme ile arıtma işlemi asit banyosu atıklarının bertarafı için en yaygın kullanılan metotlardan biridir. Nötralizasyon ile asit-kostik geri kazanılmaz. Tek asit veya tek alkali banyosu olan sistemlerde nötralizasyon için kostik veya asit kullanıldığından ekstra maliyet ortaya çıkar. Ayrıca katı faza geçirilen ağır metaller biyolojik çamura geçtiklerinden geri kullanılamazlar. Nötralizasyondan sonra yüksek miktarda alüminyum hidroksit ve kalsiyum sülfat içeren eloksal çamuru oluşmaktadır. Nötralizasyon prosesi değerli hammaddenin (alüminyum, sodyum hidroksit, sülfürik asit) yok olmasına yol açmaktadır (Álvarez-Ayuso 2009). Bunun yanı sıra yüksek çamur üretimi, düzenli depolama alanlarının hızla dolması ve çevreye dost yöntemlerin geliştirilmesini zorlayan çevre kanunlarının baskısı alüminyum sektörünü zor durumda bırakmaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı asit banyoları atıklarının arıtım maliyeti çok yüksek olur.

Tansens ve ark. (2011) ise eloksal banyolarında konsantre kostik içerisinde yüksek oranda bulunan alüminyumun geri kazanımı amacıyla laboratuvar ölçeğinde seyreltme, filtrasyon, nötralizasyon ve çöktürme metotlarını kullanarak %82 oranında geri kazanım sağlamıştır. Alüminyumun Sodyum Hidroksit (NaOH) ile aşındırılması prosesinden elde edilen atıksuyun geri kazanılabilmesi için çöktürme işlemi uygulanmıştır (Barakat ve ark. 2005). Oluşan  $\text{Na}_2\text{AlO}_2$  bileşiğinin hidrolizi için çöktürme kimyasalları kullanılarak alüminyumun sistemden uzaklaştırılması sağlanmış ve elde edilen NaOH prosese geri döndürülmüştür. Bu işlem için sulu kireç, hidrojen peroksit, hidrojen peroksit/kireç karışımı

ve kuru kireç kullanılmıştır. Çalışmada 60°C’de 100 g/L’lik CaO ile 30 dakika muamele edilen atıksudan elde edilen alüminyum geri kazanımının % 91 olduğu belirtilmiştir.

Bunların yanı sıra nötralizasyon ve filtrasyon ile asidik eloksal banyolarından  $Mg^{2+}, Al^{3+}SO_4^{2-}$  sentezi Álvarez-Ayuso ve Nugteren (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ayrıca asidik eloksal banyolarından gelen atıksu etrenjit sentezi için kullanılarak yaklaşık %90 civarında alüminyum, etrenjit formunda geri kazanılmıştır (Álvarez-Ayuso ve Nugteren 2005a). Literatürde çalışılan diğer bir konu  $NH_4(OH)$  ile alüminyumun  $Al(NH_4)(SO_4)_2$  olarak çöktürmesidir. Bu çöktürme ile % 50-60 gibi bir verim düşük sıcaklıklarda (<10 °C) elde edilebilmiştir. Bu metotta asit liköründe ve çökelekte amonyak birikimi söz konusu olup geri dönüşümde ayrı bir problem olarak ortaya çıkmaktadır (Lin ve Lo1998).

#### **4.2. Termal Geri Kazanma Metodu**

Diğer bir yöntem termal geri kazanma metodudur. Bu metotta atık HCl ve  $H_2SO_4$  asit likörleri 600-1000 °C aralığında ısıtılarak ve ardından buharlaştırılarak sırasıyla  $Cl_2$  ve  $H_2$  gaz formuna geçirilir ve gaz formundaki asitler tekrar solüsyona geçirilerek asit likörü olarak kullanılırlar. Bu metot yüksek enerji ve işletme maliyeti gerektirmektedir. Bundan dolayı literatürde çeşitli çalışmalar yapılmış olsa da uygulamada değerli ağır metallerin geri kazanımı dışında karşılaşılmayan yöntemlerdendir. Aşındırma prosesinden gelen atıksulardan davsonit sentezi için hidrotermal yöntemler kullanılarak neredeyse % 100 oranında alüminyum geri kazanımı yapılmıştır (Álvarez-Ayuso ve Nugteren 2005b).

#### **4.3. İyon Değiştiriciler ile Geri Kazanım**

Uygulamada ve literatürde asit geri kazanılması için iyon değiştiricilerin geliştirilmesi ve kullanılması karşılaşılan en yaygın metottur. Konvansiyonel arıtma yöntemleri arasında iyon değiştirici reçineler ilk sıralarda yer almaktadır. Bu alanda geliştirilen patentli iyon değiştiriciler pek çok ülkede kullanılmaktadır (Brown C.J. ve ark. 2002). İyon değiştiriciler ile asit geri kazanımı düşük işletme maliyeti, kurulumu ve işletilmesinin basit olması ve yüksek performans ile çalışabilmesi nedeniyle uygulamada en çok tercih edilen geri kazanım metodudur (Dejak M. 1994). Bu sistemde asit yüzeyde tutulurken ağır metaller çıkış suyunda kalır (Brown C.J. 1987). Asit oranı yüksek banyo atık likörleri için uygulanan bu sistemlerde, kimi zaman düşük asit dereceli asit banyosu atık likörlerinde istenilen verim elde edilemez. Anyon veya katyon değiştirici kullanımı asitlik derecesine ve içerdiği metal iyonunun

özelliğine göre değişmektedir (Petkova E. ve ark. 1981). Diğer taraftan asit banyosu içerisindeki ağır metal türüne ve değerliğine göre sistem verimi değişebilmektedir. Asit derecesine göre katyon değiştiriciler arsenik gibi ağır metallerin asitten ayrılması için kullanıldığı gibi anyon değiştiricilerde asit geri kazanımında kullanılabilir (Petkova E. ve ark.1981, Nenov V. ve ark. 1997).

#### **4.4. Membran/Diyaliz Arıtma Sistemleri**

Membran/diyaliz arıtma sistemleri ile asit geri kazanımı son yıllarda literatürde üzerinde en fazla çalışılan ve gelecek vaat eden asit geri dönüşüm sistemleridir. Literatürde çok farklı membran/diyaliz sistemleri ile asit geri dönüşümü çalışmalarına rastlanmaktadır. Elektrodyaliz, literatürde tuzlu banyo sularının geri kazanılması (Greben V.P. ve ark. 1992), asit banyolarında çeşitli metallerin ayrılarak değerli ağır metallerin ve asit çözeltisinin tekrar kullanılması (Negro C. ve ark. 2001), kromlama banyosu kimyasallarının geri kazanılması (Rodrigues M.A.S. ve ark. 1999), pH ve tuzluluğu yüksek alkali banyo atıklarının geri kazanılması (Zhou K. ve ark. 1999) amacıyla en çok çalışılan metotlardandır. Genel itibariyle elektrodyaliz membranlardan proton geçişi, katyon değiştirici membranların proton ve tek değerlikli tuz iyonlarını geçirmedi seçici olmaması ve membranların asidik çözeltide deforme olması nedenlerinden dolayı sistem henüz hayata geçirilememiştir (Cherif A.T. ve ark. 1988). Fakat son yıllarda proton seçiciliği sağlayan membranların geliştirilmesinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Sato T. 1986, Zhou K. ve ark. 1999, Shim J.B. ve ark. 1999). Gelişen membran teknolojisi ile sülfürik asit, difüzyon diyaliz (Lin S.H. ve ark. 1998; Zhang G.Q. ve ark. 1999), elektrodyaliz (Liu H. ve Covington J. 1994, Mario B. ve ark. 1997), nanofiltrasyon (Wan J.B.2000) ve vakum membran distilasyon yöntemleri ile yüksek oranda geri kazanılmıştır. Kim ve ark. (2012) asidik aşındırma banyosundan difüzyon diyaliz ve vakum distilasyon yöntemi ile ağırlıkça % 85 oranında fosforik asit geri kazanımı sağlamıştır. Ayrıca çalışmalar ileride gelişen membran teknolojisi ile çeşitli ağır metallerin bu yöntemler ile asit banyolarından uzaklaştırabileceğini veya değerli ağır metaller geri kazanılabileceğini göstermiştir (Kumar ve ark. 2010). Zhang ve ark. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada spiral sarımlı difüzyon diyalizi membran modülü kullanılarak kemosentez ile alüminyum folyo üretiminden çıkan atıksularda % 95 oranında asit geri kazanımı sağlanmıştır. Aynı zamanda bu metodun yüksek verim ve düşük maliyet özelliklerine sahip olması nedeniyle metal arıtımı, elektrokaplama, titanyum beyazı endüstrisi gibi alanlarda kullanıldığı belirtilmiştir.

Anyonik iyon değişimi membranları ile yapılan difüzyon diyalizinde de alüminyum sülfat işleme tesisinden alınan asit atığından sülfürik asit geri kazanımı sağlanmıştır (Lin ve Lo 1988). Düşük konsantrasyonda sülfürik asit içeren atıksulardan nikel ve asit geri kazanımı için anyon değişimi membranları kullanılmıştır. Anyon değişimi membranları aynı zamanda titanyum beyazı üretimi sonucunda oluşan atıksuların difüzyon diyalizi ile ayrılmasında da kullanılmıştır (Tongwen ve Weihua 2001, 2004)

Greben ve ark. (1992) tarafından elektrodializ yöntemi ile alüminyumun anodize edilmesi ile sülfürik asit geri kazanımı çalışılmıştır. Xu ve ark. (2009) anodik alüminyum oksidasyonu atığından kesikli, dinamik ve pilot ölçekli anyon değiştirici membranlar ile asit geri kazanımı üzerine çalışmıştır. Pilot ölçekli çalışmalar sonucunda % 85,25 asit geri kazanımı elde etmişlerdir. Tzanetakakis ve ark. (2002) üç parçalı elektrodializ membranı kullanarak sodyum sülfat barındıran atıksudan sülfürik asit ve sodyum hidroksit elde etmiştir. Aynı zamanda  $\text{CuSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$  içeren solüsyonların elektrodializine ilişkin araştırmalar ve termodinamik modellemeler de gerçekleştirilmiştir (Casas ve ark. 2000, 2004, Cifuentes ve ark. 2002, 2004). Cifuentes ve ark. (2006) bu yöntemin verimliliğinin belirlenmesi için bakır elde edilmesi ile oluşan bakır içeren elektrolitlerden sülfürik asidin geri kazanılması amacı ile çalışmalar yapmıştır. Alüminyum alkali banyolarının geri dönüşümü için membran arıtma sistemlerinin uygulandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Fakat özellikle gıda endüstrisinde organik madde içeren zayıf NaOH temizleme solüsyonlarının geri kullanılması için laboratuvar ölçeğinde nanofiltrasyon sistemleri kullanılmıştır (Senad Novalic ve ark. 1998, Gésan-Guiziu ve ark. 2007).

Novalic ve ark. (1998) süt endüstrisinde kullanılan, yüksek ve nispeten daha düşük KOİ'ye sahip temizleme solüsyonlarından ( $18,5 \text{ kg/m}^3 - 1,8 \text{ kg/m}^3$ ) nanofiltrasyon ile asit geri kazanımı üzerine çalışmıştır. Yüksek KOİ'ye sahip solüsyon daha önce alkali temizlemesinde kullanıldığı, süzüntü kalitesinin düşük olması ( $\text{KOİ}=4,45 \text{ kg/m}^3$ ) ve akının yetersizliği nedeniyle ekonomik sebeplerden dolayı nitrik asit geri kazanımının uygun olmayacağı belirtilmiştir. Düşük KOİ'ye sahip solüsyonda ise süzüntünün  $0,45 \text{ kg/m}^3$  olarak ölçüldüğü ve akının da  $1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$  olduğu belirlenmiştir. Gésan-Guiziu ve ark. (2002) tarafından yapılan bir başka çalışmada da süt endüstrisinde yerinde temizleme solüsyonlarından nanofiltrasyon ile % 97 oranında kostik geri kazanımı elde edildiği belirtilmiştir.

#### **4.5. Ekstraksiyon Metodu**

Son yıllarda tersiyer aminler, fosforik asit ve diğer fosfat bazlı farklı solventler ile çeşitli asitlerin geri kazanılması için ekstraksiyon metodu kullanılmıştır. Bu metot ile ayrılması istenen molekül seçici bir şekilde solüsyondan alınır ve diğer istenmeyen moleküller geride kalır. Bu metot ile inorganik formdaki asit organik forma geçirildikten sonra ayrılır ve elde edilen organik asit tekrar inorganik forma geçirilerek kullanılırken, solüsyonda bırakılan Fe(II), Co(II), Ni(II), Zn(II) gibi ağır metaller asit çözeltisinden ayrılır (Kumar ve ark. 2010). Kang ve ark. (2011) solvent ekstraksiyonu ve elektrolitik arıtma yöntemini kullanarak asidik aşındırma banyosunda bulunan indiyum metalini % 99.997 saflıkta geri kazanmıştır. Benzer şekilde alkoller (Cattrall ve West 1966), metil-difenil fosfat ve tribütil fosfat (Apelblat 1973), Cyanex 923 (Rickelton 1993) gibi likitler kullanılarak likit-likit ekstraksiyonu metodu ile literatürde hidroklorik ve sülfürik asit farklı formlara dönüştürülerek geri kazanılmıştır. Sistemin karmaşık olması ve kullanılan kimyasalların maliyeti ekstraksiyon metotlarının yaygın kullanılmasını sınırlandırmıştır.

#### **4.6. Hidroliz Metodu**

Alüminyum sanayi alkali banyolarında sodyum alüminatın hidrolizi, sodyum alüminatın alüminyum hidroksite veya alüminyum trihidrat'a dönüştürülerek bertaraf edilmesi en çok kullanılan arıtma metodlarıdır (Morita ve ark. 1997). Fakat bu yöntemlerde geri dönüşümden ziyade arıtma gerçekleşmektedir. Diğer taraftan günümüze kadar geri dönüşüm zorunluluğunun olmaması nedeniyle literatürde alternatif metotların geliştirilmesi alanında kısıtlı çalışma yapılmış ve bu alternatiflerin uygulanmasına ise rastlanmamıştır.

Literatür değerlendirildiğinde özellikle mevcut ve gelecekte asit banyolarından asit ve ağır metal arıtımında uygulanabilir metot olarak, iyon değiştiriciler ve membran arıtma sistemlerinin ümit vaat eden metotlar olduğu görülmektedir. İyon değiştiricilerin uygulanması ülkemizde deneme yanılma yöntemi ile yapılmıştır. Membran sistemleri ile asit geri dönüşümü ve/veya ağır metal giderimi-kazanımı uygulaması pilot ölçekte dahi yapılmamıştır. Her asit banyosunda farklı temel ağır metaller, farklı asitler ve farklı proses kimyasalları kullanıldığından dolayı hangi koşullarda hangi metodun uygulanabilirliği ve uygulamanın getireceği kar-zarar analizi yapılamamaktadır. Bundan dolayı alüminyum endüstrisi için “sıfır kimyasal, sıfır atık ve sıfır su” hedefi ile iyon değiştirici asit ve membran arıtma sistemlerinin, alüminyum asit-alkali banyo likörlerinin arıtımı ve geri kullanımı için pilot ölçekte araştırılması gerekli teknolojik bilgi birikiminin sağlanması temel hedeftir.

## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

### 5.1. Paslanmaz Çelik Mutfak Eşyası (Tencere ve Tava) ile Yanmaz Yapışmaz Mutfak Eşyası Üretim Tesisinin İş Tanımı ve İş Akım Şeması

İncelenen 1. tesis Tekirdağ ili sınırları içinde 27.926 m<sup>2</sup> yüzölçümlü alan üzerinde, 22.500 m<sup>2</sup> kapalı alanda “Alüminyum ve Çelikten Çeşitli Tencere ve Tavalar” üretimi konusunda faaliyet göstermektedir. Tesis, paslanmaz çelik ve alüminyumdan mutfak eşyası ile yanmaz yapışmaz mutfak eşyası üretmektedir. Aşağıda bu işlemlerin ayrıntıları verilmiştir:

#### ➤ *Paslanmaz Çelik Mutfak Eşyası Üretimi (Tencere ve Tava)*

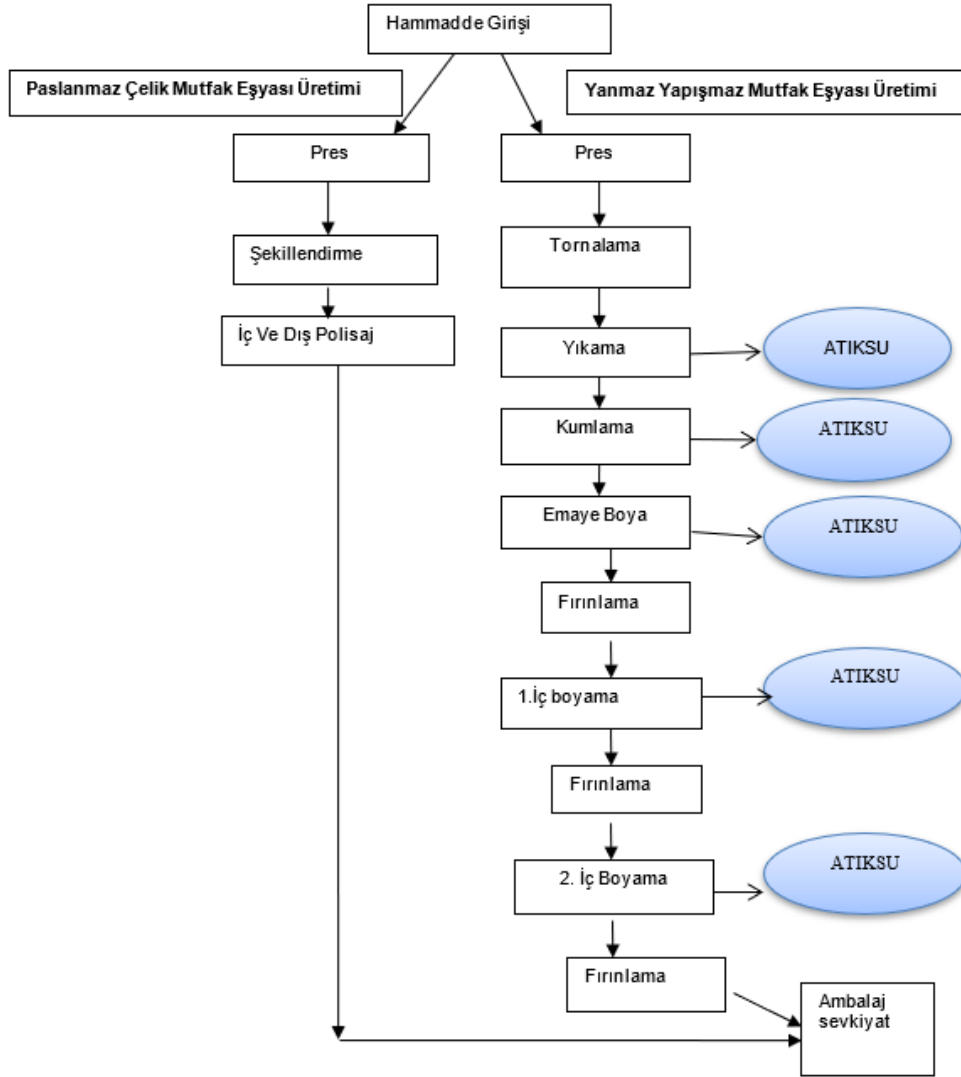
Tesiste paslanmaz çelik mutfak eşyası üretiminde hammadde olarak dışarıdan uygun boyutlarda alınan paslanmaz çelik sac kullanılmaktadır. Şekil 5.1’de görüldüğü üzere hammadde olarak alınan çelik saclara 80-160 ton basma kapasitesine sahip preslerle şekil verme işlemi uygulanmaktadır. Şekil verildikten sonra yarı mamül, kenar kesme makinesinden geçirilerek yarı mamül flaş şekillendirme işlemi görmektedir. Daha sonra alüminyum tabanla, taban sacı çakılmakta ve iç/dış polisaj işlemleri yarı mamüle parlak ve pürüzsüz bir görünüm kazandırması amacıyla, çok istasyonlu polisaj makinalarında uygulanmaktadır. Daha sonra polisaj işleminden geçen ürün montaj hattına gelmektedir. Müşteri talepleri doğrultusunda saplı veya sapsız cam kapaklı veya kapaksız ambalajlanarak sevke hazır hale gelmektedir.

