



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DERİ SANAYİ ATIKSULARININ ELEKTROKOAGÜLASYON İLE ARITIMI

UFUK DURMAZ

Ağustos 2018



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DERİ SANAYİ ATIKSULARININ ELEKTROKOAGÜLASYON İLE ARITIMI

UFUK DURMAZ

Yüksek Lisans Tezi

Danışman  
Prof. Dr. Fehiman ÇİNER

Ağustos 2018

Ufuk DURMAZ tarafından Prof. Dr. Fehiman ÇİNER danışmanlığında hazırlanan “DERİ SANAYİ ATIKSULARININ ELEKTROKOAGÜLASYON İLE ARITIMI” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Eyüp ATMACA Cumhuriyet Üniversitesi



Üye : Prof. Dr. Fehiman ÇİNER Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hamdi MURATÇOBANOĞLU Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun ....../...../20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

**Doç. Dr. Murat BARUT**

**MÜDÜR V.**

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ufuk DURMAZ



## ÖZET

### DERİ ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ELEKTROKOAGÜLASYON İLE ARITIMI

DURMAZ, Ufuk

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

:Prof. Dr. Fehiman ÇİNER

Ağustos 2018, 70 sayfa

Deri endüstrisi atıksuyu, yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), renk, yağ ve gres ile birlikte ciddi çevre sorunlarına neden olabilecek güçlü bir kirleticidir. Ayrıca bu endüstri, en yüksek su tüketen endüstrilerden biridir ve birçok ülkenin ekonomi sektöründe önemli bir rol oynar. Bu çalışmada, deri endüstrisi atıksuyunun elektrokimyasal yöntemlerden biri olan elektrokoagülasyon (EC) ile arıtılabilirliği deneysel olarak değerlendirilmiştir. Atıksu numunesi, Bor-Niğde'de bulunan Karma Organize Sanayi Bölgesindeki bir deri fabrikasından alınmıştır. Atıksuyun arıtılması, alüminyum elektrotlarla donatılmış, birbirine paralel bağlanmış elektrokimyasal bir kesikli reaktör ile gerçekleştirilmiştir. Alüminyum elektrot ile elektrokoagülasyon işlemini optimize etmek için pH, akım yoğunluğu ve çalışma süresinin etkisi analiz edilmiştir. Optimum çalışma koşulları belirlenmiş ve proses uygulanmıştır. Optimum şartlar altında Al elektrotlarla % 54 KOİ, % 72 AKM ve %39 TOK giderme verimleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, EC reaktörünün deri endüstrisi atıksularının arıtılmasında giderim verimliliği ve işletme maliyeti açısından arıtma için uygulanabilir bir seçenek olduğuna işaret etmektedir.

*Anahtar Sözcükler:* Deri, deri endüstrisi atıksuyu, elektrokoagülasyon, KOİ

**SUMMARY**  
**THE TREATMENT OF TANNERY WASTEWATER BY**  
**ELECTROCOAGULATION**  
**DURMAZ, Ufuk**  
Niğde Ömer Halisdemir University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

Supervisor : Professor Dr. Fehiman ÇİNER

August 2018, 70 pages

Tannery industry wastewater is a powerful pollutant that can cause severe environmental problems related to its high chemical oxygen demand (COD), oil and grease together with deep colour content. Besides this industry is known widely as one of the highest consumers of water as well as playing a key role in the economic sector of many countries. In this paper, treatability of leather tanning industry wastewaters by electrocoagulation (EC), as one of the electrochemical methods, was experimentally evaluated. The wastewater sample was taken from a leather factory of an Mixed Organized Industrial District in Bor-Niğde, Turkey. Treatment of the wastewater was carried out by an electrochemical batch reactor equipped with aluminum electrodes, which were connected parallel to each other. Effects of pH, current density and operating time were analyzed to optimize the electrocoagulation obtained results indicate that EC reactor is the applicable option to treat tannery industry wastewater in terms of removal efficiency and operating cost. process with aluminum electrode. The optimum operating conditions were determined and applied to the process. Under optimal values of process parameters 54 % COD, 72 % TSS, and 39 % TOC removal efficiencies with Al electrodes were obtained. The obtained results indicate that EC reactor is the applicable option to treat tannery industry wastewater in terms of removal efficiency and operating cost.