#### ➤ *Yanmaz Yapışmaz Mutfak Eşyası Üretimi*

Yanmaz yapışmaz mutfak eşyası üretiminde hammadde olarak dışarıdan hazır temin edilen disk alüminyumlar kullanılmaktadır. Şekil 5.1’de görüldüğü üzere hammadde olarak alınan disk alüminyumlar, özelliklerine göre 80-200 ton basma kapasitesine sahip preslere alınıpalüminyum disklerle şekil verilir ve alüminyum yarı mamul üretimi yapılır. Tornalama işleminde, tornada aksenal hareketle dış ve iç kısımlarda silindirik ve konik yüzeyler işlenir. Ayrıca çeşitli profillerde vida açma, kenar kesme, alt çizme işlemleri yapılmaktadır. Daha sonra yarı mamul alüminyum üzerindeki kir ve toz, yıkama makinasıyla temizlenir. Su kullanımı ile bu bölümde yağlı atıksu oluşumu söz konusudur. Kumlama makinasında yarı mamul üzerine basınçlı hava ile kum tanecikleri çarptırılır. Yapışkanlığı artırıcı yüzey pürüzlülüğü elde edilir. Fazlalıkların alınması için su kullanılır ve işlem sonrası atıksu oluşur. Kumlama işleminden sonra yarı mamüle estetik görünüm ve alüminyum malzemesinin oksidasyonunu önlemek amacıyla emaye işlemi uygulanır. Emaye boya yarı mamülün dış



yüzeyine uygulandıktan sonra yarı mamül 400-430 °C'de 10-20 dakika süreyle boyanın kuruması için fırınlanmaktadır. Bu bölümde de atıksu oluşumu söz konusudur. Ünite kendi içinde devir daimli çalıştığından ancak 7-10 gün aralığında atıksu oluşmaktadır. Oluşan bu atıksu çok yoğun yapıya sahiptir. Daha sonra yarı mamül iç boyama işlemine tabi tutulmakta olup kullanılan malzeme (teflon) PTFE'dir. İçboyama boya kabinlerinde yapılmaktadır. Bu işlem iki aşamada uygulanmaktadır. İlk aşama yarı mamülün içine astar çekmedir. Yarı mamülün içine astar çekme işlemi yapıldıktan sonra yarı mamul 400-430 °C de 10-20 dakika süreyle teflon pişirme fırınında malzemeye yanmaz yapışmaz özellik kazandırmak için fırınlanmaktadır. Daha sonra ikinci aşama olarak yarı mamülün içine 2. kat PTFE boyama yapılır ve yarı mamul 400-430 °C de 10-20 dakika süreyle teflon pişirme fırınında teflona daha fazla yapışma özelliği kazandırmak için fırınlanır. İç boyama ünitesinin iki aşamasından da atıksu oluşmaktadır. Son olarak fırınlanmış ürün fırın çıkışındaki soğutma bölümünden geçerek montaj hattına gelmektedir. Müşteri talepleri doğrultusunda saplı veya sapsız cam kapaklı veya kapaksız ambalajlanarak sevke hazır hale gelmektedir.



**Şekil 5.1.** Paslanmaz Çelik Mutfak Eşyası Üretim Prosesi (Tencere ve Tava) ile Yanmaz Yapışmaz Mutfak Eşyası Üretim Prosesi İş Akım Şeması

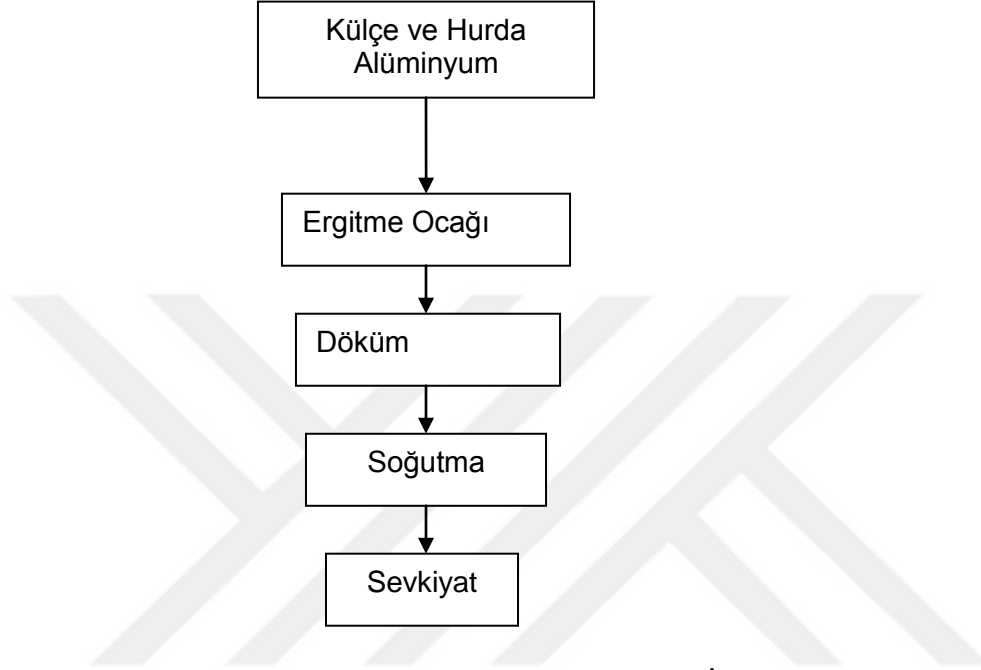
## 5.2. İkincil Alüminyumdan Eloksal Kaplama Tesisinin İş Tanımı ve İş Akım Şeması

İncelenen 2. Tesis Tekirdağ ili Velimeşe ilçesinde ‘Alüminyum Billet ve Profil Üretimi (Eloksal kaplamalı)’ konusunda faaliyet göstermektedir. Tesisteki işlemler; ergitme ve döküm prosesi, kalıp üretimi, alüminyum profil üretimi, alüminyum rulo bobin boyama prosesi, kompozit panel üretimi, fitil, conta, kauçuk imalatı ve cam işleme prosesidir. Tesisteki proseslerin detayları aşağıdaki bölümlerde anlatılmaktadır:

### ➤ *Ergitme ve Döküm Prosesi*

Külçe ve hurda alüminyumlar dışarıdan temin edilmekte olup ayrıca prosesten çıkan hurda alüminyumlarda tekrar döküm işleminde kullanılıp üretime dahil edilmektedir. Şekil 5.2’de görüldüğü üzere dışarıdan hazır halde alınan külçeler veya hurda alüminyumlar

ergitme ocaklarında eritildikten sonra döküm işlemine tabi tutulmaktadır. Döküm işlemi gerçekleştirildikten sonra dökümü yapılan mamüller soğutma işleminden geçirilir ve son olarak istenilen boyutlarda kesilerek sevkiyatı yapılır. Ergitme işleminde kullanılan alüminyum külçenin içeriği dökülecek malzemenin istenilen özelliklerine göre değişiklik gösterir.

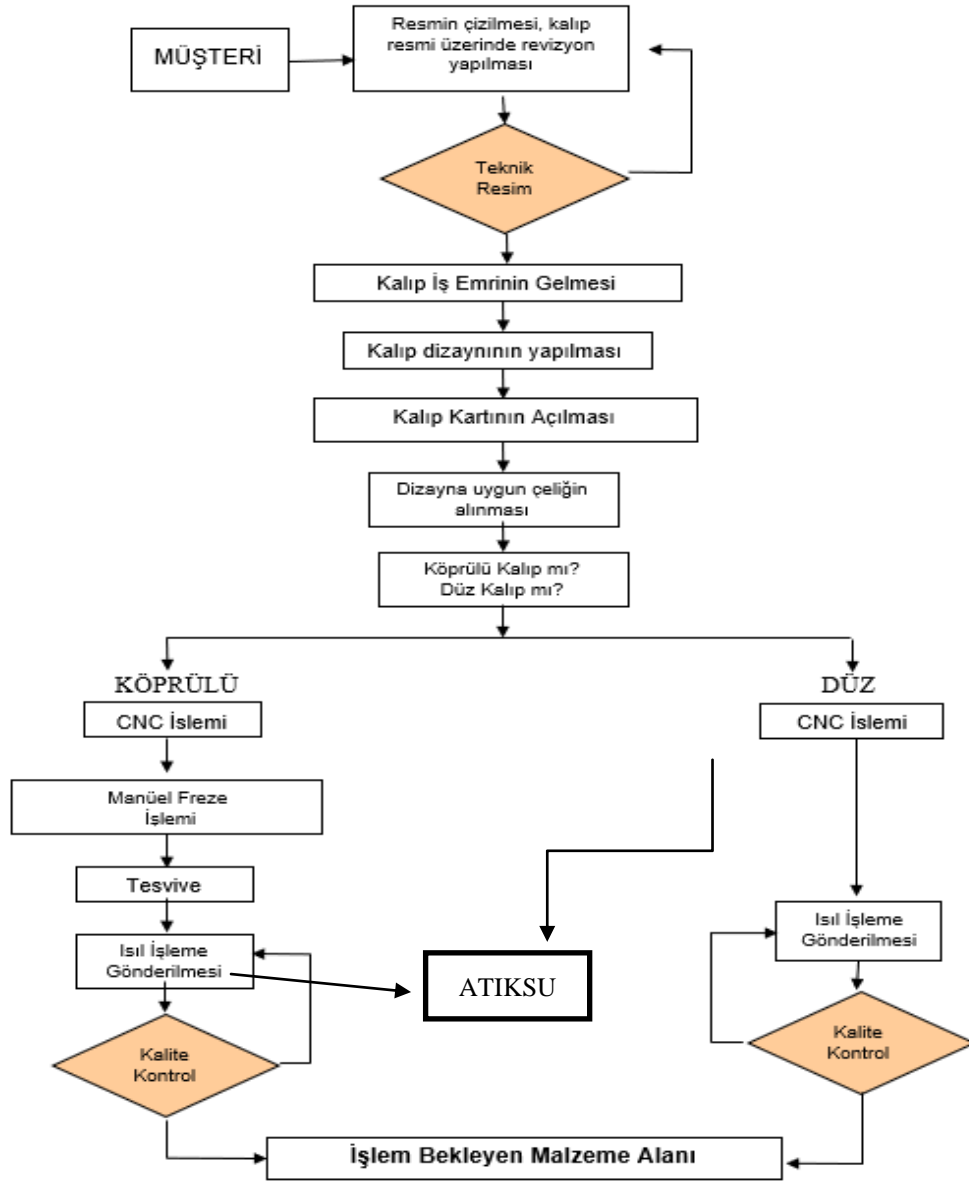


Şekil 5.2. Ergitme ve Döküm Prosesi İş Akım Şeması

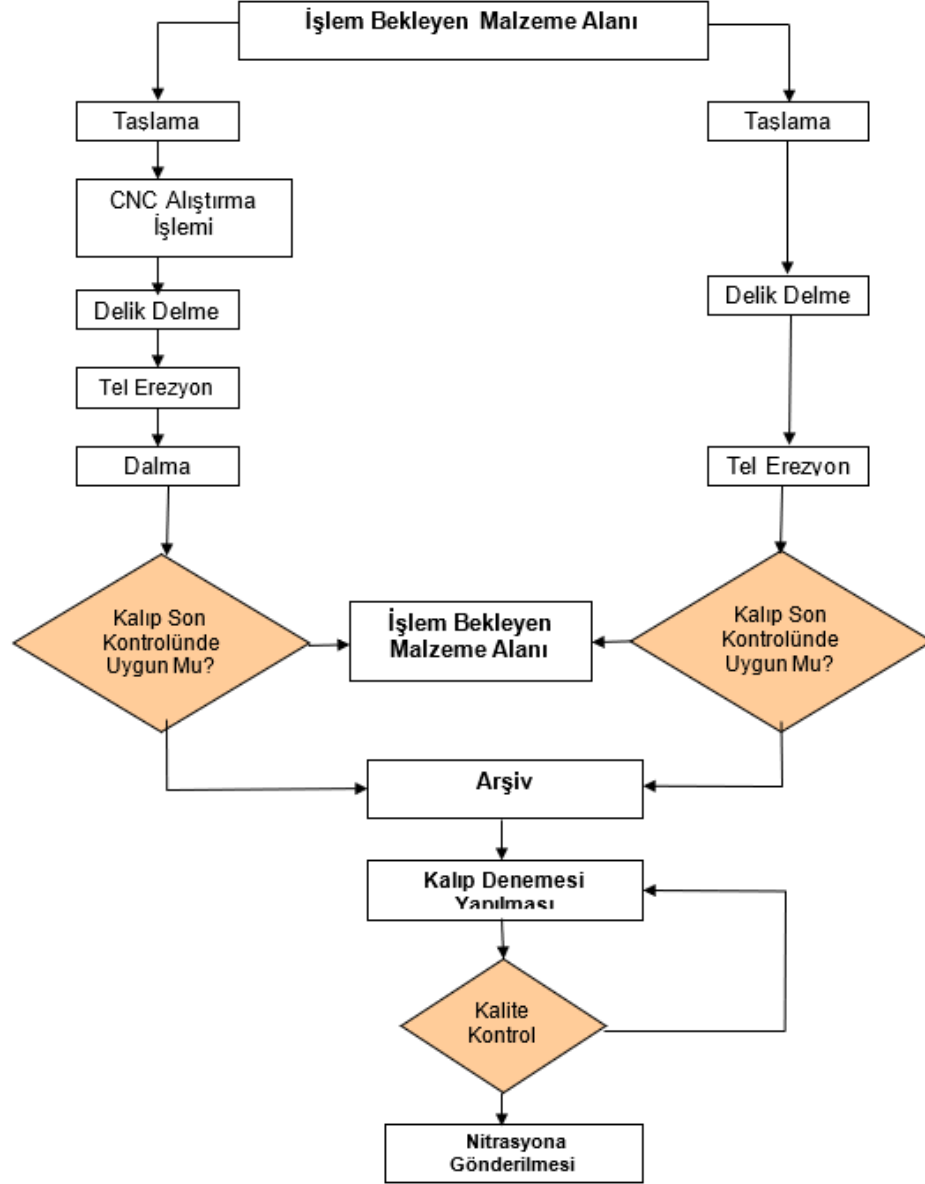
### ➤ Kalıp Üretimi

Şekil 5.3’de görüldüğü üzere müşteriden yeni profil için talep geldiğinde numuneden veya müşteri çiziminden profilin teknik resmi çizilir ve onay alınır. Alınan bu onaylı resim tasarımı gerekli birimlere bildirilir ve önemli noktalar ve istekler yazılı olarak alınıp onaylandıktan sonra kalıba başlanır. Yapılacak profile göre çelik çapı seçilir ve istenilen genişlikte kesilir. Hassas olarak yüzeyinin işlenmesi, torna tezgâhında yapılır veya hazır tornalanmış malzemelerden alınır. Uygun çelik sağlandıktan sonra kalıplar düz veya köprülü olarak iki farklı şekilde üretilir. Kalıp türüne bağlı olarak farklı basamaklar izlenerek kalıp yapımlarına başlanır. Kalıp köprülü ise süreç şemasına uygun olarak ilgili adımlar takip edilir ve sonrasında kalıp ısıtma işlemine gönderilir. Düz kalıplar için ise süreç şemasında gösterilen işlemler bitirildikten hemen sonra kalıp ısıtma işlemine gönderilir. Isıtma işlemi hazırlanan kalıplara gerekli sertliğin kazandırılması için uygulanır. Kalıbın dayanımı su verme ısıtma işlemi ile artırılır. Su verme aşamasından sonra yağlı ve kirlenme profili yüksek atıksu oluşur. Isıtma işleminden gelen kalıp kontrolleri yapılarak sertliği uygunsa süreçteki işlemlerden geçmek

üzere sisteme verilir. Isıl işlemden gelen kalıp, diğer işlemleri yapılarak bitiminde son kontrolü yapılır. Temizlenerek prese verilir ve deneme numunesi basılır. Profilin presten ilk çıkışı alınarak tashihaat sorumlusuna verilir. İstenilen değerler elde edilince kalıp, yüzey sertleştirme işlemi için tenefere gönderilir. Bu işlemler yüzey sertleştirme ve tüm kesiti sertleştirme olarak gerçekleştirilir.



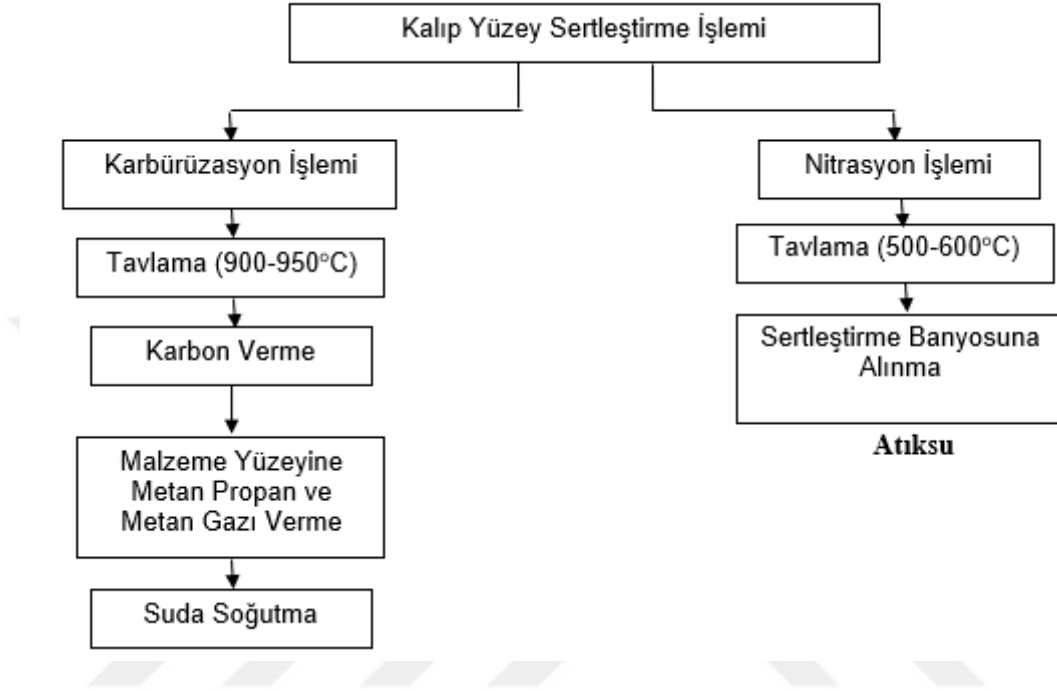
Şekil 5.3. Kalıp Üretimi İş Akım Şeması



Şekil 5.3. Kalıp Üretimi İş Akım Şeması (Devamı)

Yüzey sertleştirme işlemleri, sementasyon (karbürleme) ve nitrasyon işlemlerinden biriyle gerçekleştirilir. Şekil 5.4'te görüldüğü üzere sementasyon (karbürleme) işleminde kalıplar, öncelikle ilgili sertleştirme sıcaklıklarına tavlınır (genellikle 900-950°C) ve bu sıcaklıkta bekletilir. Daha sonra sementasyon (karbürleme) işleminin esası olan düşük karbonlu çeliklerin yüzeyine karbon verici bir ortamda, uygun bir sıcaklıkta ve süre içinde karbon verilir. Ardından malzeme yüzeyine metan, propan ve metan gazı verme işlemleri gerçekleştirilir. Son olarak yağ veya suya daldırılarak su verme işlemi (hızlı soğutma) yapılır. Nitrasyon İşleminde ise 500-600 °C sıcaklıkta 1-10 saat süre ile tav fırınında ısıtılan malzeme, fırından alındıktan sonra 2 mm<sup>3</sup> Sodyum Siyanür (NaCN) ve Potasyum Siyanür (KCN) içeren, 4 m<sup>3</sup> hacimli banyolar içine konularak banyoda 550 °C sıcaklıkta en az 12

saatlik süre ile bekletilir. Nitrüleme işlemi, yüksek sıcaklıkta difüzyon yolu ile azotun çeliğe girmesi ile oluşmaktadır. Oluşan sertlik, parça daha yüksek sıcaklıktayken mevcut olduğundan dolayı su içerisinde soğutma yapmaya gerek kalmamaktadır. Bu işlemler; malzeme yüzeyinin sertleştirilmesi, malzemenin aşınma direncini artırma, yorulma ömrünü uzatma ve korozyon direncini artırma amacıyla yapılır.