*Keywords:* Leather, tannery wastewater, electrocoagulation, COD.

## ÖN SÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, her alanda destek ve yardımlarını gördüğüm, yoğun çalışma temposuna rağmen tez çalışması boyunca ilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım ve değerli hocam Sayın Prof. Dr. Fehiman Çiner'e,

Laboratuvar sürecinin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Öznur Begüm Gökçek, Dr. Öğr. Üyesi Hamdi Muratçobanoğlu ve Erciyes Üniversitesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Ömür Gökkuş'a,

Yüksek lisans öğrenim hayatım boyunca laboratuvar aşamasında her türlü yardım ve desteğini gördüğüm Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Öğretim Üyelerine,

Bugünlere gelmem konusunda benden hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen, tez çalışmam boyunca her türlü fedakarlığı ve sabrı gösteren sevgili annem İlkin Durmaz ve sevgili aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmaya FEB 2015/30 numaralı proje ile finansal destek sağlayan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma, Projeleri Birimine ve çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
ÖN SÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xi
BÖLÜM I GİRİŞ .....	1
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi .....	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı .....	2
BÖLÜM II DERİ İŞLEME PROSESLERİ VE ATIKSU ARITIM TEKNOLOJİLERİ .....	3
2.1 Deri Endüstrisinin Genel Tanımı .....	3
2.1.1 Deri endüstrisinin Türkiye'deki yeri .....	3
2.1.2 Deri işlemede kullanılan hammadde ve ürünler .....	5
2.1.3 Deri işleme prosesleri .....	7
2.1.4 Deri sektörü – çevre ilişkisi .....	12
2.1.5 Deri işlemede su kullanımı ve atıksu özellikleri .....	14
2.2 Arıtma Alternatifleri .....	19
2.2.1 Fiziksel arıtım .....	20
2.2.2 Mekanik arıtım .....	20
2.2.3 Biyolojik arıtım .....	20
2.2.4 Elektrokimyasal işlemler .....	21
BÖLÜM III ELEKTROKOAGÜLASYON .....	25
3.1 Elektrokimyasal Prosesin Esasları .....	25
3.2 Elektrokoagülasyon Prosesinin Teorisi .....	28
3.3 Elektrokoagülasyon Prosesinde Verimi Etkileyen Faktörler .....	30
3.3.1 Akım yoğunluğu .....	30
3.3.2 Başlangıç pH'ı .....	31
3.3.3 Elektrot tipi .....	31
3.3.4 Elektrotların yerleşimi ve bağlantı tipi .....	32
3.3.5 İletkenlik .....	33

3.3.6 Reaksiyon süresi .....	34
3.4 Elektrokoagülasyon Teknolojisi .....	36
3.5 Yapılan Çalışmalar .....	37
<b>BÖLÜM IV MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>39</b>
4.1 Atıksu Karakterizasyonu.....	39
4.2 Tesisin Proses ve Kirlenme Profili .....	39
4.2.1 Proses profili.....	39
4.2.2 Kirlenme profili .....	40
4.3 Deney Düzenegi.....	41
4.4 Analitik Yöntemler .....	42
4.5. Hesaplamalar ve Kullanılan Eşitlikler .....	42
<b>BÖLÜM V DENEYSEL BULGULAR.....</b>	<b>45</b>
5.1 Elektrokoagülasyon Prosesi Üzerine pH'nın Etkisi.....	45
5.2 Elektrokoagülasyon Prosesi Üzerine Akım Yoğunluğunun Etkisi.....	48
5.3 Elektrokoagülasyon Prosesi Üzerine Zamanın Etkisi.....	51
5.4 Elektrokoagülasyon Prosesi Üzerine Enerji Tüketiminin Etkisi .....	54
5.5 Niğde Bor Karma OSB Atıksu Arıtma Tesisi Dengeleme ve Kimyasal Koagülasyon Çıkışı Atıksularına EC Uygulanması.....	54
<b>BÖLÜM VI SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>58</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>611</b>
<b>ÖZ GEÇMİŞ .....</b>	<b>69</b>
<b>TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER (MAKALE VE BİLDİRİ) .....</b>	<b>70</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Türkiye'deki deri işleme tesislerinin durumu.....	5
Çizelge 2.2. Deri endüstrisinde kullanılan su miktarlarının kullanıldıkları proseslere göre miktarları.....	14
Çizelge 2.3. Türkiye'deki deri organize sanayi bölgelerindeki ham atıksu değerlerinin karşılaştırılması.....	15
Çizelge 2.4. Tabakhanelerde kullanılan atıksu arıtma yöntemleri.....	19
Çizelge 3.1. Elektrokimyasal redoks reaksiyonları.....	25
Çizelge 4.1. Atıksu numunesinin karakteristiği.....	39
Çizelge 4.2. Tesise ait proses profili.....	40
Çizelge 4.3. Tesise ait kirlenme profili.....	40
Çizelge 5.1. Elektrokoagülasyon prosesinde başlangıç pH'nın etkisi.....	45
Çizelge 5.2. Elektrokoagülasyon prosesinde akım yoğunluğunun etkisi.....	49
Çizelge 5.3. Elektrokoagülasyon prosesinde zamanın etkisi.....	522
Çizelge 5.4. Dengeleme atıksuyunun 500 mg/L alüm ile koagülasyonu (Üst fazdan alınan numuneye EC uygulanmış).....	55
Çizelge 5.5. Dengeleme atıksuyunun 1000 mg/L alüm ile koagülasyonu (Üst fazdan alınan numuneye EC uygulanmış).....	56
Çizelge 5.6. Koagülasyon çıkışı atıksuyunun elektrokoagülasyonu.....	56
Çizelge 6.1. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Deri, Deri Mamulleri ve Benzeri Sanayilerin Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları.....	59

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Hayvan derisinin üretim kademeleri.....	13
Şekil 3.1. Elektrokimyasal hücrenin şematik görünüşü.....	26
Şekil 3.2. EC prosesinde meydana gelen reaksiyon basamakları .....	30
Şekil 3.3. EC prosesi elektrot bağlantı şekillerinin şematik görünümü.....	33
Şekil 4.1. Deney düzeneğinin şematik görünümü .....	41
Şekil 4.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan deney düzeneği .....	41
Şekil 5.1. KOİ, AKM ve TOK giderim verimliliği üzerine pH'nın etkisi.....	47
Şekil 5.2. KOİ konsantrasyonunun pH'a göre değişimi .....	48
Şekil 5.3. AKM konsantrasyonunun pH'a göre değişimi .....	48
Şekil 5.4. TOK konsantrasyonunun pH'a göre değişimi .....	46
Şekil 5.5. KOİ, AKM ve TOK giderim verimliliği üzerine akım yoğunluğunun etkisi .	50
Şekil 5.6. KOİ konsantrasyonunun akım yoğunluğuna göre değişimi .....	50
Şekil 5.7. AKM konsantrasyonunun akım yoğunluğuna göre değişimi .....	51
Şekil 5.8. TOK konsantrasyonunun akım yoğunluğuna göre değişimi .....	51
Şekil 5.9. KOİ, AKM ve TOK giderim verimliliği üzerine zamanın etkisi .....	52
Şekil 5.10. KOİ konsantrasyonunun zamana göre değişimi .....	53
Şekil 5.11. AKM konsantrasyonunun zamana göre değişimi.....	53
Şekil 5.12. TOK konsantrasyonunun zamana göre değişimi.....	54
Şekil 5.13. Giderim verimi ve enerji tüketimi üzerine zamanın etkisi .....	55
Şekil 5.14. OSB atıksu arıtma tesisi dengeleme ve kimyasal koagülasyon çıkış atıksularına uygulanan EC prosesinin KOİ giderimine etkisi.....	57