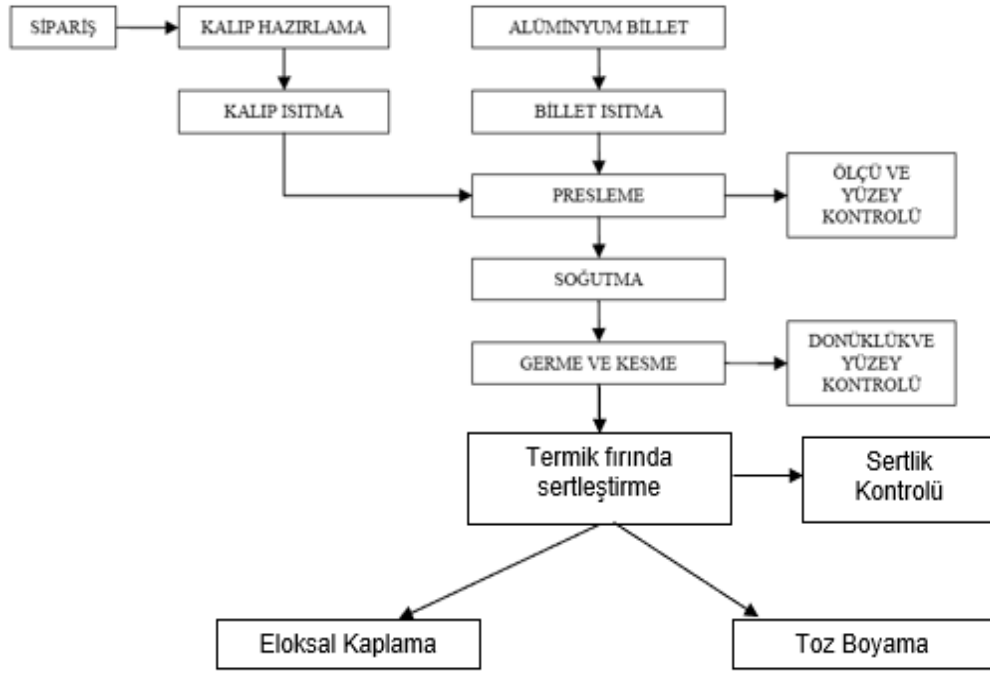
**Şekil 5.4.** Kalıp Yüzey Sertleştirme İşlemi İş Akım Şeması

Tüm kesiti sertleştirme su verme sonucu oluşan martensiti yumuşatarak, tokluğun artmasını sağlamak amacıyla yapılır. Sertleştirme işleminden sonra, malzemede gevrek gerilmelerin giderilmesi için; sertleştirilen malzeme, menevişleme sıcaklığına kadar ısıtılarak sıcaklık altında belirli bir süre tutulur ve ondan sonra yavaş yavaş soğutulur. Alaşımız ve düşük alaşımız çelikler 200-350 °C’de, yüksek alaşımız çelikler 500-650 °C ‘de menevişlenir. Tavlama fırını içerisinde ısıtılan malzemenin temperleme süresi hesaplanarak bu süre kadar bu sıcaklıkta tavllanır. Sonrasında temperlenen malzeme, fırın kapatılarak uzun süre bekletilir.

#### ➤ *Alüminyum Profil Üretimi*

Tesiste kullanılan alüminyum profil üretim yöntemi ekstrüzyondur. Genel olarak ekstrüzyon; alüminyum billetin presin sağladığı büyük kuvvet ile kalıp içerisinde geçirilerek kalıbın şekline sahip olan profilin elde edilmesidir. Alüminyum ekstrüzyonu sıcak olarak yapılır. Şekil 5.5’te görüldüğü üzere biletler 420-470 °C, kalıplar ise 450 °C ısıtılır ve prestan çıkan profilin sıcaklığı 500 °C’ nin üzerinde olur. Ortalama % 6-10 arasında fire olur ve bu fire tekrar bilet üretimi için geri kullanılır. Ekstrüzyon presinden çıkan profil soğutulur, soğuk germe işlemi yapılır ve istenen boyda kesilir. Daha sonra üretilen profillere eloksal

kaplama veya toz boyama işlemleri uygulanır.

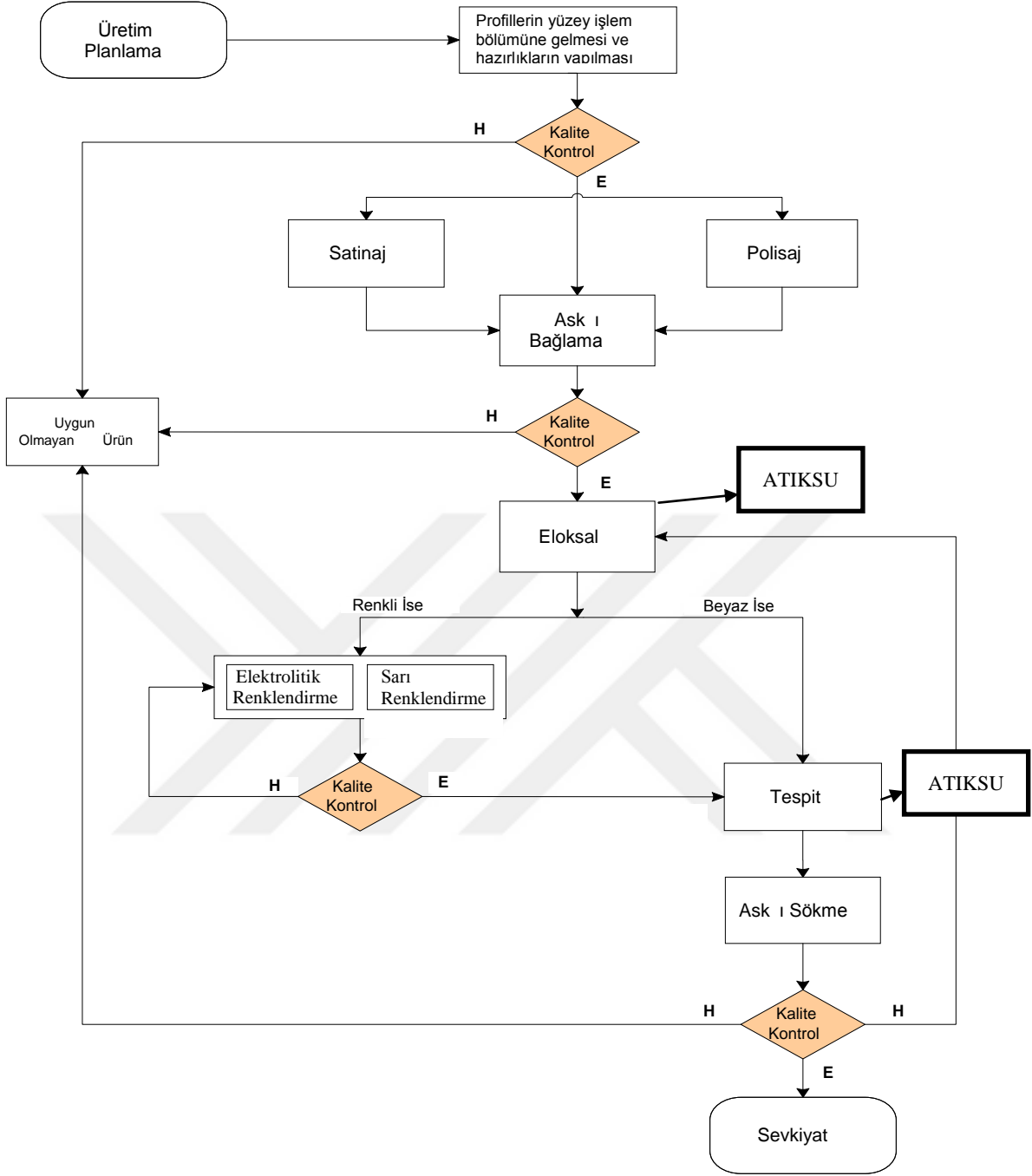


Şekil 5.5. Alüminyum Profil Üretimi İş Akım Şeması

Şekil 5.6'da görüldüğü üzere tesis bünyesinde eloksall kaplama (anodik oksidasyon) prosesinde; üretim planlaması yapıldıktan sonra profiller yüzey işlem bölümüne alınır ve hazırlıklar yapılır. Profiller kalite kontrolden geçirildikten sonra anodik oksidasyon işlemi öncesi yüzeyin mat veya parlak olması isteğine göre polisaj veya satinaj işlemlerinden geçer. Parlatma (Polisaj) işleminde profillerin yüzeyinin parlatılması için özel bezlerden imal edilen fırçalar yüzeye özel cilası ile tatbik edilerek parlatma yapılır. Eğer yüzeyde aşırı çizgi var ise, parlatma fırçaları bunları temizleyemediğinden, parlatma öncesinde özel sisal fırça veya bant zımpara işlemi ile çizgiler giderilir, sonra parlatma yapılır. Satinaj işlemi ise mat görünümü fiziksel metod ile vermek için, yüzeyi özellikle çok sayıda çizgi ile donatmakta kullanılır. Kullanılan fırçaların özelliklerine göre yüzey görünümü değişik olabilir. Profiller bu işlemlere tabi tutulduktan sonra kalite kontrolden geçirilir ve eloksall kaplama prosesine alınır. Eloksall kaplama prosesinden önce profiller, bir dizi kimyasal işlemde geçirilir. Bu işlemler; yağ alma banyosu (Alüminyum profillerin yüzeyindeki yağ, toz ve pisliklerin temizlendiği banyodur.), eloksall sökme banyosu (Profil yüzeyindeki ve askı ayaklarındaki oksit tabakasının söküldüğü banyolardır.), matlaştırma banyoları (Banyo çözeltisi içeriğinde katkı malzemesi olarak bulunan kostik ve çözünmüş alüminyum sayesinde profillerin yüzeyinde saten yüzey (matlaşmış) görüntüsü sağlayan banyolardır.) ve nötralizasyon

banyosudur. (Yağ alma ve/veya matlaştırma banyolarından çıkan profillerin, durulama işlemleri yapıldıktan sonra eloksal banyolarına girmeden önce yüzeylerinin temizlendiği banyodur.) Eloksal banyolarındaki ana prensip elektroliz yöntemiyle alüminyum profil yüzeyine oksit kaplanmasıdır. Bunu sağlamak için redresörlerden elde edilen doğru akım anot ve katotlara dağıtılır. Katotlardan elektrolite verilen akım sülfürik asidi parçalar. Açığa çıkan eksi yüklü oksijen, anotta artı yüklenmiş alüminyum profillerin yüzeyine toplanır. Banyo sıcaklığı 18-20 °C aralığında olmalıdır. Banyoya verilen akım elektroliti ısıttığından banyo çözeltisi devir daim edilerek soğutucu eşanjörlerden geçirilir. Bu sayede sıcaklık kontrol altında tutulur. Oksit kaplanmış profiller renklendirilmeyecekse eloksaldan sonra tespit banyosuna alınır, renklendirilecekse elektrolitik renklendirme veya sarı renklendirme işlemlerinden geçer. Elektrolitik renklendirme banyosunda oksit kaplanmış (eloksal yapılmış) profillerde oksit gözeneklerine ilgili iyonların dolmasıyla renklendirme işlemi yapılır. Renklendirme işlemi sonrası profiller kalite kontrolden geçirilerek tespit banyolarına alınır. Eloksal işleminde elde edilen oksit tabakası gözenekli bir yapıya sahip olduğundan bu gözeneklerin iyi bir şekilde kapatılması ve dolayısıyla oksit tabakasının dayanıklılığının artması için tespit işlemi uygulanır. Bu işlem için deiyonize su kullanılır ve sıcaklığı 95 °C nin üzerinde tutulmalıdır. Yüksek sıcaklık ve ideal pH ortamında profiller yeteri kadar bekletilirse oksit gözeneklerinin içerisi jelleşir. Bu jellerin şişmesiyle zaman geçtikçe oksit gözenekleri sıkılaşıp sertleşir. Bu sayede eloksal (oksit tabakası) dış şartlara karşı korunaklı hale getirilmiş olur. Bu banyoda istenen şartlar (sıcaklık, pH ve zaman) tam sağlanırsa kaplamanın ömrü çok uzun olur. Tespit işlemi tamamlanmış profiller banyodan çıkartılarak tezgaha alınır. Profil üstünde gerekli kontrol ve testler yapılır. Şartlar uygunsa profiller paketlenerek sevk edilir.

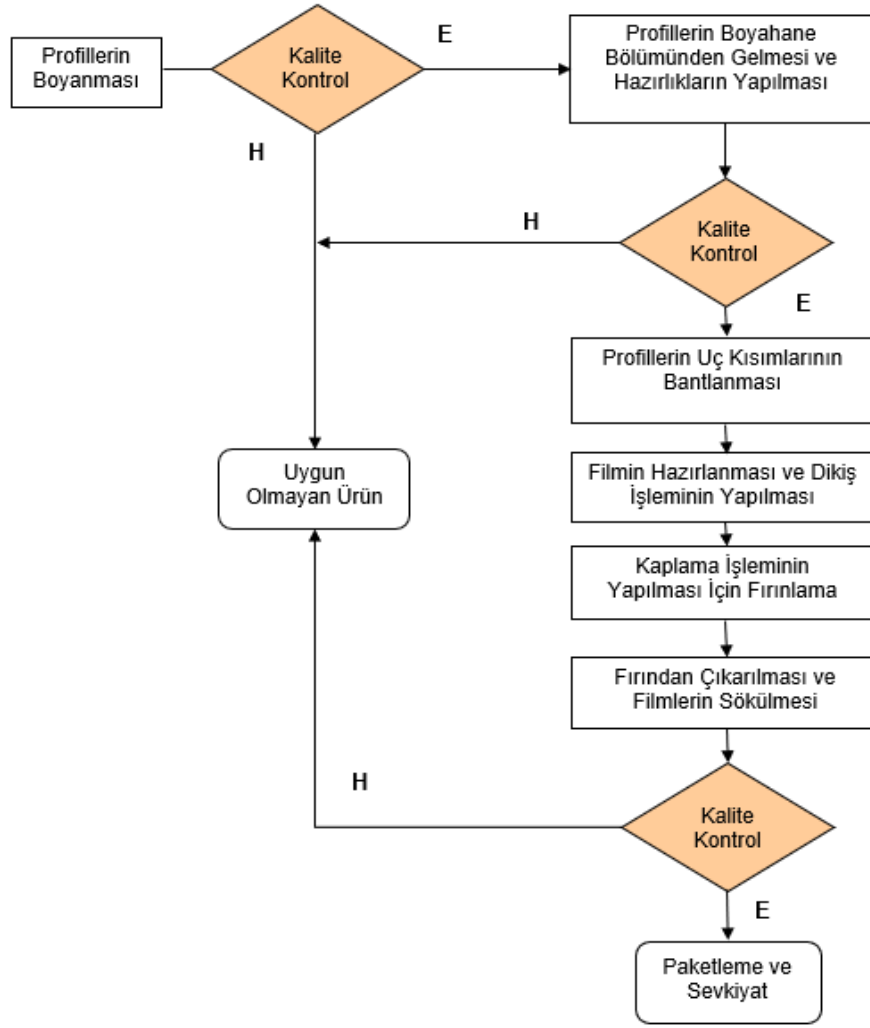




**Şekil 5.6.** Eloksal Kaplama Prosesi İş Akım Şeması

Elektrostatik toz boyama işleminde ön işlemler 3 ana banyoda yapılmaktadır. Asidik yağ alma ve aşındırma banyosunda paslanmaz çelik sepetlere doldurulan profiller % 1'lik asidik temizlik kimyasalı banyosunda bekletilir. Burada işlem gören profiller asidik aşındırma banyosuna alınır. Asidik aşındırma banyosunda asidik yağ almadaki deoksidasyon miktarına göre % 2-4'lük konsantrasyonda hazırlanmış banyoda, profil yüzeyinde aşındırma sağlanır. Ardından profile boya yapılmadan önce, profiller ile boya arasına bir katman

oluşturmak için pasivasyon denilen bir işlem yapılmaktadır. Krom içermeyen özel bir kimyasaldan hazırlanmış bu banyonun bozulmaması için profiller bir önceki banyodan sonra iyice durulanır. İyice temizlenmiş profiller kromsuz banyodan geçirilerek pasive edilir. Alüminyum profiller boyama işlemine tabi tutulmadan önce kurutma fırınlarından geçirilerek iyice kurutulur. Şekil 5.7’de görüldüğü üzere boyama işleminde n yüzey işlemi yapılmış profiller çok kolay bir Şekilde nem ve toz yapacağından hemen askıya alınır. Askılanmış profiller konveyörlerle boya kabinine gelir. Konveyrdeki topraklamanın neticesinde alüminyum profiller (+) yk kazanır. Kk boya depolarındaki toz boyaların, kuru (yağı ve nemi alınmış) hava desteğiyle özel hortumlar içerisinden akışı sağlanır. Hortumlar boya kabini içerisinde yerleştirilmış boya tabancalarına kadar bağlanmış konumdadır. Bu tabancalara ayrıca (-) elektrik yükü taşıyan kablolarda bağlıdır. Boya bu tabancalardan geçerken (-) yk kazanır. Profiller karşılıklı 2 tabanca arasından geçerken püskürtülen boyayı üzerinde toplar. Profiller Őiddetli bir sarsıntı almadığı müddetçe boya yüzeyde tutunur. Boyama işlemi sona erdikten sonra profiller kalite kontrolden geçirilir ve boyahane bölümünden gelen uygun profiller hazırlanarak tekrar kalite kontrol yapılır. Profillerin uç kısımları bantlanır, filmler hazırlanır ve dikiş işlemi yapılır. Kaplama işleminin yapılması için profiller fırınlama işlemine tabi tutulur. Boyama işlemi tamamlanmış profiller halen konveyör üzerinde olduğundan tünele girecek Şekilde hareket ederler. Toz boya 200 C lik sıcaklıkta 10 dakika içinde pişer. Profiller fırın çıkışına gelir ve üzerindeki filmler sklr. Yeteri kadar soğumuş profiller tezgaha alınır. Numuneler üzerinde gerekli test ve kontroller yapıldıktan sonra Şartlar uygunsa profiller paketlenerek sevk edilir. Uygun olmayan profiller ise ayrılır.

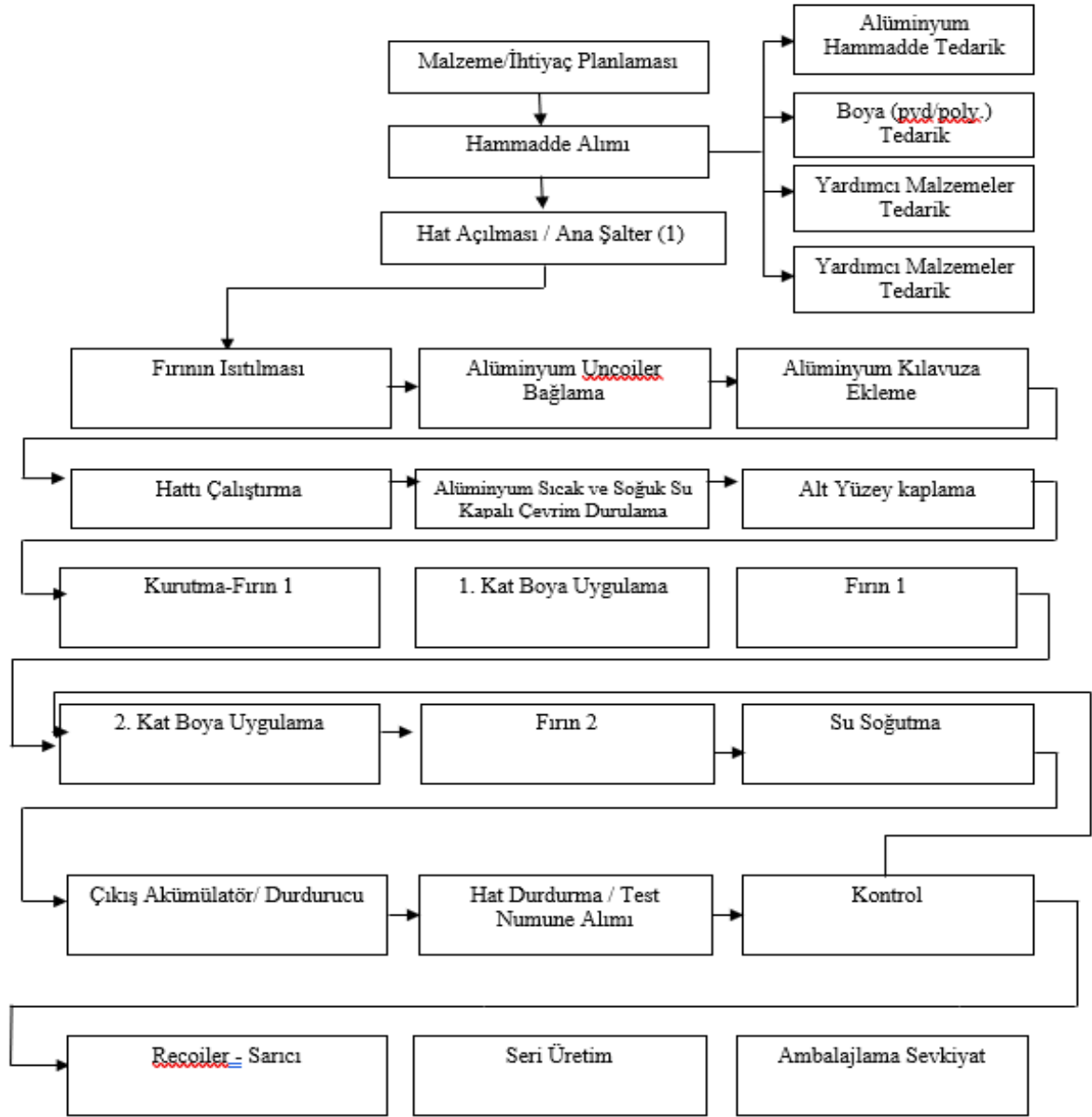


Şekil 5.7. Elektrostatik Toz Boyama Prosesi İş Akım Şeması

➤ **Alüminyum Rulo Bobin Boyama Prosesi**

Şekil 5.8’de görüldüğü üzere malzeme planlaması yapıлып hammaddeler alındıktan sonra boya hattı ana şalterden açılır ve bütün üniteler aktif hale getirilir. Fırın ısıları açılır. (Yaklaşık 230-250 °C) Boyama gerçekleştirilecek alüminyum rulo, giriş kalite kontrole tabi tutulduktan sonra giriş bobin arabalarına maksimum 10 ton ağırlığınca yüklenir. Bu arabalar yardımı ile bobinler girişte bulunan bobin açıcı ünitelerine aktarılır. Giriş tablası üzerine yürüyen bobin, yürütme merdanesi ile tutularak giriş makasına gelir ve burada ucu düzeltilmek üzere kesilir. Eğer takılı olan bobin bitmeye yakın durumdaysa kenetleme ünitesi devreye girer. Bu üniteye biten bobin ile bobin açıcıda bulunan bobinin kenetleme işlemi manuel olarak yapılır. Aksi takdirde bobin, yürütme merdanesi ile tutularak gerekli tansiyon değerlerinin sağlanması amacıyla gergi ünitesine gelir ve buradan giriş aküsüne beslenir.