## SİMGE VE KISALTMALAR

Kısaltmalar	Açıklamalar
A	Aktif Anot Yüzey Alanı
AKM	Askıda Katı Madde
TAKM	Toplam Askıda Katı Madde
TKN	Toplam Azot
NH <sub>3</sub> -N	Amonyak Azotu
BOİ <sub>5</sub>	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
dak.	Dakika
DC	Direkt Akım
E	Elektrik Enerjisi
EC	Elektrokoagülasyon Prosesi
CC	Kimyasal Koagülasyon Prosesi
EF	Elektroflotasyon Prosesi
EO	Elektrooksidasyon Prosesi
F	Faraday Sabiti Ve 96485 C/Mol
I	Akım Şiddeti
J	Akım Yoğunluğu
m	Teorik Olarak Çözünen Metalin (Mol Olarak) Miktarı
MA	Pratikte Anot Elektrottaki Çözünme Miktarı
MA <sub>te</sub>	Anot Elektrottaki Teorik Çözünme Miktarı
MA	Molekül Ağırlığı
n	Çözünen Metalin İyon Yüğü
pH	Çözeltideki Hidrojen İyonu Konsantrasyonu
SKKY	Su Kalitesi Kontrol Yönetmeliğı
T	Sıcaklık
t	Zaman
U	Volt
V	Elektrolit Hacmi

# BÖLÜM I

## GİRİŞ

### 1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Endüstriyel gelişim sürecine bağlı olarak mevcut sanayi tesislerine her gün birçok yeni sanayi tesisleri eklenmektedir. Gelişen sanayi dallarına bağlı olarak da çeşitli kirleticiler yaşamımız için vazgeçilmez olan hava, su ve toprak ekosistemleri üzerine etkisini artırmaktadır (Şanlı, 2006).

İnsan yaşamı için vazgeçilemez ve yeri doldurulamaz bir unsur olan suların kullanıma uygun kısımları zamanla azalmaktadır. Tüm olumsuz gelişmelerin önlenmesi için su kirliliğinin ciddi bir şekilde kontrol edilmesi ve giderilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Atık suların içerdikleri organik unsurlar, alıcı ortamlarda bakteriler aracılığı ile ayrıştırılır. Organik maddenin çevrede bulunmasından çok parçalanma sonucu açığa çıkan türler kirliliğe neden olmaktadır (Öztekin, 2009). İçerdiği kirletici miktarı ve yapısı nedeniyle atıksularının arıtılması gereken bir sektör de deri endüstrisidir.

Deri üretimi, kumaş ve el sanatları endüstrileri ile ilişkili olarak, ilk çağlardan beri birçok ülkede çok önemli bir faaliyettir. Gelişmekte olan birçok ülkede büyük bir ekonomik girdiyi temsil eden deri endüstrisi, aynı zamanda ne yazık ki önemli bir kirlilik kaynağıdır (Elabbas vd., 2016).

Ham deri işleme işlemlerinden ortaya çıkan atıksu, kirlilik yükü ve atıksu hacmi ile arıtılması gereken atıksulardandır. İşlenmemiş hayvan derileri deri işletmelerinden farklı işleme süreçlerinden geçmekte olup, esas problem bu tesislerin atıklarının çevreye verdiği atıksu kirliliği yanında bir rahatsız edici koku problemi de vardır (Şanlı, 2006). Bu sebepten ötürü farklı yerlerde kurulmuş ve dağınık halde olan deri imalathanelerinin toplu olarak belli alanlarda kurulması ve buralara uygun arıtım teknolojilerinin entegrasyonunun sağlanması ile bu kuruluşlardan açığa çıkacak kirliliklerin daha kolay bir biçimde kontrol altına alınabilmesi ve bu kirliliklere kaynağında müdahale edilebilmesinin yanında arıtma maliyetlerini de düşürmesi açısından çok büyük öneme

sahiptir. Yüksek değerlerde kirletici madde içeren deri sanayi atıksularının alıcı ortamlara değarj edilmeden önce değarj kriterlerini sağlayacak Şekilde uygun arıtım teknolojileriyle arıtılmaları gerekmektedir (Gürbüz, 2015).