İstenilen depolama durumuna göre akü, yukarı ve aşağı hareket ettirilerek depolama sağlanır. Eğer kenetleme işlemi yapıldıysa, akü üzerinde bulunan giriş delik detektörü merdanelerin zarar görmemesi için devreye girer ve kenetin geçiş noktalarında merdaneleri kaldırarak sistemi korur. Akü çıkışında bobin, merkezleme ünitesine girer ve yatay olarak merkezlemesi gerçekleştirilerek yürütme merdanesine aktarılır. Daha sonra sırası ile alkali temizleme, sıcak su durulama ve soğuk su durulama tanklarından geçen bobinin temizlenme işlemi gerçekleşir. Yıkanan ve durulanan bobin havalı kurutma ünitesinde kurutularak, boya öncesi hazırlık ünitesinde, boya tutuculuğunun artırılması amacı ile, boya öncesi kaplama işlemine alınır. Bu işlem sonrası bobin, sıcak hava üflenerek kimyasal kurutucu ünitesi yardımı ile kurutulur ve ısınan bobin bant soğutucu ünitesinde üzerinden hava geçirilerek soğutulur. Gergi ünitesinde tansiyonu yeniden sağlanan bobin, merkezleme ünitesi ve yönlendirici merdaneden geçerek boya odasına girer. Boya odasında 5-10 mikron kalınlığında ilk kat boya yapılır. İlk kat boya fırınına giren bobin 235-250 °C kürlenir. Kürlenmiş bobin sırası ile havalı soğutma, sulu soğutma ve havalı kurutma ünitelerinden geçerek yönlendirici merdane yardımı ile gergi kontrol ünitesine gelir. Tansiyonu ayarlanan bobin merkezleme ünitesi ile merkezlenerek son kat boya odasına girer ve 20-25 mikron kalınlığında son boyası yapılır. Boya odasından çıkan bobin son kat boya fırınına gelerek 235-250°C kürlenir. Kürlenmiş bobin sırası ile havalı soğutma, sulu soğutma ve havalı kurutma ünitelerinden geçen bobin merkezleme ünitesinde merkezlenerek gergi ünitesi ile çıkış aküsüne beslenir. Çıkış delik sensörü girişteki işlemleri tekrarlar. Merkezleme ve gergi ünitelerinden sonra gözle kontrolü yapılan bobin folyo kaplama ünitesine gelir. Folyo kaplamanın ardından yapılan kenetin kesilmesi için yürütme merdanesi ile çıkış makasına gelen bobin yürütme merdanesi ile sarıcılara beslenir. Sarılma işlemi biten bobinin, kuşak sarıcı ile dağılması önlenir. İşlemleri biten bobin çıkış bobin arabalarına alınıp ambalajlanarak sevk edilir.

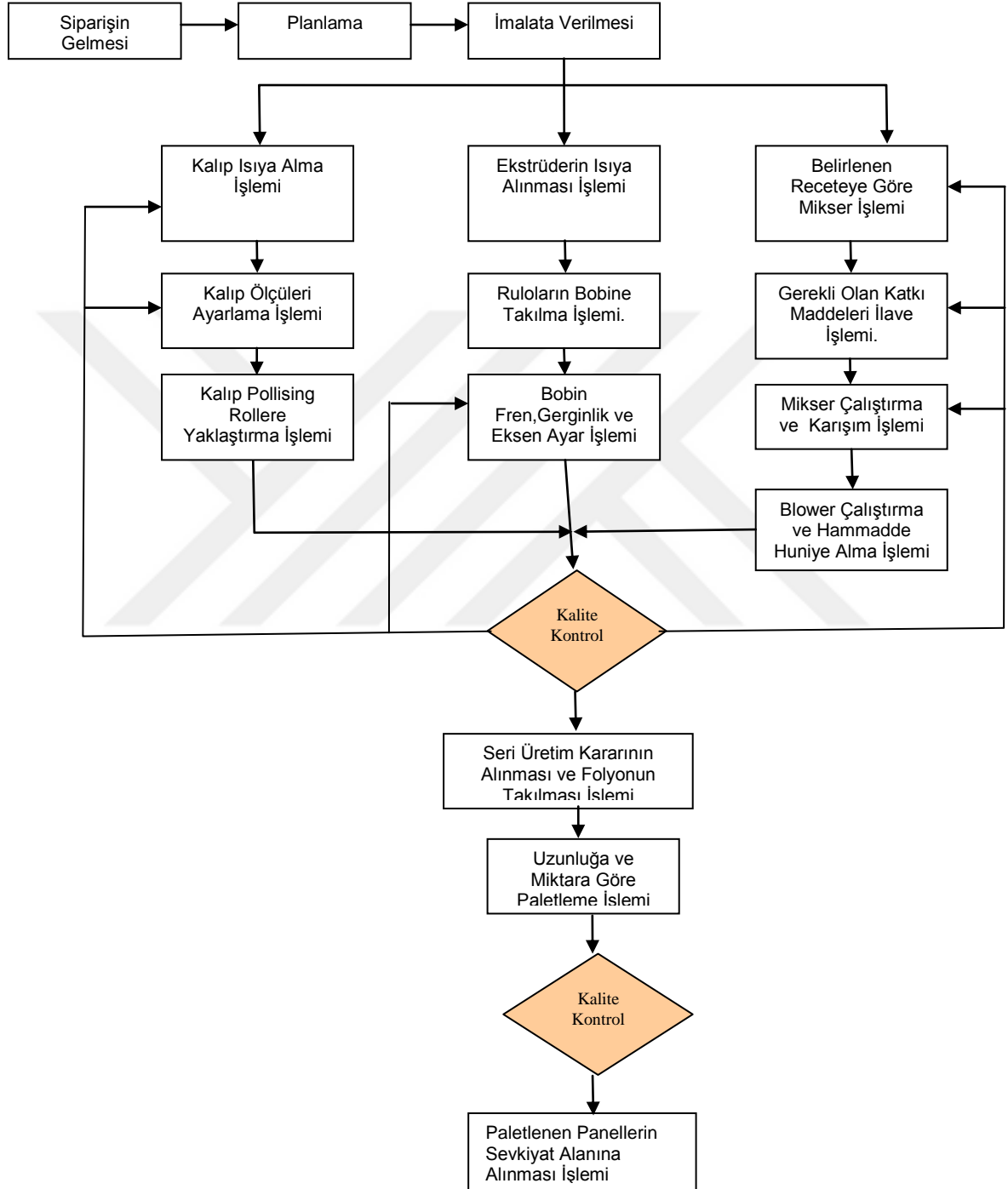


Şekil 5.8. Alüminyum Rulo Bobin Boyama Prosesi İş Akım Şeması

### > Kompozit Panel Üretimi

Şekil 5.9’da görüldüğü üzere sipariş doğrultusunda planlama bölümünde üretim planlaması yapılır ve işlem imalat bölümüne yönlendirilir. İmalat bölümünde kalıp istenen ısıya ulaştırılır ve kalıp ölçüleri ayarlanır. Bu işlemleri kalıbın polling rollere yaklaştırma işlemi takip eder. Ayrıca imalat bölümünde ekstrüder ısıya alma talimatına göre ısıya alınıp hazırlığı tamamlanır. Üretimde aksamaya sebebiyet vermemek için yedekli olarak bobin takılır ve bobin fren, gerginlik ve eksen ayarları yapılır. Belirlenen reçeteye göre mikser işlemi yapılır. Gerekli olan katkı maddeleri ilave edilir ve mikser çalıştırılarak homojen bir karışım elde edilir. Blower çalıştırılır, hammadde huniye alınır. Miksere reçeteye göre sürekli

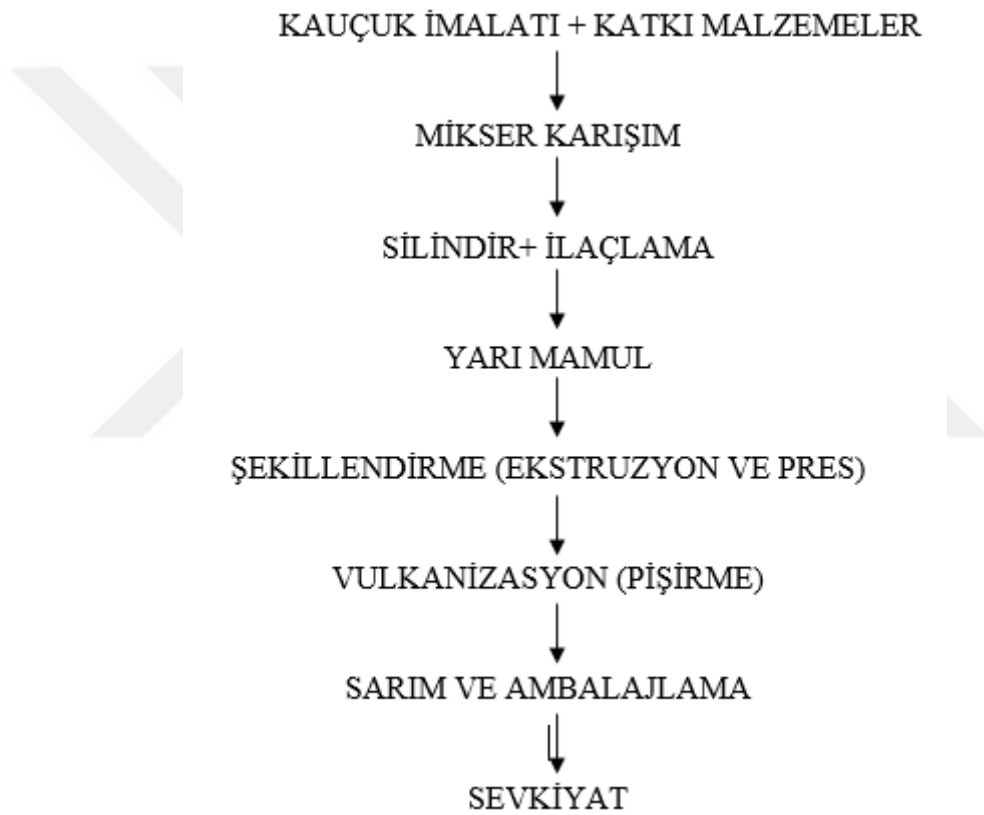
yükleme yapılır. Seri üretim kararı alınmadan önce kalite kontrol işlemi yapılarak “kompozit panel günlük kalite kontrol raporuna” kaydedilir. Ardından seri üretim kararı alınarak koruyucu folyo takılır ve uzunluk ile miktara göre paletleme yapılır. Paletlenen paneller son kalite kontrolden geçirilerek sevkiyat alanına alınır.



Şekil 5.9. Kompozit Panel Üretimi İş Akım Şeması

➤ **Fitul, Conta, Kauçuk İmalatı**

Şekil 5.9’da görüldüğü üzere nihai üründen istenilen özelliklere göre planlama tarafından reçete hazırlanır. Reçetede yazan miktarlarda hammadde tartılır. Tartılan hammaddeler mikserde karıştırılır ve hamur halini alınca silindire verilir. Karışıma silindirde ilaçlar (vulkanizasyonu sağlayan kimyasallar) eklenerek ikinci kez karıştırılır. Silindirden lotlar halinde alınan yarı mamül hamurlar şekillendirme için ekstrüzyon ve preslere beslenir. Preslerin veya ekstrüzyon ısı tünelinin içinde şekillenmiş yarı mamüllerin vulkanizasyonu gerçekleşir. Bu aşama sonrasında oluşan nihai ürün sarılır ve paketlenir. Daha sonra paketlenen ürünün sevkiyatı gerçekleştirilir.



Şekil 5.10. Fitil, Conta, Kauçuk İmalatı İş Akım Şeması

➤ **Cam İşleme Prosesi**

Tesiste çeşitli sektörlere yönelik cam işleme yapılmaktadır. İşlenen cam çeşitleri; lamine cam, temperli cam, ısıcam’dır.

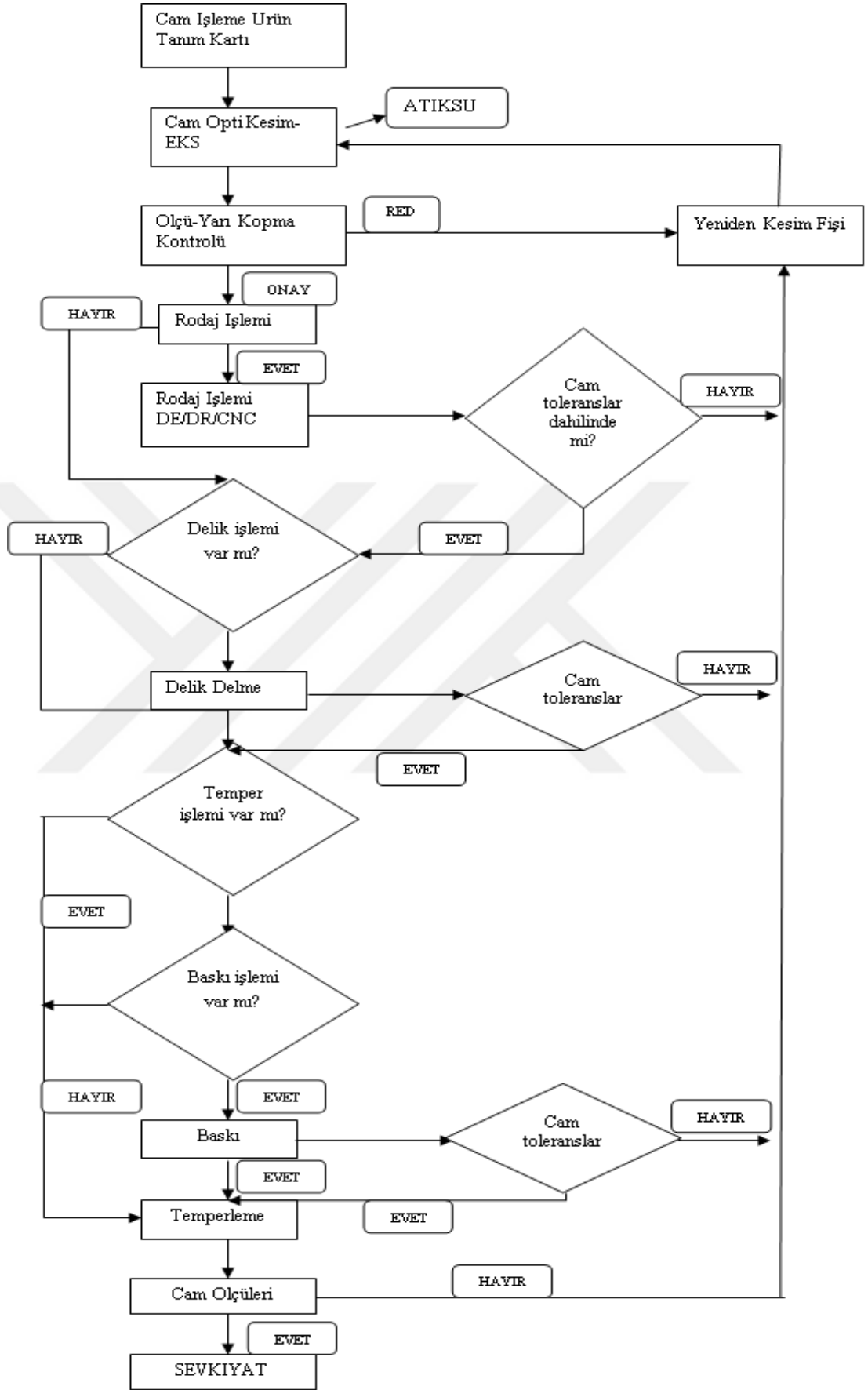
Şekil 5.11’de görüldüğü üzere cam işleme ürün tanım kartı hazırlanarak cam kesim bölümüne verilir. Cam kesimi sırasında kesme sıvısı kullanılır. Kesme sıvısı kesme diskini yağlayarak, ömrünü uzatır. Sürtünmeyi azaltarak, kesim basınçlarını düşürür. Bu da daha az

kopma ve daha az çatlak dallanmasına sebep olarak kesim kalitesini artırır. Kesme işleminden sonra ölçü- yan kopma kontrolü gerçekleştirilir ve isteğe bağlı olarak ürün rodaj bölümüne veya direk olarak delik delme bölümüne sevk edilir. Rodaj işleminin düzgün olması için öncesinde kaba taşlama ve ince taşlama işlemleri yapılır. Kaba taşlama, camın kenarlarında kesim sırasında oluşan yan kopmaların düzgünleştirilmesi için yapılan işlemdir. Isınmanın engellenmesi ve taşlama sonrası oluşan cam tozlarının uzaklaştırılması için sürekli su sirkülasyonu vardır. İnce taşlama ise kenarları düzgünleştirilen cama, yapılacak rodaj cinsine bağlı olarak; son halini vermek ve daha düzgün bir yüzey elde etmek amacıyla uygulanır. Rodaj işleminde cam kenarlarının 90 ve 45 derece açıyla ayrıca yatay olarak perdahlanması sağlanır. Yapılacak olan rodaj işlemine ve cam kalınlığına göre rodaj taşı seçilir. Parlatma işleminde ise düzgünleştirilen ve son hali verilen kenarlar parlatılır. Camın isteğe göre delik delme işlemine alınması durumunda istenen koordinatlarda ve çapta tam otomatik CNC matkaplarla delme işlemi gerçekleştirilir.

Temiz bir işlem için cam, işleme prosesleri sonrası demineralize su ile yıkanmak zorundadır. Temperleme işlemi öncesi baskı ünitesine alınan camlara cam kenarı boyunca siyah boyama yapılır. Amaç cam kaporta yapışmasını sağlayan kimyasalların güneş ışığından korunmasıdır. Temperleme işleminde; camın yumuşama noktasına kadar ısıtılıp, kontrollü bir şekilde ani soğutulması ile camın darbelere karşı dayanıklılığı ve sıcaklık farklılıklarına karşı direncinin artırılması sağlanır. Temperleme ile amaç; camın yüzeyinde basma gerilmeleri yaratarak çatlak oluşturabilecek darbelerin ilk olarak bu basma gerilmesi ile karşılaşmasını sağlamaktır. Düz camda kalınlıklar arttıkça, temper fırınında kalma süreleri uzar. Amaç camın bütününde homojen bir ısı dağılımı sağlamaktır.

Bu aşamaya kadar ayrı ilerleyen iç ve dış camlar, üst üste konarak bükme fırınlarında bombe alır. Cam, yumuşama sıcaklığı olan 600 °C ye kadar ısıtılarak yer çekimi kuvveti yardımı ile konduğu çember kalıbın şekli ile bombe alır. Bombe almış cam çifti temizleme sistemleri ile nihai birleşme işlemine hazır hale getirilir. İç ve dış cam arasına 0,76 mm kalınlığında PVB (polivinilbütiral) plastik katman yerleştirilir. Bu işlem özel yalıtımlı ve şartlandırılmış temiz odalarda yapılır. Son olarak istenen ölçü ve özelliklerde hazırlanan camlar paketlenerek ilgili yerlere sevk edilir.





Şekil 5.11. Cam İşleme Prosesi İş Akış Şeması

### 5.3. Proseste Kullanılan Kimyasal ve Tüketilen Su Miktarı Tespiti için Analiz Yöntemleri

Gerikazanım yöntemleri belirlenmeden önce işletmede mevcut üretim aşamalarında ayrı ayrı her proseste kullanılan kimyasalların miktarı ve kullanılan su miktarı aşağıda belirtilen analiz yöntemleri ile belirlenmiştir:

#### ▪ Yağ Alma Banyosu

Ekolojik olarak uygun, alüminyum alaşımların yüzeyindeki yağın giderilmesinde kullanılan düşük köpüklü bir temizleme malzemesidir. Temizleme esnasında malzemenin yüzeyini çok hafif derecede soyar. Özellikle katı ve sıvı wax ve polisaj pasta kalıntılarının malzeme yüzeyinden kolaylıkla sökülmesini sağlar.

Yağ alma banyolarında NaOH ölçülmeye çalışılmaktadır. Ölçüm yönteminde 20 ml banyo numunesi pipet yardımıyla bir erlene alınıp 100 ml destile su ile seyreltilir. Buna birkaç damla metil oranj indikatörü damlatılır. Hazırlanan bu karışıma 1 N HCl (Hidroklorik Asit) çözeltisi ilave edilerek renk kırmızıya dönüşene kadar titrasyon yapılır. Yapılan deneyler sonucu elde edilen formül ile miktarlar büyük ölçekli olarak çıkarılabilmektedir. Kullanılan 1 N HCl (Hidroklorik Asit) ----- ml x 9,7 = ---- g /l formülü uygulanarak banyodaki NaOH belirlenmektedir.

Standart Değer (NaOH Miktarı)(Minimum - Maksimum): 35 gr/lit - 55 gr/lit olmalıdır.

#### ▪ Eloksal Sökme Banyosu

Banyo içerisinde kostik ve alüminyum konsantrasyonlarına dikkat edilmelidir. Kostik miktarı ne kadar yüksek ve alüminyum miktarı ne kadar düşük olursa eloksal o kadar iyi çözülür. Bu yüzden kostik oranını yüksek, alüminyum oranını düşük tutmak gerekir. Banyoda taşlaşmayı ve çökmeyi önlemek için kullanılan kostik miktarının %10'u kadar banyoya Almeco Etch 46 – A katkı malzemesi ilave edilir.

NaOH ve alüminyum konsantrasyonunun belirlenmesi için kullanılan ölçüm yönteminde banyo numunesi süzülür. Süzülen banyo numunesinden 5ml alınıp 300 ml' lik erlene aktarılır. Üzerine 100 ml destile su ilave edilir. Buna 5 damla Fenolftalein (ff) indikatörü damlatılır. Bu çözelti 1 N HCl (hidroklorik asit) ile çözelti renksiz olana kadar titre edilir. Harcanan 1 N HCl (hidroklorik asit) miktarı a1 (ml) olarak kaydedilir. Aynı çözelti içine 10 g katı NaF eklenir ve karıştırılır. Pembe renk oluşur. Çözelti 1 N HCl (hidroklorik asit) ile pembe renk kayboluncaya kadar titre edilir. Harcanan 1 N HCl (hidroklorik asit) miktarı a2 (ml) olarak kaydedilir. Banyo bünyesinde bulunan NaOH ve alüminyum değerleri, NaOH (sodyum hidroksit) (g/lit) =  $8 \times ((a1 - (a2 / 3))$  ve Al (alüminyum) (g/lit) =  $1,8 \times a2$  formülleriyle

belirlenir.

NaOH Standart Değer (Minimum - Maksimum): 35 gr/lit - 50 gr/lit

Alüminyum Standart Değer (Minimum - Maksimum): 0 gr/lit - 50 gr/litolmalıdır.

Diğer bir yöntem olan katkı malzemesi ölçüm yönteminde ise banyo numunesi süzülür. Süzülen banyo numunesinden 10 ml alınıp 100 ml 'lik bir balon jøjeye aktarılır. Deiyonize su ile 100 ml' ye tamamlanır. Hazırlanan bu çözeltilerden 10 ml alınıp 300 ml 'lik bir erlene aktarılır. Üzerine 100 ml deiyonize su konur. Bu çözeltiliye 50 ml 0,1 N KMnO<sub>4</sub> (potasyum permanganat) ilave edilir. Bu karışım 60 - 70° C ye ısıtılır. Daha sonra oda sıcaklığına kadar soğutulur. Soğuduktan sonra bu çözeltiliye 5 ml % 98 'lik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sülfürik asit) ve 1 ml % 85 'lik H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (fosforik asit) ilave edilir. Tekrar 60-70° C 'ye ısıtılır. Çözeltiliye bu sıcaklıkta 50 ml. 0,1 N Oksalik Asit ilave edilir. İlave sonrası çözeltilinin berraklaşması beklenir. Daha sonra bu çözeltili 0,1 N KMnO<sub>4</sub> (potasyum permanganat) ile açık pembe renge kadar titre edilir. Harcanan 0,1 N KMnO<sub>4</sub> (potasyum permanganat) miktarı A (ml) olarak kaydedilir. Kullanılan 0,1 N KMnO<sub>4</sub> (potasyum permanganat) ----- ml x 3= ---- g /l formülü uygulanarak banyodaki Almeco Etch 46 – A katkı malzemesi miktarı belirlenmektedir.

Standart Değer (Minimum - Maksimum): 15 - 20 gr/lit olmalıdır.

#### ▪ Matlaştırma (E6) Banyosu

Banyo içerisinde kostik, alüminyum ve aditif maddesi vardır. Bu maddelerin konsantrasyonlarının istenilen seviyelerde tutulması çok önemlidir. Banyodaki çözülmüş Al miktarı artıka, kostik ve aditif miktarlarıda aynı oranda arttırılmalıdır. (T: 65 – 75 °C)

Matlaştırma banyolarında kullanılan aditif ölçüm yönteminde asit çözeltilisi, 10 ml filtre edilmiş dağlama çözeltilisi pipet ile çekilip 100 ml'lik balon jøjeye alınır ve işaretlenen yere kadar saf su ile doldurulur. Bu seyreltilmiş çözeltilerden 10 ml pipet ile çekilip 300 ml'lik erlene alınır. Sonra yaklaşık 50 ml destile su ile ve 50 ml 0,1N KMnO<sub>4</sub> (potasyum permanganat) çözeltilisi cam büretten ilave edilir ve 70°C de 5 dakika ısıtılır. Çözeltili yaklaşık 40 °C ye kadar soğumaya bırakılır. Sonra 10 ml asit karışımında (1 lit = 950 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sülfürik asit) %98 + 50 ml H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (fosforik asit) %85) mezür ile çözeltili karıştırılır iken dikkatlice çözeltiliye ilave edilir. Tekrar 60-70° C' ye ısıtılır. Çözeltiliye bu sıcaklıkta 50 ml 0,1 N Oksalik Asit ilave edilir. İlave sonrası çözeltilinin berraklaşması beklenir. Daha sonra bu çözeltili 0,1 N KMnO<sub>4</sub> (potasyum permanganat) ile açık pembe renge kadar titre edilir. Harcanan 0,1 N KMnO<sub>4</sub> (potasyum permanganat) miktarı A (ml) olarak kaydedilir.

Kullanılan 0,1 N KMnO<sub>4</sub> (potasyum permanganat) çözeltilisi----ml x 3 =-----g/l formülü uygulanarak banyodaki aditif miktarı belirlenmektedir.

Standart Değer (Minimum - Maksimum): 35 gr/lit - 55 gr/lit olmalıdır.

Diğer bir yöntem olan NaOH (Sodyum Hidroksit) ölçüm yönteminde 10 ml daha önceden filtre edilmiş banyo çözeltisi pipet ile çekilip 300 ml'lik erlene alınır ve yaklaşık 100 ml'lik destile su ile seyreltilir. 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sülfürik asit) ile çözelti aşağıda gösterilen kafes yapısı net olarak ayırt edilemeyecek derecede bulanık hale gelinceye kadar titre edilir. Kullanılan miktar N olarak kaydedilir.

Kullanılan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sülfürik asit) çözeltisi ml (N) x 4.5 = .... g /l NaOH formülü uygulanarak banyodaki NaOH miktarı belirlenmektedir.

NaOH Standart Değer (Minimum - Maksimum): 35 gr/lt - 50 gr/lt olmalıdır.

Diğer bir yöntem olan alüminyum ölçüm yönteminde ise daha önce karıştırılmış dağlama çözeltisinden 2 ml pipet ile çekilip 300 ml'lik erlene alınır ve yaklaşık 75 ml destile su ile seyreltilir. Daha sonra bir mezürden 25 ml potasyum florür çözeltisi (% 50) ve damlalıklı fenolftaleyn çözeltisinden birkaç damla ilave edilir 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sülfürik asit ile çözelti renksiz hale gelinceye kadar titre edilir. Kullanılan miktar A olarak kaydedilir.

Hesaplama: (5A- N) x 0,73 =-----g/l formülü uygulanarak banyodaki alüminyum miktarı belirlenmektedir.

Alüminyum Standart Değer (Minimum - Maksimum): 140 gr/lt - 240 gr/lt olmalıdır.

#### ▪ **Nötralizasyon Banyosu**

Banyo içerisinde asitli çözelti kullanılır. Kullanılan asit % 56 lık nitrik asittir. Banyo konsantrasyonu çok düşük olmamalıdır. Düşük konsantrasyonlu banyolarda tam olarak nötralizasyon yapılamadığı için malzeme yüzeyi temizlenemez.

Kullanılan ölçüm yönteminde 5 ml banyo numunesi bir erlene alınır. Üzerine 5 g KF (potasyum florid ) ve 100 ml deiyonize su eklenir. KF (potasyum florid) eriyinceye kadar iyice çalkalanır. Üzerine 5 damla fenolftalein (ff) damlatılır. Bu çözeltiyi 1 N NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi ile açık pembe renk oluşuncaya kadar titre edilir. Harcanan 1 N NaOH (sodyum hidroksit) miktarı a (ml) olarak kaydedilir.

Kullanılan HNO<sub>3</sub> (nitrik asit) (g/lt) = 12,6 x a formülü uygulanarak banyodaki nitrik asit miktarı belirlenmektedir.

HNO<sub>3</sub> Standart Değer (Minimum - Maksimum): 60 - 150 g/lt olmalıdır.

#### ▪ **Eloksal Banyosu**

Banyoda kullanılan elektrolit asidik bir çözeltidir. Kullanılan asit ise % 98'lik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'dir. Banyodaki alüminyumun konsantrasyonunda önemlidir. Alüminyumun miktarı arttıkça akım ve sıcaklık da artar. Bu da enerji sarfiyatına neden olur. Banyo içindeki asit konsantrasyonu iletkenliği sağlar. Bu yüzden banyodaki asit miktarının istenilen seviyelerde tutulması gerekir.

Kullanılan ölçüm yönteminde:

a) 5 ml banyo numunesi bir erlene alınır. Üzerine 100 ml destile su konur. Buna 5 damla Fenolftalein(ff) damlatılır. Bu çözelti 1 N NaOH (Sodyum hidroksit) ile açık pembe renk oluncaya kadar titre edilir. Harcanan 1 N NaOH (Sodyum hidroksit) miktarı a (ml) olarak kaydedilir.

b) 5 ml banyo numunesi bir erlene alınır. Üzerine 5 g KF (potasyum florid) ve 100 ml deiyonize su eklenir. KF (potasyum florid) eriyinceye kadar iyice çalkalanır. Üzerine 5 damla Fenolftalein (ff) damlatılır. Bu çözeltiyi 1 N NaOH (Sodyum hidroksit) çözeltisi ile açık pembe renk oluşuncaya kadar titre edilir. Harcanan 1 N NaOH (Sodyum hidroksit) miktarı b (ml) olarak kaydedilir.

Banyodaki  $H_2SO_4$  değeri;  $H_2SO_4$  (sülfürik asit) (g/lt) =  $9,8 \times b$  formülü ile belirlenir.

Banyodaki alüminyum değeri; Al (alüminyum)(g/lt) =  $1,8 (a-b)$  formülü ile belirlenir.

$H_2SO_4$  Standart Değer (Minimum - Maksimum): 150 - 190 g/lt

Alüminyum Standart Değer (Minimum - Maksimum): 5 - 12 g/lt olmalıdır.

#### ▪ Renklendirme Banyosu

Banyo kalay esaslı olup, alternatif akım uygulanır. Banyoda kullanılan stabilizatörün amacı, oksitlenmeyi önler akım dağılımını düzenler.  $Sn^{+2}$  yi  $Sn^{+4}$  'e çıkmasını önler. Çünkü  $Sn^{+2}$ ,  $Sn^{+4}$  'e yükseltgendiğinde dipte çökelti oluşturur ve malzeme kaybına neden olur.

Banyodaki kalay miktarının belirlenmesi için kullanılan ölçüm yönteminde 300 ml'lik bir erlene 100 ml deiyonize su, 5 ml % 37'lik HCl (hidroklorik asit), 1,5 g  $CaCO_3$  (kalsiyum karbonat) ve 1-2 ml Nişasta Çözeltisi konulur. Bunun üzerine 10 ml banyo çözeltisi ilave edilir ve karıştırılır. Bu çözelti 0,1 N İyot Çözeltisi kalıcı mavi renge kadar titre edilir. Harcanan 0,1 N İyot Çözelti miktarı a (ml) olarak kaydedilir.

Kullanılan 0,1 N İyot çözeltisi ml (A) x 0,593 = .... g /l formülü uygulanarak banyodaki kalay miktarı belirlenmektedir.

Standart Değer (Minimum - Maksimum: 5,5 - 8 g/lt olmalıdır.

**Not:** Nişasta Çözeltisi 5 g tartılır. Sıcak suda eritilerek 1 litreye tamamlanır ve kaynatılır.

% 10' luk HCl (hidroklorik asit): 270 ml HCl (hidroklorik asit) (% 37'lik) + 730 ml Deiyonize su

Diğer bir yöntem olan stabilizatör ölçüm yönteminde:

a) 300 ml' lik erlene 100 ml. deiyonize su, 10 ml %37' lik HCl (hidroklorik asit) 3 g  $CaCO_3$  (Kalsiyum karbonat) ve 1-2 ml nişasta çözeltisi kullanılır. Üzerine 25 ml banyo çözeltisi ilave edilir ve karıştırılır. Bu çözelti 0,1 N iyot çözeltisi ile kalıcı mavi renge kadar titre edilir ve karıştırılır. Harcanan 0,1 N iyot çözeltisi miktarı A(ml) olarak kaydedilir.

b) 300 ml' lik erlene 100 ml deiyonize su, 60ml asit karışımı, 3 g  $CaCO_3$  (Kalsiyum karbonat)

ve 4 damla Difenil Amin indikatörü damlatılır. Üzerine 25 ml banyo çözeltisi ilave edilir ve karıştırılır. Bu çözelti 0,1 N  $K_2Cr_2O_7$  (Potasyum dikromat) çözeltisi ile yeşil renkten mavi renge dönene kadar titre edilir. Harcanan 0,1 N  $K_2Cr_2O_7$  (Potasyum dikromat) çözeltisi miktarı B(ml) olarak kaydedilir.

$C=B-A$

Kullanılan (C) x 5,3= .... g /l formülü uygulanarak banyodaki stabilizatör çözelti miktarı belirlenmektedir.

Standart Değer (Minimum - Maksimum): 20-30 g/l olmalıdır.

Diğer bir yöntem olan sülfürik asitölçüm yönteminde ise 20 ml banyo çözeltisi 300 ml'lik erlene alınır. Üzerine 100 ml deiyonize su eklenir. 2 g NaF (sodyum florid) ve 20 damla Brom-Cresol İndikatörü ilave edilir. Hazırlanan bu çözelti 1 N NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi ile açık mor renge kadar titre edilir. Harcanan 1 N NaOH (sodyum hidroksit) miktarı A (ml.) olarak kaydedilir.

Renklendirme banyosunda bulunan  $H_2SO_4$  (sülfürik asit) (g/l) = A x 2,45 formülü ile belirlenmektedir.

$H_2SO_4$  Standart Değer (Minimum - Maksimum): 16 – 20 g/l olmalıdır.

#### ▪ Sarı Renk Banyosu

Aktif madde Amonyum Ferro Okzalat'tır. Banyonun sıcaklık ve pH'ı önemlidir. pH: 4,0 - 5,0 aralığındave T: 45 – 55 °C aralığında olmalıdır.

Kullanılan ölçüm yönteminde banyo örneği süzülür. Süzüntüden 20 ml alınarak 300 ml lik erlen içine konulur. Üzerine 100 ml destile su ve 10 ml %20'lik  $H_2SO_4$  (sülfürik asit) ilavesiyle karıştırılarak ısıtılır. Sıcaklık 50-60 °C ye geldiğindebu çözelti 0,1 N  $KMnO_4$  çözeltisiyle kalıcı açık pembe renge kadar titre edilir. 0,1 N  $KMnO_4$  sarfiyatı a (ml) olarak kaydedilir. Çözeltiye aynı sıcaklıkta 20 ml tampon çözeltisi ve 1ml sülfosalisilik indikatör katıldıktan sonra oluşan kırmızı renk kayboluncaya kadar 0,1 M EDTA çözeltisi ile titre edilir. 0,1 M EDTA çözeltisi sarfiyatı b (ml) olarak kaydedilir.

Kullanılan ml 0,1 M EDTA x 8,6 = ..... g/l aktif madde miktarı belirlenir.

Kullanılan ml 0,1 N  $KMnO_4$  X 16,65 = ..... (COX) Rölatif Okzalat Yüzdesi elde edilir.

Kullanılan ml 0,1 M EDTA

Standart Değer (Minimum - Maksimum): 60 – 120 g/l olmalıdır.

#### ▪ Tespit Banyosu

Bir malzemenin iyi tespit olabilmesi için 6 ana unsur kontrol altında tutulmalıdır.

Kullanılan su mutlaka deiyonize olmalı, sıcaklık 96-100 °C ve pH değeri 5,5 - 6,5 arasında olmalıdır. Günlük ilave edilen aditif miktarı her vardiya için banyoya girecek olan yüzey

alanına bağlı olarak 1- 2 g / m<sup>2</sup> arasında olmalıdır (beyaz yzeyler için 1 g / m<sup>2</sup>, renkli malzemeler için 2 g / m<sup>2</sup>). Banyonun iletkenlik değeri max. 3000 μs (mikrosimens) değerini aŗarsa banyonun yenilenmesi gerekir. Malzemenin banyoda kalıŗ sūresi kalınlıklarına gōre deęiŗir. İyi bir tespit elde edilmesi için mikron baŗına 3 dakika banyoda bekletilmelidir. Őrneęin malzememiz 10 μ kaplanmış ise tespitte kalıŗ sūresi: 10 x 3 = 30 dakikadır.

Yapılan alıŗmalarda atıksudaki pH Őlūmleri için pHmetre, iletkenlik Őlūmleri için iletkenlik probu kullanılmıŗtır. Atıksuda bulunan KOİ ve AKM parametreleri standart metodlara gōre analiz edilmiŗtir.