## **1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı**

Bu alışmada, Niğde Bor Karma Organize Sanayi Bölgesi'nden temin edilen deri endüstrisi atıksuyunun, alüminyum elektrotlar kullanmak suretiyle elektrokimyasal metotlardan biri olan elektrokoagülasyon ile arıtılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada elektrokoagülasyon ile bu atıksulardan KOİ, Toplam Organik Karbon (TOK) ve AKM giderimi üzerine; pH, elektriksel iletkenlik, akım yoğunluğu ve zaman gibi parametrelerin etkisi incelenmiş ve bir değerlendirme yapılmıştır.

## BÖLÜM II

### DERİ İŞLEME PROSELERİ VE ATIKSU ARITIM TEKNOLOJİLERİ

#### 2.1 Deri Endüstrisinin Genel Tanımı

Deri, canlıyı soğuğa, sıcağa, mekanik etkilere, zararlı ışınlara ve mikroorganizmalara karşı koruyan, beslenmek amacıyla hayvanların kesiminden sonra ortaya çıkan yan üründür. Geçmişte insanlar hayvanların etlerinden besin olarak yararlanmış, paleolitik çağlarda derinin mikroorganizma faaliyetleri sonucu kolayca bozulabildiğini fark etmişlerdir. Böylece başlayan deri işleme en eski sanayilerden biri olmuştur. Deri en eski giysi materyallerinden biridir. Günümüzde deri ürünlerinin insan sağlığına uygun olmaları, doğal görünümleri, prestij veya sosyal statü göstermeleri gibi nedenlerden dolayı kullanım alanı genişlemiş ve bu nedenle deri üretimi artmıştır (Çiçek, 2011).

Deri insanoğlunun ihtiyaçlarını gidermek amacıyla kullandığı ilk malzemelerden biridir. Deri işleme endüstrilerinde ham deri bir takım kimyasal ve mekanik işlemlerden geçirilerek kullanıma hazır hale getirilir. Dünyanın en büyük 3 deri üreticisi sırasıyla Çin, İtalya ve Hindistan'dır. Tabakhane, gelişmekte olan ülkelerde de Türkiye, Çin, Hindistan, Pakistan Brezilya ve Etiyopya gibi önemli bir ekonomik alanı temsil etmektedir (Lofrano vd., 2013). Buna paralel olarak, küresel deri endüstrisi, yaklaşık 40 milyar dolar değerinde tahmini bir değeri olan yaklaşık 18 milyar metrekare deri üretmektedir (Benhadji vd., 2011).

Deri, birbirini takip eden bir dizi proses sonunda ortaya çıkan nihai bir mamul üründür. Her bir proses, derinin farklı bir özellik kazanmasını ve bununla birlikte daha kullanışlı bir hale gelmesini sağlar. Deri işleme proseslerinde amaçlanan mamul tipine ve kullanılan teknolojiye bağlı olarak farklı miktarda katı ve sıvı atıklar oluşmaktadır. Atıkların özellikleri ve kirlilik yükleri, kullanılan kimyasal maddelerin nitelik ve niceliklerine göre değişiklik göstermektedir (DPT, 2007).

#### 2.1.1 Deri endüstrisinin Türkiye'deki yeri

Deri endüstrisi dünyada et ve et ürünleri pazarına rağbet devam ettiği sürece tüm yan kuruluşları ile birlikte önemi yadsınamayacak endüstri kollarından biri olarak varlığını

sürdürmeye devam edecektir. Kesimhanelerde ve diğer et kesimi yapılan yerlerde hayvanların kesilmeleri itibariyle elde edilen derilerin herhangi bir işlem uygulanmadan çevreye bırakılmasıyla oluşan çevre kirliliğinin, endüstriyel imkanlar kullanılarak işlenmeleri sonucu oluşacak kirlilikten fazla olduğu yapılan araştırmalar sonucu elde edilmiştir. Buna ilaveten deri sanayide işlenen ham derinin işlenmesi itibariyle kazandırdığı ekonomik yarar ve bu yararın tüketici ihtiyaçlarını karşılama niteliği sebebiyle, deri sanayi vazgeçilmesi zor olan sanayi kollarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Yılmaz, 2005). Deri sektörü, 1970'lerden bu yana Türk ekonomisinde giderek artan bir önem kazanmıştır. Sektör özellikle son 15-20 yılda gelişmesini hızla sürdürmüş ve yüksek tutarda deri ürünleri ihracatı gerçekleştirilmiştir. Son verilere göre ülkemizde aktif olarak yaklaşık 895 adet deri işletmesi bulunmaktadır (Bektaş ve Sarı, 2007; Tayyar ve Yapıcı, 2009; Sektör Raporları, 2016).