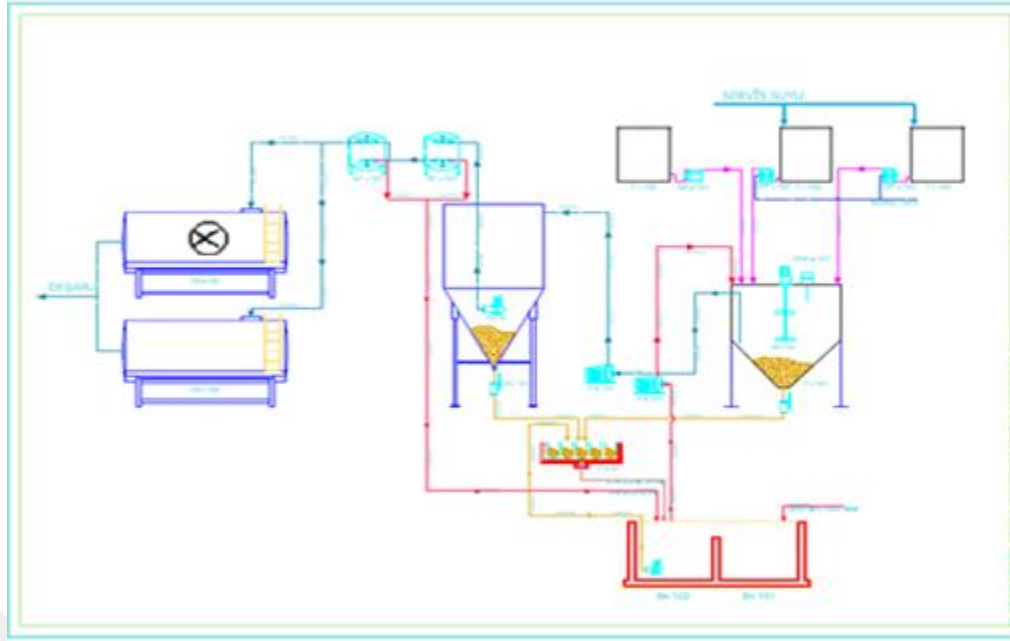
## **6. BULGULAR VE TARTIŗMA**

### **6.1. Paslanmaz elik Mutfak Eŗyası (Tencere ve Tava) ile Yanmaz Yapıŗmaz Eŗyası Őretim Tesisi**

### 6.1.1. Su kullanımı, atıksu oluşumu ve atıksu karakterizasyonu

İncelenen 1.alüminyum tesisinin toplam endüstriyel su kullanımı  $\sim 12 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür. Atıksu arıtma tesis kapasitesi  $15 \text{ m}^3/\text{gün}$  olacak şekilde tasarlanmıştır. Tesiste kullanılan su şebekeden karşılanmaktadır. Mevcut tesiste paslanmaz çelik ve alüminyumdan mutfak eşyası üretimi ile yanmaz yapışmaz mutfak eşyası üretimi yapılmakta olup, sadece yanmaz yapışmaz mutfak eşyası üretiminde endüstriyel su kullanımı olmaktadır. Yanmaz yapışmaz mutfak eşyası üretimi sırasında kesme işlemi bittikten sonra ürünler yıkama hattına alınarak yıkanır. Yıkama sırasında yapılan üretime göre ortalama  $11 \text{ m}^3/\text{gün}$  su kullanılmaktadır. Yıkama sırasında yıkama hattından çıkan su yıkama hattındaki dengeleme havuzunda birikmekte, oradan da kimyasal arıtma için çöktürme tankına gönderilmektedir. Ayrıca boyama kabinlerinin temizliği içinde su kullanımı söz konusudur. Kabinler on günde bir temizlenmekte olup ortalama  $1 \text{ m}^3$ 'lük su kullanılmaktadır. Boyama işleminden sonra oluşan atıksu, arıtma tesisine gönderilmektedir. Arıtma tesisine gönderilen endüstriyel atıksular; işletme içinde bulunan atıksu toplama kanalları ile endüstriyel atıksu toplama-dengeleme havuzuna alınmaktadır. Atıksu santrifüj tip terfi pompası ile kimyasal reaktöre basılmaktadır. Kimyasal reaktör tankında kimyasal arıtma işlemi gerçekleştirildikten sonra atıksu 4000 L hacmindeki ön depolama tankına alınmaktadır. Atıksu bu tanktan hidrofor pompası vasıtası ile sırasıyla kum filtre ve aktif karbon filtre tanklarından geçirilir. Daha sonra arıtılan atıksu temiz su tankına alınmaktadır. Bu aşamalardan sonra ileri arıtma prosesi olarak deminerilizasyon prosesi uygulanmıştır ve geri kazanım gerçekleştirilmiştir. Tesise ait atıksu arıtma tesisi akış diyagramı Şekil 6.1'de verilmiştir.





**Şekil 6.1.** Paslanmaz Çelik Mutfak Eşyası (Tencere ve Tava) ile Yanmaz Yapışmaz Mutfak Eşyası Üretim Tesisinin Atıksu Arıtma Tesisi Akış Diyagramı

Arıtma tesisi projesi tasarımı ise Çizelge 6.1’de yer alan atıksu parametreleri baz alınarak yapılmıştır.

**Çizelge 6.1.** AAT Proses Dizayn Kriterleri İçin Atıksu Kirlilik Değerleri (Arıtma Tesisi Giriş Suyu Değerleri)

PARAMETRE	BİRİM	AAT PROJELENDİRMESİNDE ESAS ALINAN DEĞERLER
KOI	mg/L	187
AKM	mg/L	<10
Yağ ve Gres	mg/L	12
Amonyum Azotu	mg/L	<0,1
Nitrit Azotu	mg/L	2,59
Toplam Krom	mg/L	0,24
Krom	mg/L	0,022
Kurşun	mg/L	<0,01
Kadmiyum	mg/L	0,002
Alüminyum	mg/L	108,68
Demir	mg/L	0,55
Bakır	mg/L	0,03
Nikel	mg/L	0,008
Çinko	mg/L	0,042
Florür	mg/L	1,11
pH	-----	8,85

Çizelge 6.2’de gösterildiği üzere tesis; Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren

31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve 13.02.2008 tarih ve 26786 sayılı SKKY’de Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelikte yer alan Tablo 15.11 sınıfındaki Metal Sanayi (Sırlama, Emayeleme, Mineleme Tesisleri)’ne tabidir.

**Çizelge 6.2.** Tablo 15.11: Sektör: Metal Sanayii (Sırlama, Emayeleme, Mineleme Tesisleri)(Arıtma tesisi çıkış suyu sınır değerleri)

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK
KOİ	(mg/L)	100
AKM	(mg/L)	125
Yağ Ve Gres	(mg/L)	20
Amonyum Azotu	(mg/L)	20
Nitrit Azotu	(mg/L)	5
Toplam Krom	(mg/L)	2
Krom	(mg/L)	0.5
Kurşun	(mg/L)	1
Kadmiyum	(mg/L)	0.2
Alüminyum	(mg/L)	2
Demir	(mg/L)	3
Florür	(mg/L)	50
Bakir	(mg/L)	2
Nikel	(mg/L)	2
Çinko	(mg/L)	2
Balık Biyodeneyi		4
pH		6-9

### 6.1.2. Atıksu için yapılan analizler

Paslanmaz çelik mutfak eşyası (tencere ve tava) ile yanmaz yapışmaz mutfak eşyası üretim tesisinin endüstriyel atıksu arıtma tesisi deşarj noktasından alınan kompozit numunelere analizler yapılmıştır. Çalışmalarda; “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Örnek Alma ve Analiz Metotları Tebliğindeki kompozit örnek alma esasları uygulanmıştır. Alınan atıksu örneklerinde, istenilen parametrelerin ölçüm ve analiz metotları ile sonuçları Çizelge 6.3’te verilmiştir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde; SKKY’deki Tablo 15.11’de verilen metal sanayi atıksularının alıcı ortama deşarj standartları esas alınmıştır. Analiz sonuçlarını içeren tablodan da görülebileceği gibi, incelenen alüminyum kuruluşuna ait endüstriyel atıksu arıtma tesisinin deşarj atıksu örneklerinde ölçümü ve analizleri yapılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerin SKKY Tablo 15.11: Sektör: Metal Sanayii (Sırlama, Emayeleme, Mineleme Tesisleri)’deki sınır değerleri sağladığı, söz konusu endüstriyel arıtma tesisinin verimli çalıştığını göstermektedir. Ancak deşarj için yeterli olan bu sonuçlar aynı arıtılmış

suyun tekrar Proseste Kullanılması mümkün değil. Çünkü iletkenliği yüksek sular çıkmaktadır.

**Çizelge 6.3.** Arıtma Tesisi Deşarj Noktasından Alınmış Anlık Analiz Sonuçları

PARAMETRE	ANALİZ METODU	SONUÇ 1	SONUÇ2
KOİ (mg/L)	SM 5220-B	87,96	97,2
AKM (mg/L)	SM 2540-D	<10	36
Yağ ve Gres (mg/L)	SM 5520-D	<10	<10
Amonyum Azotu (mg/L)	SM 4500 NH <sub>3</sub> -B, C	<5	<5
Nitrit (mg/L)	SM 4500 NO <sub>2</sub> -B	<0,02	<0,002
Toplam Krom (mg/L)	EPA 2007	0,007	<0,25
Krom (mg/L)	SM 3500 Cr-B	<0,1	<0,1
Kurşun (mg/L)	SM 3111-B	<0,2	<0,25
Kadmiyum (mg/L)	SM 3111-B	<0,012	<0,05
Alüminyum (mg/L)	SM 3111-D	<0,011	<2
Demir (mg/L)	SM 3111-B	0,1	<0,25
Bakır (mg/L)	SM 3111-B	<0,05	<0,15
Nikel (mg/L)	SM 3111-B	<0,08	<0,25
Çinko (mg/L)	SM 5530 B, D	0,98	<0,1
Florür (mg/L)	SM 4500 H <sup>+</sup> -B	<0,1	<0,1
pH	-	7,31	7,66

### 6.1.3. Atıksuyun yeniden kullanılabilirliğinin belirlenmesi için yapılan deneysel çalışmalar

İncelenen 1. Tesiste atıksu arıtma tesisinden çıkacak suyun daha iyi arıtılmasını sağlamak için üretim alanında atıksu çıkışı olan her bir prosesten kaynaklanan atıksulardan numuneler alınmış ve laboratuvar ortamında analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.4'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakılınca atıksuyun arıtılıp tekrar geri kullanımında en önemli olan parametrenin iletkenlik olduğu için özellikle Emaye kısmından ve Ön astar kısmından çıkan atıksuyun çok daha kirli olduğu görülmüştür. Bu değerlere göre arıtma tesisinde iyileştirme ve ileri arıtım prosesinin seçimi gerçekleştirilmiştir.

**Çizelge 6.4.** Her Bir Prosesten Kaynaklanan Atıksu Analiz Sonuçları

PARAMETRELER	Ara Astar Atıksuyu	Ön Astarlamadan Çıkan Atıksu	İç Kısım Son Astar Atıksuyu	Emaye Kısmı Boyalı Atıksu	Kesme İşleminde Sonra Çıkan Yağlı Atıksu
Renk	Koyu Kahve	Siyah	Gri	Pembe	Sarı
Görünüm		Yoğun kıvamda, partiküllü	Yoğun kıvamda, partiküllü	Partiküllü, Bulanık	Yağlı
pH	7,35	9,5	7,8	9,8	11,7
İletkenlik( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	3100 $\mu\text{S}$	1375 $\mu\text{S}$	3000 $\mu\text{S}$	1423 $\mu\text{S}$	7250 $\mu\text{S}$
KOİ (mg/L)	>10.000	>10.000	>10.000	464	>3500
AKM (mg/L)	541	>750	>750		164
Toplam Demir (mg/L)	29,5	>50	>50	1,4	20
Nikel (mg/L)	10,6	>50	>50	2,9	5,5
Alüminyum (mg/L)	1,2	>6	7,8	4,75	5,65

Sonraki aşamada örnekleme noktasından alınan atıksuyun analizi yapılmış olup Çizelge 6.5'te yer alan değerlere göre uygun ileri arıtma yöntemi belirlenmiştir. Tek tek proseslerden çıkan atıksu iletkenliği baz alınmıştır. Yüksek iletkenlik Metal yüzeyinde leke oluşturduğu için yeniden kullanım için iletkenliğin düşürülmesi gerekmektedir. Yapılan analizler sonucunda hem maliyet açısından hemde iletkenliğin en iyi düşürüldüğü yöntem olan deminerilizasyon yöntemiyle suyun geri kazanım çalışmalarının yapılmasına karar verilmiştir. Deminerilizasyon Ünitesi ***Demineralizasyon Filtre Tankları:*** Suyun özelliklerine göre farklı türdeki malzemeler kullanılarak imal edilmiş filtre tankları, ***Diğer Tanklar:*** Epoksi boyalı veya kauçuk kaplamalı sac tanklardan, PRFG tanklardan ve paslanmaz tanklardan, ***Vanalar:*** Deminerilizasyon filtrelerinde kullanılan vanalar, PVC, dökme demir veya paslanmaz malzemelerden imal edilmiş, Çalışmada multivay vanalar (SIATA veya FLEG), manuel, pnömatik veya elektrik aktüatörlü kelebek vanalar, manuel veya pnömatik diyaframlı vanalardan oluşmuş olup, ***Dolgu Malzemesi:*** Deminerilizasyon filtrelerinde dolgu malzemesi olarak granül aktif karbon, anyonik reçine ve katyonik reçine kullanılarak oluşturulmuştur..

**Nozul:** Filtrelerin içinde, filtre ebatlarına göre mantar nozullar ve ahtapot nozullar kullanılmıştır.

**Çizelge 6.5.** Şekil 6.1 deki Örnekleme Noktasından (Kimyasal AAT çıkış suyundan) Alınan Ham Atıksu Analiz Değerleri ve Yeniden Kullanılabilirlik Değerlerinin Karşılaştırma Tablosu

Parametre	Birim	Ham Atıksu	AAT çıkış suyu	Deminerilizasyon Sonrası Değerler	Firmada Yeniden Kullanılabilirlik
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	2250	2000	15	30
KOI	(mg/L)	187	87,96	45	<50
AKM	(mg/L)	<10	<10	<10	<10
Fe	(mg/L)	0,55	0,1	<0,1	<0,1
Al	(mg/L)	108,68	<2	<2	<2
pH	-	8,85	7,31	7,05	6-9

Şekil 6.2’de görüldüğü üzere demineralize ünitesi en az iki kolondan oluşmaktadır. Birinci kolonda katyonik reçine bulunmakta ve normal yumuşatma prosesinde olduğu gibi pozitif yüklü metal iyonlarını uzaklaştırmaktadır. ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+1}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ) Ancak yumuşatma prosesinden farklı olarak sistem; rejenerasyonunu tuz yerine asitle yapmakta ve reçineyi sodyum yerine hidrojen iyonları ile yenilemektedir. Yüklü iyonlar, değişim materyaline yapıştıklarında yükleri kadar hidrojen iyonu bırakırlar. Hidrojen iyonlarının artması yüzünden çözeltideki asit miktarı artar. Bu noktada deiyonizasyon prosesinin yarısı tamamlanmış olur. Pozitif yüklü metal iyonları artırılmış olup çözeltide hidrojen iyonları ve anyonlar bulunmaktadır. İkinci kolonda ise anyonik reçine bulunmaktadır ve çözeltideki negatif iyonları  $\text{HCO}^{3-}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ , absorbe etmektedir. Reçine doyduğunda ise (çıkış suyundaki iletkenlik değerinden hemen anlaşılabilir) rejenerasyon işlemi baz ile yapılmaktadır. Burada da rejenerasyon sonucunda hidroksit reçineye bırakılır. Bu durumda çözeltide birinci aşamadan kalan  $\text{H}^{+}$  ve ikinci aşamada ortaya çıkan  $\text{OH}^{-}$  iyonları bulunmaktadır. Bunlar birleşerek su molekülü oluştururlar. Sonuç olarak, bu proses sonunda mineralsiz su elde edilir.

Demineralizasyon üniteleri de diğer tüm arıtma sistemlerinde olduğu gibi otomatik olarak çalışmaktadır. Bu filtrelerin otomasyonu farklı yollar ve ekipmanlarla sağlanmaktadır.

Tesis bünyesindeki sistem, kontrol panosu ile otomatik olarak kontrol altına alınmaktadır. Sistemin kontrol panosu, istenilen ekipmana ve/veya üniteye manuel müdahale edilmesine olanak sağlamaktadır. Sistem depo seviyelerine göre otomatik olarak çalışmakta ve

durmaktadır. Sistemin kontrol panosu üzerinde filtrelerin manuel rejenerasyona başlayabilmeleri için manuel başlatma butonu ve filtrelerin rejenerasyon esnasında bir sonraki faza geçmesini sağlamak amacıyla manuel faz atlatma butonu mevcuttur. Sistemde herhangi bir nedenden dolayı arıza olursa sistem otomatik olarak devre dışı kalmaktadır. Sistemin kontrol panosu arıza durumunda görsel ikaz vermekte ve arıza açıklaması operatör panelde belirtilmektedir. Ayrıca sistemin kontrol panosunda arıza reset butonu bulunmaktadır.



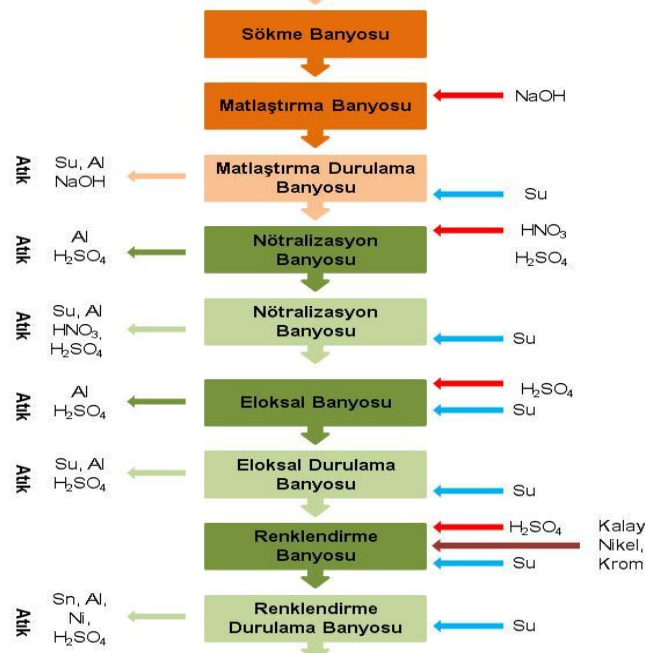
Şekil 6.2. Demineralizasyon Ünitesi

## 6.2. İkincil Alüminyumdan Eloksal Kaplama Tesisi

### 6.2.1. Su kullanımı, atıksu oluşumu ve atıksu karakterizasyonu

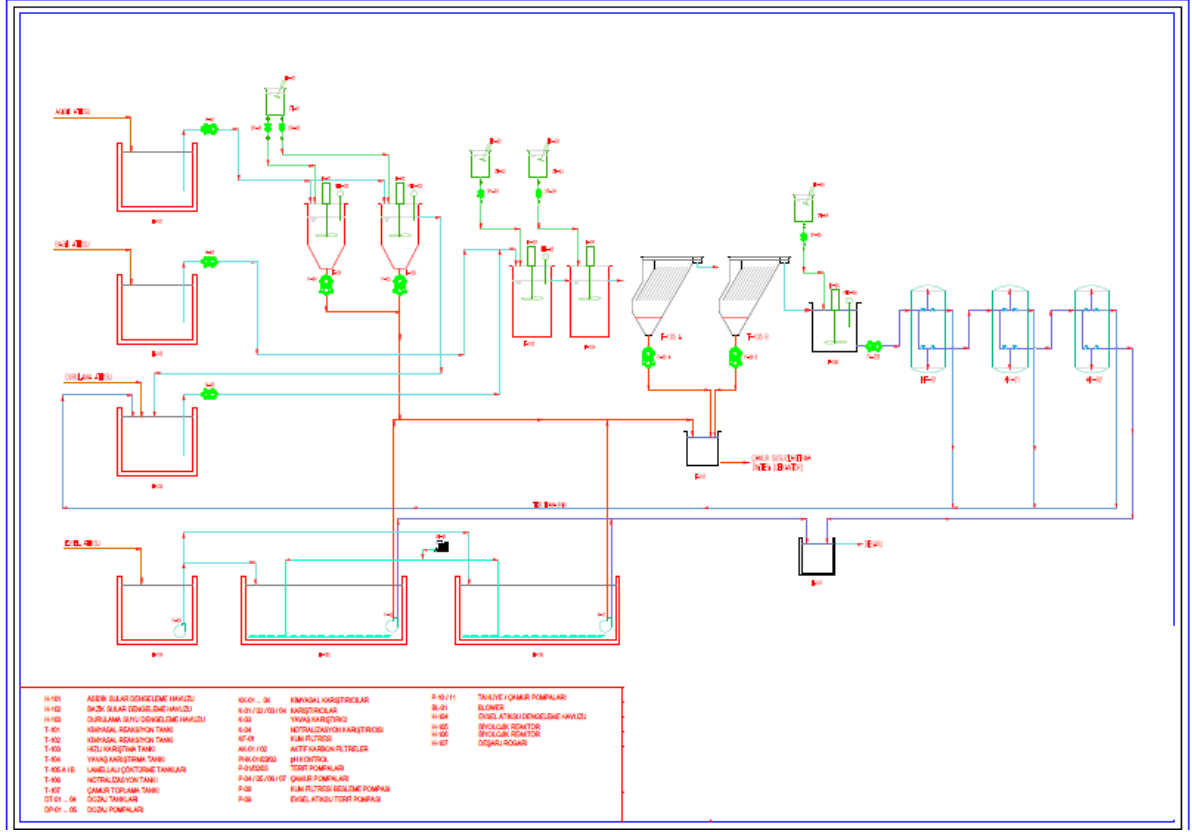
İncelenen 2. alüminyum tesisinde oluşan endüstriyel atık sular  $600 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür. Çalışanların kullanımından kaynaklanan evsel atık sular ayrı dengeleme havuzunda biriktirilmektedir. Bu atık sular biyolojik arıtma ünitesinde endüstriyel atıksulardan ayrı olarak arıtılmaktadır. İşletmede 1000 kişi çalışmakta olup evsel atıksu debisi  $200 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür. Mevcut tesiste ikincil alüminyumdan eloksal kaplama üretimi söz konusu olup eloksal kaplama banyoları ve cam kesme işlemlerinin yapıldığı ünitelerden atık su oluşmaktadır. Eloksal kaplama yapılan alüminyum tesislerinde su, kalıp kısmı ve eloksal banyolarında kullanılmaktadır. Çıkan atık su bu bölümlerden oluşmaktadır.

İkincil alüminyumdan eloksal kaplama tesisinde yapılan incelemede her bir üniteye giren su -kimyasal türleri ile her bir üniteden çıkan atık/atıksular Şekil 6.3 'de gösterilmiştir.



**Şekil 6.3.** Tipik Bir İkincil Alüminyumdan Eloksal Kaplama Prosesi Su ve Kimyasal Giriş-Çıkış Diyagramı

Tesisten kaynaklanan farklı noktalardan gelen endüstriyel atıksular için dengeleme havuzları girişine ince sepet tipi ızgara sistemleri konulmuştur. Atıksular ızgara yapısından geçtikten sonra dengeleme havuzunda toplanmaktadır. Mevcut bulunan üç adet dengeleme havuzunda, atıksudaki debi salınımları dengelenerek arıtma tesisine gün boyunca eşit debide besleme yapılmakta, tesis şok yüklemelerden korunmaktadır. Bu 3 adet dengeleme havuzu çeşitleri; asidik su dengeleme havuzu, bazik su dengeleme havuzu ve durulama suları dengeleme havuzlarıdır. Kimyasal arıtmanın öncesinde asidik atıksular kireç ilavesi ile ön arıtmaya tabi tutularak atıksuyun içindeki kirliliğin çökerek atıksudan ayrılması sağlanmaktadır. Homojenliği sağlanan atıksular daha sonra kimyasal arıtma ünitesine alınmaktadır. Kimyasal arıtma ünitesinden çıkan atıksudaki kirliliğin çökerek ayrılması için atıksu, plakalı çöktürme havuzuna alınmaktadır. Üstte kalan duru faz arıtılmış atıksu olarak deşarj edilmekteydi fakat yapılan çalışmalarla geri kazanıma tabi tutulmaya başlanmıştır. Dibe çöken çamur ise pompa vasıtasıyla çamur yoğunlaştırma tankına alınmaktadır. Kimyasal arıtmadan geçirilen atıksu pH dengelemesi yapılarak nötralizasyon tankına gönderilir. Daha sonra temiz su tankında biriktirilen arıtılmış su otomatik olarak santrifüj pompa yardımıyla kum filtresi ve aktif karbondan geçirilmektedir. Tesise ait atıksu arıtma tesisi akış diyagramı Şekil 6.4’de verilmiştir.



**Şekil 6.4.** İkincil Alüminyumdan Eloksal Kaplama Tesisinin Atıksu Arıtma Tesisi Akış Diyagramı

Çizelge 6.6'da gösterildiği üzere tesis Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve 13.02.2008 tarih ve 26786 sayılı SKKY'de Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelikte yer alan Tablo 15.5: Sektör: Metal Sanayii (Elektrolitik Kaplama, Elektroliz Usulüyle Kaplama) ve Tablo 15.6: Sektör: Metal Sanayii (Metal Renklendirme)'ye tabidir.

**Çizelge 6.6.** Tablo 15.5: Sektör: Metal Sanayii (Elektrolitik Kaplama, Elektroliz Usulüyle Kaplama) ve Tablo 15.6: Sektör: Metal Sanayii (Metal Renklendirme)

	<b>SKKY Tablo 15.5</b> <b>Metal Sanayii (Elektrolitik</b>	<b>SKKY Tablo 15.6</b> <b>Metal Sanayii (Metal</b>
--	--	---



PARAMETRE	Kaplama, Elektroliz Usulüyle Kaplama)		Renklendirme)	
	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
KOİ(mg/L)	100	-	200	-
AKM(mg/L)	125	-	125	-
Yağ Ve Gres(mg/L)	20	-	20	-
Nitrit Azotu (mg/L)	5	-	10	-
Aktif Klor(mg/L)	0.5	-	0.5	-
Toplam	1	-	1	-
Krom(mg/L)	0.5	-	0.5	-
Krom (mg/L)	3	-	-	-
Alüminyum (mg/L)	50	-	-	-
Florür (mg/L)	3	-	-	-
Çinko (mg/L)	-	0.2	-	-
Kadmiyum (mg/L)	2	-	-	-
Balık Biyodeneği	6-9	6-9	6-9	6-9
pH	-	-	3	-
Demir (mg/L)	-	-	2	-
Nikel (mg/L)	-	-	280	260
<b>(Ek satır: RG- 24/4/2011-27914)</b>				
Renk(Pt-Co)				

### 6.2.2. Atıksu için yapılan analizler

İkincil alüminyumdan eloksal kaplama tesisinden 3 adet 2 saatlik kompozit giriş suyu numunesi alınmıştır. İstenilen parametrelerin analiz metotları ile analiz sonuçları Çizelge 6.7’de verilmiştir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde; su kirliliği kontrolü yönetmeliğindeki Tablo 15.5 ve Tablo 15.6’da verilen metal sanayi atıksularının alıcı ortama deşarj standartları esas alınmıştır.

**Çizelge 6.7.** Arıtma Tesisi Giriş Noktasından (Şekil 6.3) Prosesten çıkan atıksu Analiz Sonuçları ve Arıtma Sonrası Değerler

Parametre	Analiz Metodu	Ham Atıksu	Ham Atıksu	Ham Atıksu	Kimyasal AAT	Alıcı Ortam
-----------	---------------	---------------	---------------	---------------	-----------------	----------------

		Sonuç 1	Sonuç 2	Sonuç 3	Çıkış Değerleri	Deşarj Sınır Değerleri
İletkenlik, $\mu\text{s/cm}$		25000	26123	24261	20400	-
pH	TS EN ISO 10523	4.08	12.19	3.62	6-9	6-9
KOİ (mg/L)	ACIK REFLUKS METODU SM 5220 B	202.6	232.0	247.4	114	100
AKM (mg/L)	SM 2540 D	4886	5270	5716	98	125
Yağ-Gres (mg/L)	SM 5520 D	<10	<10	<10	<10	20
Nitrit Azotu (mg/L)	SM 4500 NO2 B	0.03	0.2	0.025	<5	5
Aktif Klor (mg/L)	SM 4500 Cl-G	0.03	0.03	0.033	<0,5	0,5
Toplam Krom (mg/L)	EPA 200.7:2001	0.054	0.018	0.163	<1	1
Krom (mg/L)	SM 3500 Cr:B	<0.02	<0.02	<0.02	<0,02	0,5
Alüminyum (mg/L)	EPA 200.7:2001	277.679	350.125	686.549	<3	3
Florür (mg/L)	SM 4500 F-D	<0.1	0.53	<0.1	<0,1	50
Demir (mg/L)	EPA 200.7:2001	2.553	0.014	5.677	<3	3
Nikel (mg/L)	EPA 200.7:2001	0.082	<0.003	0.154	<0,003	2
Çinko (mg/L)	EPA 200.7:2001	0.056	<0.0006	0.166	<0,0006	3
Renk (Pt-Co)	SM 2120 C	<5	18.5	8	<5	280

Eloksal kaplama tesisi Proses suyu giriş parametreleri Çizelge 6.8'de verildiği gibidir. Değerlerden de görüleceği gibi giriş atıksuları asidik sulardır. Giriş değerlerinin alınmasının nedeni seçilecek arıtım yöntemlerinde önem kazanmaktadır. Bir kaç kez yapılan analizlerin nedeni atıksu karakterindeki kirlilikle paralel ve Proseste kullanılan kimyasalları bağlı bir şekilde sürekli değişkenlik gösterebilmektedir. İçindeki AKM oranları çok yüksek. En yüksek parametreler alınıp arıtma tesisi işletimi ve ünite seçimleri bu parametrelere göre yapılmıştır. Çizelge 6.9 de ortalama max.arıtma tesisi giriş atıksu parametreleri analiz sonuçları

verilmiştir.

Seçilen arıtma yöntemi (Koagülasyon Flokülasyon) sonrasında arıtma tesisinden sağlanan verim Çizelge 6.9’da görüldüğü gibidir. Bu sonuçlar Proseste kullanılmak için uygun değildir. Arıtmadan çıkan suyun kullanılması durumunda metallerin kullanılmayacak hale geldiği görülmüştür.

**Çizelge 6.8. Arıtma Tesisi Proses Suyu Verimi**

Parametre	Kim. Arıt. Giren (mg/L)	Kim. Arıt. Çıkan (mg/L)	Verim(%)
KOİ	247	98	60
AKM	5716	114	98
pH	6-9	6-9	-

Yapılan analizler sonucunda özellikle eloksal kaplamalar sözkonusu olduğu için AKM yüksekliği sözkonusu olduğu için ultrafiltrasyon ve RO yöntemleriyle suyun geri kazanım çalışmalarının yapılmasına karar verilmiştir. Özellikle metal sektöründe metalin yüzey alanında sorun yaşanmaması iletkenliğin <30 olması ile sağlandığı görülmüştür. İletkenlik değerlerini en düşüren yöntem eloksal kaplamanın yapıldığı metal sektörü için Membran sistemler olduğu bilindiği için Membran sistemler tercih edilmiştir. Ancak geri kazanım öncesi AKM miktarının düşürülmesi için suyun asidik özelliğinin düşürülmesi için öncelikli kaplamada kullanılan kimyasalların geri kazanımı gerçekleştirilmiştir.

### **6.2.3. Su ve kimyasalların geri kazanımı için yapılan deneysel çalışmalar**

#### ***Matlaştırma Banyolarında Kimyasal Geri Kazanımı:***

Matlaştırma banyoları kostik ile hazırlanmakta olup bu banyoda NaOH değeri 35-55 g/L ve alüminyum değeri 140-240 g/L arasında değişmektedir. Matlaştırma banyoları kesinlikle dökülmemekte kostik değeri azaldıkça ilave edilmektedir. Alüminyum ise senede 1-2 kez çökeltme yapılarak, alttaki alüminyum atık olarak geri kazanım tesislerine verilmektedir. 5. Bölümde anlatılan analiz yöntemlerinde yer alan formüller uygulanarak Çizelge 6.10’da verilen değerler elde edilmiştir. Matlaştırma banyosu içerisinde bulunan alüminyum miktarının ölçülmesinde kullanılan yöntemde yer alan 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, A simgesiyle belirtilmiş, kostik miktarının ölçülmesinde kullanılan yöntemde yer alan 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ise N simgesiyle belirtilmiştir.

**Çizelge 6.9. Matlaştırma Banyosu Analiz Değerleri**

	N	A	Kostik Derecesi	Alüminyum Miktarı (gr/lt)
--	---	---	-----------------	---------------------------

Matlaştırma	13,8	42,0	62,10	143,23
-------------	------	------	-------	--------

### ***Matlaştırma Durulama Banyolarından Durulama Suyu Geri Kazanımı:***

Matlaştırma durulama banyolarına alınan alüminyum profillerin yüzeyinde yüksek oranda kostik ve alüminyum taşınımı olmaktadır. Özellikle 1. matlaştırma durulama banyosunda 25 g/L'lere kadar alüminyum ve 7.7 g/L değerine kadar NaOH olabilmektedir. Buda NaOH sarfiyatlarının artmasına sebep olmaktadır. Yapılan pilot sistem çalışmalarını ile 2. ve 3. Matlaştırma durulama banyolarından kaynaklı atıksuların geri kazanılabileceği görülmüştür. 1. Matlaştırma banyolarını yoğun kostik içerdiği için pilot sistemde çalışılamamıştır. Fakat yurtdışında bu banyoların geri kazanımı ile ilgili uygulamalar olup alüminyum durulama sularından ayrıldıktan sonra durulama suyundaki kostik evaporatörde konsantre hale getirilebilmektedir. 5. Bölümde anlatılan analiz çalışmalarını uygulanarak Çizelge 6.11'de verilen değerler elde edilmiştir. Tabloda da görüleceği gibi aynı miktar atıksu için iletkenlik değerlere ölçülmüştür. Yapılan çalışmalarda iletkenlik giderim verimleri belirlenmiştir.

**Çizelge 6.10.** Matlaştırma Durulama Atıksuları Geri Kazanım Çalışması Sonuçları

<b>Parametreler</b>	<b>Giriş</b>	<b>Çalışma 1</b>	<b>Çalışma 2</b>	<b>Çalışma 3</b>	<b>Çalışma 4</b>	<b>Çalışma 5</b>
Ürün Suyu Debisi, L/saat	-	100-110	100-110	100-110	100-110	100
İletkenlik, µs/cm	20400	5560	5710	6640	6220	6100
<b>Giderim Verimi (İletkenlik), %</b>	-	<b>72,75%</b>	<b>72,01%</b>	<b>67,45%</b>	<b>69,51%</b>	<b>70,10%</b>

### ***Eloksal Banyolarında Kimyasal Geri Kazanımı:***

Eloksal kaplama banyolarında, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> değeri maksimum 150-190 g/L ve alüminyum değeri maksimum 5-12 g/L olmalıdır. Alüminyum değeri 10-12 g/L değerine ulaştığı zaman, ya eloksal banyosunun bir kısmını yada tamamını boşaltılmaktadır. Alternatif olarak kullanılan asit geri kazanım sistemleri ile eloksal banyosundaki alüminyum değeri azaltılarak banyo tekrar kullanılabilir hale getirilmektedir. İyon retardion yöntemi kullanılarak eloksal banyolarındaki alüminyum değeri azaltılmakta ve alüminyum Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> olarak atılmaktadır. Yapılan laboratuvar çalışmalarında asit geri kazanım atığı olarak elde edilen sıvı Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 'in atıksu arıtma tesislerinde koagülant olarak kullanılabildeği tespit edilmiştir. Ortalama %85-90 oranında geri kazanılan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'de eloksal kaplama banyolarında çok iyi performanslar ile çalışmaktadır. 5. Bölümde

anlatılan analiz yöntemlerinde yer alan formüller uygulanarak Çizelge 6.12'deki değerler elde edilmiştir. Eloksal banyosu içerisinde bulunan sülfürik asit miktarının ölçülmesinde kullanılan yöntemde yer alan 1 N NaOH, B simgesiyle belirtilmiş, alüminyum miktarının ölçülmesinde kullanılan yöntemde yer alan 1 N NaOH ise a simgesiyle belirtilmiştir. Çizelgede yer alan değerler alüminyum miktarı için yukarıda verilen standart değerler aralığında kalırken, sülfürik asit miktarı; eloksal banyosu 3 ve 4'te değerleri aşmaktadır. Bunun için Asit ve kostik geri kazanımı yapıldıktan sonra atıksu geri kazanımı yapılmaktadır.

**Çizelge 6.11. Eloksal Banyosu Analiz Değerleri**

	a	B	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Derecesi	Alüminyum Miktarı (gr/lt)
Eloksal Banyosu 1	24,8	18,5	181,30	11,34
Eloksal Banyosu 2	25,0	18,6	182,28	11,52
Eloksal Banyosu 3	25,7	19,7	193,06	10,80
Eloksal Banyosu 4	26,5	20,0	196,00	11,70

Deneyler sonucunda ve giderim verimlerine göre Asit geri kazanım Ünitesi kurulmuştur. Örnek Asit geri kazanım sistemi Şekil 6.5'te görüldüğü gibidir.

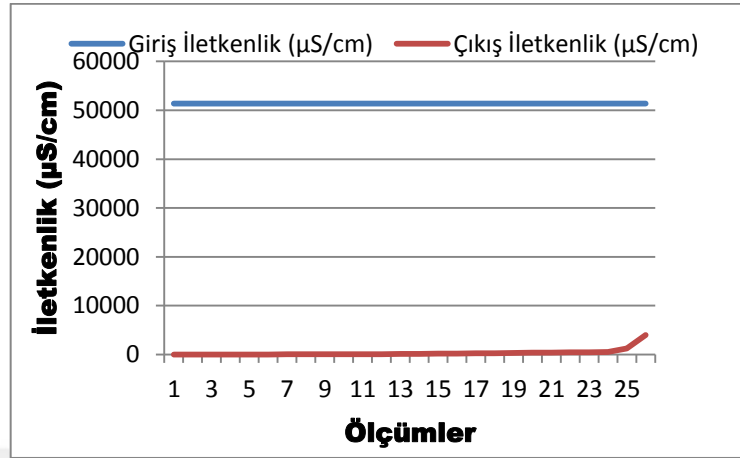


**Şekil 6.5. Asit Geri Kazanım Sistemi (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> geri kazanım sistemi)**

***Eloksal Durulama Banyolarından Durulama Suyu Geri Kazanımı:***

Alüminyum profiller, üzerlerinde kalan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'ün giderilmesi için eloksal durulama banyolarına daldırılmakta ve bu esnada durulama sularına H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kimyasalı karıştırılarak durulama sularının kirlenmesine sebep olmaktadır. Yapılan asit giderim çalışmaları ile durulama atıksuyundaki H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> değerinin % 89-99 arası giderildiği ve sistemden çıkan

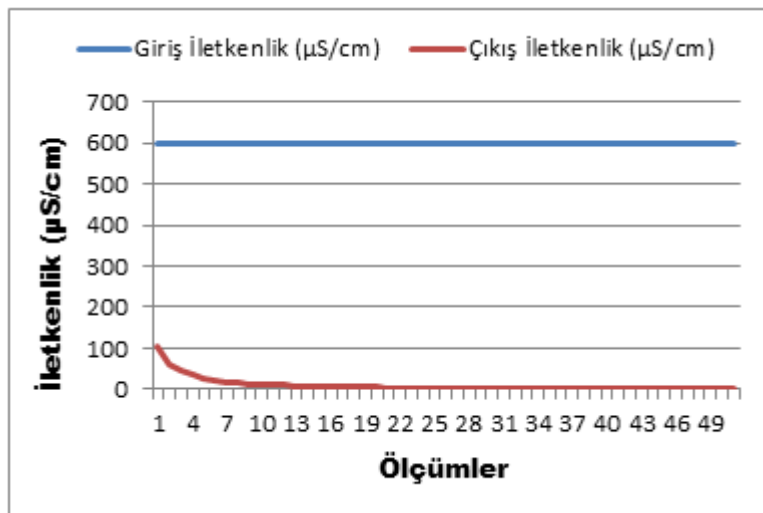
durulama suyunun tekrar eloksal durulama banyolarında kullanılabilirdiği görülmüştür. Sonuçlar Şekil 6.6 da verilmiştir. Çıkış iletkenlik değerlere <25 olduğu görülmüştür.



Şekil 6.6. Eloksal Durulama Banyosu Pilot Sistem Uygulaması Çıkış Sonuçları

#### **Renklendirme Durulama Banyolarından Durulama Suyu Geri Kazanımı:**

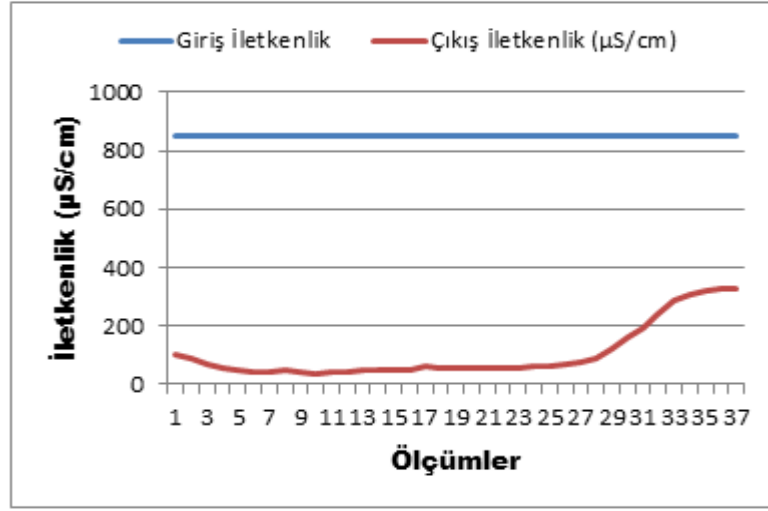
Alüminyum profillerin renklendirilmesi için, istenen renge göre krom kaplama, kalay kaplama veya nikel kaplama yapılmaktadır. Renklendirme kaplama banyoları asidik karakterde olup renklendirme durulama banyoları da asidik karakterdedir. Pilot sistem çalışmalarında durulama atıksularındaki kirlilik değerlerinin % 83-90 arası giderildiği ve sistemden çıkan suların durulama banyolarında tekrardan kullanılabilirdiği görülmüştür. Alüminyum tesislerinde üretim proseslerinde kullanılacak temiz suyun iletkenliği öncelikli parametredir. Sonuçlar Şekil 6.7’da verilmiştir.