Türkiye'de deri ve deri ürünleri sektörü toplam ülke istihdamı içindeki %1.52'lik payı ve toplam imalat endüstrisi içindeki ortalama %3.3'lük payı ile ülkemizin onuncu büyük sanayi kolu olma niteliklerini sergilemektedir. Bavul ihracatının da getirisiyle birlikte deri ürünleri ihracatının genel ihracat içindeki yeri %10'a ulaşmıştır. Dünya deri işleme kapasitesindeki %22'lik payı ile Türkiye Dünya'nın 2. konumunda bulunmaktadır (Gürbüz, 2015).

Özellikle koyun / keçi derisinin işlenmesinde Türkiye, İtalya'dan sonra Avrupa'da ikinci, İtalya, Çin ve Hindistan'dan sonra dünyada dördüncü sırada yer almaktadır. Ayrıca Türkiye, 80 milyon adetlik yıllık işleme kapasitesiyle kürk üretiminde dünya lideridir (Karabay, 2008).

Genel anlamda Türkiye'nin sahip olduğu kurulu üretim kapasitesi çok yüksek olup, bütün Dünyada üretilen ham deri işleme kapasitesinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Ancak şimdiye kadar uygulanan yanlış politikalar ve yaşanan ekonomik krizler sonucunda kapasite kullanımı %30'lara kadar gerilemiş ve işletmelerin birçoğu atıl durumda kalmıştır (Çizelge 2.1) (DPT, 2007).

Türk deri işleme endüstrisinin uluslararası rekabetteki avantajları:

- Organize sanayi bölgeleri ve çevre dostu, teknoloji tabanlı üretim altyapısı

- Gelişmiş kimyasal endüstrisi ile yüksek kaliteli ürünler üretebilme becerisi
- Esnek üretim kapasitesi
- Ortalama kalite seviyesinin üstünde üretim kalitesi
- Dünyada işlenen küçükbaş hayvan (koyun/keçi vb.) derisi üretiminin %22' si Türkiye'de gerçekleşmektedir (Karabay, 2008).

**Çizelge 2. 1.** Türkiye'deki deri işleme tesislerinin durumu (Gürbüz, 2015)

Sıra No	İl	İlçe	Kurulan Tesis Sayısı	Çalışan Tesis Sayısı	Aritma Tesisi
1	Balıkesir	Merkez	5	5	Yok
		Gönen	60	30	Yok
2	Bolu	Gerede	120	60	Yok
3	Bursa	Merkez	80	50	Yok
		Mustafa Kemal Paşa	30	20	Yok
4	Çanakkale	Biga	48	-	Var
		Ezine	8	5	Yok
5	Denizli	Merkez	60	30	Yok
6	Gaziantep	Merkez	20	15	Yok
7	Hatay	Merkez	40	30	Yok
8	Isparta	Merkez	50	40	Yok
		Yalvaç	40	30	Yok
9	İstanbul	Tuzla	150	70	Var
10	İzmir	Menemen	100	40	Var
		Torbalı	4	3	Var
11	Kayseri	Develi	1	-	Var
12	Manisa	Merkez	40	20	Yok
		Kula	40	10	Yok
13	Niğde	Bor	60	40	Yok
14	Sakarya	Merkez	6	-	Yok
15	Tekirdağ	Çorlu	100	60	Var
16	Uşak	Merkez	300	50	Yok
17	Münferit Fabrikalar	-	10	10	Yok
18	Toplam		1372	618	

### 2.1.2 Deri işlemede kullanılan hammadde ve ürünler

Ham deri dünya üzerindeki en istisnai ürünlerden biridir. Onu diğerlerinden farklı kılan özellik, hammaddesinin, hayvan derisinin ve üretim sürecinin benzersiz niteliğidir. Ham hayvan derisinin giyim eşyası, ayakkabı veya diğer deri ürünleri üretmek için uygun bir işleme tabi tutulması için işlenmesi, büyük bakım ve işçilik gerektiren uzun ve zor bir süreçtir (Karabay, 2008).