Şekil 6.7. Kalay Durulama Banyosu Pilot Sistem Uygulaması Çıkış Sonuçları

### ***Tespit ve Soğuk Tespit Durulama Banyolarından Durulama Suyu Geri Kazanımı:***

Alüminyum profiller üzerinde eloksalın sabitlenmesi için, alüminyum profiller tespit banyolarında bekletilirler. Tespit banyoları 2000 µS değerinin üzerine çıktığı zaman banyolar boşaltılarak yeniden kurulmaktadır. Pilot sistem ünitesi ile yapılan çalışmalarda %89-%96 arasında bir verim ile tespit ve soğuk tespit durulama atıksularının geri kazanıldığı, bir iletkenlik giderimi sağlandığı görülmüştür. Sonuçlar Şekil 6.8’de verilmiştir.



**Şekil 6.8.** Soğuk Tespit Durulama Banyosu Pilot Sistem Uygulaması Çıkış Sonuçları

Yağ alma, sökme ve matlaştırma banyolarında ana kimyasal olarak NaOH, eloksal banyoların da ise H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılmaktadır. Çizelge 6.13’te görüldüğü üzere yağ alma, sökme, matlaştırma banyolarında NaOH ve alüminyum, eloksal banyolarında H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve alüminyum değerleri ölçülür. Bu banyolardaki NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve alüminyum değerlerinin Çizelge 6.13 ’te verilen sınırlarda olması istenir. Banyolarda alüminyum değeri, tespit edilen değer üstüne çıktığı zaman ürünlerin kalitesi bozulmakta ve enerji sarfiyatı artmaktadır. Sökme ve matlaştırma banyoları komple boşaltılmamakla birlikte alüminyum değeri arttığı zaman alüminyum çöktürülerek fazla alüminyum banyodan uzaklaştırılmaktadır. Fakat bu banyolarda kostik kaybı, kostiğin banyolara daldırılan profillerin üzerinde taşınarak durulama banyolarına geçmesiyle olmaktadır.

Eloksal banyolarında ise Al değeri 10-12 gr/L değerini geçtiği zaman ürün kalitesi bozulmakta ve banyo kullanılamamaktadır. Bu durumda ise banyonun komple boşaltılarak yeniden kurulması gerekmektedir.

**Çizelge 6.12.** İkincil Alüminyumdan Eloksal Kaplama Tesisleri Ana Banyo Değerleri

<b>Kimyasalın Adı</b>	<b>Banyo Kimyasal Değerleri</b>	<b>Banyo Çözünen Al Değerleri</b>	<b>Banyo Sıcaklıkları</b>
Sökme	NaOH:35-50 gr/L	Al:0-50 gr/L	35-50 °C
Matlaştırma	NaOH:35-55 gr/L	Al:140-240 gr/L	65-75 °C
Eloksal	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :150-190 gr/L	Al:5-12 gr/L	18-20 °C

Sonuç olarak; ikincil alüminyumdan eloksal kaplama tesisinde % 90 oranında H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> geri kazanımı ve atıksu geri kazanım sistemlerinin geri yıkama sularının da hesaba katılması ile toplamda % 58-70 oranında durulama banyolarından kaynaklanan atıksuların geri kazanılabildiği görülmüştür. Ayrıca geri kazanım sistemlerinden çıkan alüminyum içerikli atıklar ise atıksu arıtma sistemlerinde koagülant olarak kullanılabilir. Eloksal kaplama tesisi için kimyasal atıksu arıtma tesisi Şekil 6.9’da gösterildiği gibidir.



**Şekil 6.9.** Eloksal Kaplama Tesisi için Kimyasal Atıksu Arıtma Tesisi

## 7. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR



Bu çalışmada; alüminyum işleme ve kaplama endüstrisi atıksularının karakterizasyonlarının ve uygulanan arıtma yöntemine ek olarak uygulanabilecek ileri arıtım yöntemlerinin araştırılması yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda 1. Tesisteki üretim sonucu oluşan atıksuyun yeniden kullanılabilirliği için deminerilizasyon tesisinin kriterleri sağladığı görülmüştür. 2. Tesisteki üretim sonucu oluşan atıksu ve karakteri ve arıtım sonrası kirletici parametrelerin giderim verimi Çizelge 7.1’de ve Çizelge 7.2’de verilmiştir. Her iki tesiste de iletkenlik en önemli giderim parametresi olup iletkenliği düşürülmüş sularda kirletici parametreler de giderilmektedir.

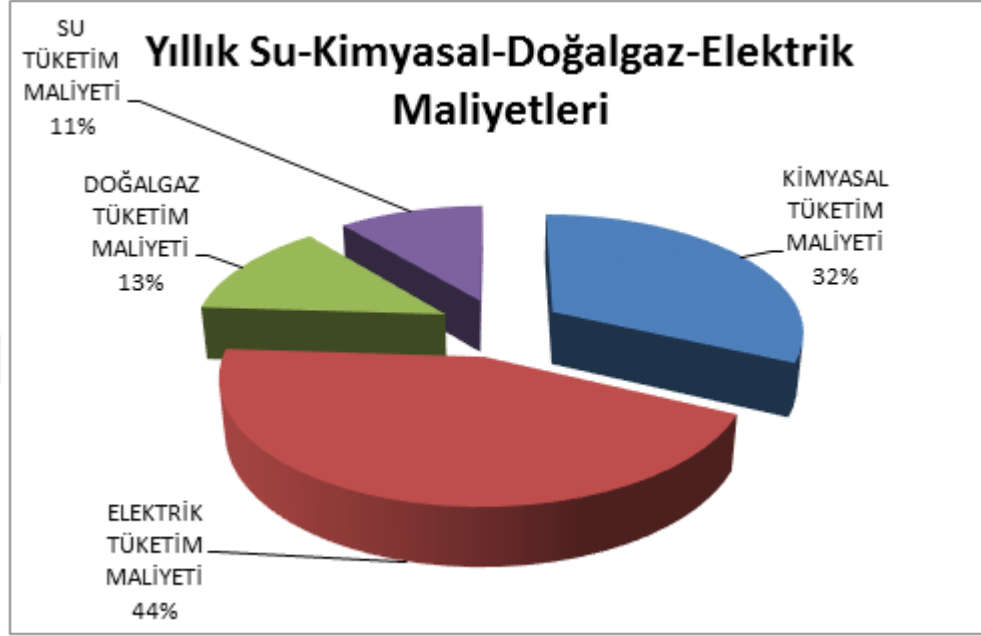
**Çizelge 7.1.** Birinci Tesis Tesis Kimyasal Arıtma Giriş ,Çıkışı ve İleri Arıtım (Yeniden Kullanılabilirlik) Değerleri Karşılaştırma Çizelgeleri

Parametre	Birim	Giriş Değeri	AAT çıkış suyu	Deminerilizasyon Sonrası Değerler	Yeniden Kullanılabilirlik
İletkenlik	µS	2250	2000	15	30
KOI	(mg/L)	187	87,96	45	<50
AKM	(mg/L)	<10	<10	<10	<10
Fe	(mg/L)	0,55	0,1	<0,1	<0,1
Al	(mg/L)	108,68	<2	<2	<2
pH	-	8,85	7,31	7,05	6-9

**Çizelge 7.2.** İkinci Tesis Tesis Kimyasal Arıtma Giriş ,Çıkışı ve İleri Arıtım (Yeniden Kullanılabilirlik) Değerleri Karşılaştırma Çizelgeleri

Parametre	Kim. Arıt. Giren (mg/L)	Kim. Arıt. Çıkan (mg/L)	Asit ve Kostik geri kazanım ünitelerinden çıkan	Atıksu Geri Kazanım Sonrası(eloksal durulama sonrası geri kazanımda)	Renklendirme Durulama Banyolarından Durulama Suyu Geri Kazanımı	Tespit ve Soğuk Tespit Durulama Banyolarından Durulama Suyu Geri Kazanımı:	Kimyasal Arıtım Sonrası Kurulan Membran Sistem (UF-RO)Sonrası Çıkış su değerleri
KOI	247	98	95	<95	<95	<95	<75
AKM	5716	114	102	<100	<100	<100	<50
pH	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9
İletkenlik, µs/cm	35000	20400	6100	<25	<49	<37	<15

Şekil 7.1’de ikincil alüminyumdan eloksal kaplama tesisinin kimyasal, su, elektrik ve doğalgaz sarfiyatlarının maliyet dağılımı görülmektedir. Bu maliyetler yüksekten düşüğe doğru elektrik > kimyasal > doğalgaz > su olarak sıralanmaktadır. Kimyasal ve atıksu geri kazanımı kullanılarak bu maliyetler düşürülebilmektedir.



**Şekil 7.1.** Örnek Bir Alüminyum Eloksal Kaplama Tesisi Yıllık Su-Kimyasal-Doğalgaz-Elektrik Maliyetleri

Çalışmada alüminyum işleme ve kaplama endüstrisi atıksularının karakterizasyonlarının ve uygulanan arıtma yöntemine ek olarak uygulanabilecek ileri arıtım yöntemlerinin araştırılması yapılmış olup çalışma sonucunda iki tesisin karşılaştırılması Çizelge 7.3’de verilmiştir. Paslanmaz çelik mutfak eşyası (tencere ve tava) ile yanmaz yapışmaz mutfak eşyası üretim tesisinin endüstriyel atıksu arıtma tesisinden çıkan atıksuları için yapılan atıksu kontrolü çalışmalarında analizlenen parametrelerin sonuçları, SKKY’nin ilgili sektörel bazda deşarj standartlarını sağlamakta, söz konusu bu tesisin verimli çalıştığını göstermektedir. Ancak incelenen tesiste atıksu arıtma tesislerinin deşarj atıksuyunda zaman zaman bu sektör için birinci derecede önemli fiziksel ve kimyasal parametrelerden KOİ, AKM ve alüminyum değerlerinin deşarj standartlarına yaklaşması, tesisin giriş ham proses atıksu karakterizasyon debisinin ve uygulanan arıtma yöntemlerinin daha ileri aşamalarıyla çalışılması sonucunu doğurmuştur. Yapılan analizler sonucunda atıksuyun istenilen düzeyde ileri derece arıtım ile arıtılabildiği ve 12 m<sup>3</sup>/gün olan atıksuyun 11 m<sup>3</sup>/gününün sürekli geri kazanılıp proseste

kullanılabileceği görülmüştür.

**Çizelge 7.3. İki Tesis için İleri Arıtım Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

<b>Karşılaştırma</b>	<b>1.Tesis</b>	<b>2.Tesis</b>
<b>Atıksu Miktarı</b>	12 m <sup>3</sup> /Gün	600 m <sup>3</sup> /Gün
<b>Sektörü</b>	Metal Sektörü Muhtelif Boyutta Paslanmaz Çelik Mutfak Eşyası Üretimi: 2.011.000 Kg/Yıl Muhtelif Boyutta Alüminyum, Yanmaz, Yapışmaz PTFE (Teflon) Kaplama Tencere Ve Tava Üretimi	Metal Sektörü Alüminyum Billet Ve Profil Üretimi (Eloksal Kaplamalı)
<b>Skky Tabi Olduğu Tablo</b>	Tablo 15.11- Metal Sanayii (Sırlama, Emayeleme, Mineleme Tesisleri)	Tablo 15.5-Tablo 15.6 Metal Sanayii (Elektrolitik Kaplama, Elektroliz Usulüyle Kaplama,Metal Renklendirme)
<b>Mevcut Arıtma Tesisi</b>	Fiziksel+Kimyasal Arıtma	Fiziksel+Kimyasal Arıtma
<b>Kullanılan Kimyasallar Ve Maliyeti</b>	FeCl <sub>3</sub> +Kostik+Poli	FeCl <sub>3</sub> +Kostik+Poli
<b>Kullanılan İleri Arıtım Yöntemi</b>	Deminerlizasyon	RO+UF
<b>İleri Arıtım Maliyeti</b>	75.000,00 €+KDV	1.200.000,00 €+KDV
<b>Yeniden Kullanılabilirlikte İletkenlik Değeri</b>	<30	<25

İkincil alüminyumdan eloksal kaplama tesisinde birim kimyasal sarfiyatları ile eloksal kaplaması yapılan ürün miktarı Çizelge 7.4'de verilmektedir. Çizelgede de görüldüğü üzere 1 kg NaOH (% 48) sarfiyatı ile 11,39-13,22 kg ürünün eloksal kaplaması yapılmaktadır. Aynı şekilde 1 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (% 98) sarfiyatı ile 18,02-21,69 kg ürünün eloksal kaplaması yapılmaktadır. Eloksal kaplama tesislerinde üretim miktarı arttıkça kullanılan NaOH ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> miktarı artmaktadır. Ayrıca matlaştırma ve eloksal banyolarında alüminyum değeri arttıkça enerji sarfiyatı da artmaktadır. Durulama ve tespit banyolarında ise su sarfiyatı yüksek olmamaktadır.

**Çizelge 7.4. İkincil Alüminyumdan Eloksal Kaplama Tesisi Birim Asit-Kostik Kimyasal**

## Sarfıyatı İle Gerçekleşen Eloksal Kaplama Üretim Miktarları

<b>Üretim (Kg)</b>	<b>Eloksal Tesisi 1</b>	<b>Eloksal Tesisi 2</b>
<b>Kimyasalın Adı</b>	<b>Kg Üretim/Kg Kimyasal</b>	<b>Kg Üretim/Kg Kimyasal</b>
NaOH (%48)	11,39	13,22
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%98)	18,02	21,69

İkincil alüminyumdan eloksal kaplama tesislerinde yapılan analizler sonucunda atıksuyun istenilen düzeyde ileri derece arıtım ile artırılabilirdiği ve geri kazanım sistemlerinin kullanılması ile hem çevreye daha az kimyasal içerikli atık ve atıksu verileceği, hem de durulama atıksularının geri kazanımı ile toplam su sarfiyatının azalacağı gözlemlenmiştir. Ayrıca ikincil alüminyumdan eloksal kaplama tesisinden atılan toplam atıksu miktarı düşeceği için çok daha küçük kapasitede atıksu arıtma sistemlerinin kurulabileceği ve bu sistemden çıkan arıtılmış atıksular için yapılacak geri kazanım sistemlerinin de çok daha küçük kapasitelerde olacağı için maliyetlerinin azalacağı görülmektedir. İkincil alüminyumdan eloksal kaplama tesislerinde yüzey kaplama/yüzey anodizasyon işlemi için asidik ve alkali kimyasalların ve ağır metallerin geri kazanılarak kaplama banyolarında yeniden kullanımının sağlanması ile firmaların kimyasal maliyetlerinde düşüşler olacağı yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür. Ayrıca atıksu geri kazanım yöntemlerinin uygulanması ile durulama banyolarının da geri kazanımı sağlanarak su ihtiyaçları azalacaktır.

Atıksu geri kazanımı sonucu sıfır deşarj ile hem çevre sularımızın kirlenmesi önlenmiş olacak hem de kullanım suyu ve arıtılmış atıksu bertaraf maliyetleri minimum düzeye indirilmiş olacaktır. Ancak tüketilen suyun özellikle Ergene havzasında kuyulardan temin edilmesi, maliyet açısından büyük bir tüketim maliyetine sahip olmayışı ne yazık ki atıksu geri kazanım sistemlerinin kurulmasını ve işletilmesini sanayici gözünde maliyetli bir duruma getirmektedir. Geri kazanım sistemlerinin işletim ve yatırım maliyetlerinin yüksek oluşuna, sistemin arıtılabilirliğine güvenememeleri de eklenince malesef geri kazanım sistemleri tercih edilmemektedir. Ayrıca geri kazanım sistemlerinin kurulması yasal bir mevzuat zorunluluğu olmadığından dolayı tesisler prosesleri için kuyu suyu temin etmeye devam etmektedirler. Ancak yüzey sularının tamamen tükenmesi, kuyulardan çekilecek su için metrelerce derine inilmesi, atıksu geri kazanım sistemlerinin yasal mevzuatlarda zorunluluk olarak dayatılması atıksuyun geri kazanımını vazgeçilmez bir şekilde zorunluluk haline getirecektir.

## KAYNAKLAR

- Akarsu C (2014). Elektrokoagülasyon Prosesi ile Endüstriyel Atıksu Arıtımı. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Türkiye.
- Alan S (2008). Alüminyum Raporu. Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği.
- Alinsafi A, Khemis M, Pons MN, Leclerc JP, Yaacoubi A, Benhammou A, Nejmeddine A (2005). Electro-coagulation of Reactive Textile Dyes and Textile Wastewater. Chemical Engineering and Processing, 44: 461-470
- Anonim (2013). Su Arıtma. Milli Eğitim Bakanlığı, 51s, Ankara.
- Anonim (2018). Alüminyum Ekstrüzyon Ürünleri (Profil)/ Yassı Ürünler / Döküm Ürünleri / İletken. <http://www.angelfire.com/al/aluminum/aluwebsayfam1.html> (erişim tarihi, 18.10.2018)
- Anonim (2018). Atıksu Evaporatör Sistemi. <http://www.hydrotur.com.tr/atıksu-evaporator-sistemi/> (erişim tarihi, 10.12.2018)
- Anonim (2018). Atıksu Evaporatör Sistemleri. <http://www.printwater.com/tr/evardy.html> (erişim tarihi, 10.12.2018)
- Anonim (2018). Demineralizasyon Sistemleri. <http://www.aktifarıtma.com/portfolio/demineralizasyon-sistemleri/> (erişim tarihi, 10.09.2018)
- Anonim (2018). Haddeleme. <https://tr.scribd.com/document/50897758/Haddeleme> (erişim tarihi, 17.10.2018)
- Anonim (2019). Atıksu Arıtma Yöntemleri. [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/7d16d00201083a2\\_ek.pdf](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/7d16d00201083a2_ek.pdf) (erişim tarihi, 30.01.2019)
- Anonim (2019). İleri Atıksu Arıtımı. [https://webdosya.cs.b.gov.tr/db/destek/editordosya/Bolum\\_6.pdf](https://webdosya.cs.b.gov.tr/db/destek/editordosya/Bolum_6.pdf) (erişim tarihi, 11.02.2019)
- Aran A (2007). Döküm Teknolojisi İmal Usülleri Ders Notları. İTÜ Makina Fakültesi, 106s, İstanbul.
- Arıcı Y (2000). Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boyarmaddelerden Kaynaklanan Rengin Fenton Prosesi ile Giderilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çapan L (2010). Metallere Plastik Şekil Verme. Çağlayan Kitabevi, 442s, İstanbul.
- Çopur A, Esmer A, Bilici A, Mergen A, Gülenç B, Car E, Nemli H F, Helvacıoğlu İ, Başer İ, Türker M, Çiğdem M, Erkan N, Şahin O, Sezgin T, Kutlukaya T, Tuğrul T, Ulucak T, Bilici U, İncesu Y (2000). Demir Döşö Metaller Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Ankara
- Dikmen F (1998). Tekstil Atıksularında Ozonla Renk Giderimi Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ekizoğlu D (2008). Demir III (Fe+3), Demir II (Fe+2), Bakır II (Cu+2), Seryum IV (Ce+4) İyonları Ve Buiyonların Karışımı İle Modifiye Edilmiş Zeolit Minerali Varlığında

Azo Boya Çözeltisinin Heterojen Foto Oksidasyonu.Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.

Günay D (2006). Alüminyum Sektörü Hakkında Bir Değerlendirme. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü.

İlhan F, Kurt U, Apaydin Ö, Arslankaya E, Gönüllü MT (2007). Elektrokimyasal Arıtım ve Uygulamaları: Katı Atık Sızıntı Suyu Çalışması. AB Sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetim ve Çevre Sorunları Sempozyumu, 4s, İstanbul.

Koyuncu İ (2018). Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 554s, Ankara.

Sawyer CN, McCarty P L (1978). Chemistry for Environmental Engineering. New York: McGraw-Hill Book Co. 519s, Singapore.

Temurtürkan Y, Kabukçu K S (2003). Sekonder Alüminyumun Sektöründeki Yeri ve Önemi. II. Alüminyum Sempozyumu ve Sergisi, 8s, Seydişehir.



## ÖZGEÇMİŞ

Hicran KAYA ... tarihinde .....doğdu.