Ham deri, hayvanın yüzülmesiyle elde edilen, koruma işlemi dışında işlem görmemiş, deri sektörünün temel girdisi olan organik materyaldir. Ham derileri çeşitli endüstriyel ve tüketim mallarında kullanmaya uygun maddeler haline dönüştürmek için deri işletmeleri kurulmuştur. Ham deri üretimi esas olarak et üretimiyle ilişkilendirilmektedir. Deri üretiminde kullanılan ham maddeler çoğunlukla memeli hayvan derileridir (<http://kazlicesme.blogspot.com>).

Sanayide işlenen deri çeşitleri, elde ettikleri hayvanın, yaş ağırlığına, deri alanına, hayvanın büyüklüğüne, kıl örtüsüne, deri kalınlığına göre gruplandırılır. Deri sanayinin hammadde kaynağı ve bunlardan çıkarılan deri türleri şöyle sıralanmaktadır.

- **Büyükbaş hayvan derileri:** Dana, sığır, boğa, manda, inek, at, deve vb. gibi hayvanların derilerinden elde edilen; kromlu kösele, kayışlık, kösele, taban astarı, vaketa, antilop, güderi ve rugan gibi ürünlerin hammaddesini oluşturur.
- **Küçükbaş hayvan derileri:** Kuzu, oğlak, ceylan, tiftik, keçi, koyun gibi hayvanların derilerinden elde edilen; maroken, vidala, astarlık, sahtiyan, güderi, napa, süet ve meşin diğer değerli derilerin hammaddesini oluşturur.
- **Sürüngen hayvan derileri:** Timsah, yılan, kertenkele vb.
- **Kürklük hayvan derileri:** Vizon, karagül, mink, porsuk, tavşan, tilki, samur, sincap, çinçilya, sansar vb.
- **Diğer hayvan derileri:** Su aygırı, fok balığı, köpek, kedi, kurt, ayı vb.

Büyükbaş ve küçükbaş hayvan derileri bu sektörün en önemli kaynağıdır (Kalafat, 2012). Deri konfeksiyon sanayinde, ayakkabı, saraciye ve her türlü giyim eşyasının üretiminde ayrıca mobilya üretiminde tercih edilen bir materyaldir. Deriyi çeşitli alanlarda kullanılabilir hale getirmek amacıyla uygulanan, fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilere karşı dayanıklı hale getirilmesi için uygulanan işlemler deri tabaklanması olarak adlandırılır (Çiçek, 2011).

Deri endüstrisinde ham deriler birçok işlem uygulanması sonucu mamul deri haline getirilmektedir. Bu işlemler sırasında birçok kimyasal madde, yardımcı madde ve su kullanılmaktadır. Kullanılan su ve kimyasal madde miktarı; deri çeşidine, kullanılan

teknolojiye ve tabakhanenin alet, ekipman durumuna göre değişmektedir (Öztekin, 2009; Özdemir vd., 2004).

### 2.1.3 Deri işleme prosesleri

Deri genel olarak üç bölümden oluşur: En üst kısmındaki deriye üstderi (epidermis) denir ve toplam deri kalınlığının %1' ini oluşturur. Üstderinin alt kısmına öz deri (corium) denir. Toplam deri kalınlığının %85' ini oluşturur. Derinin en alt tabakasına altderi denir ve toplam deri kalınlığının %15' ini oluşturur (Kalafat, 2012).

Deri işleme proses ve işlemleri;

- Kireçleme / kıl giderme
- Tabaklama (Sepileme)
- İkinci sepileme ve son işlemler

şeklinde özetlenebilir.

**Islatma-Yumuşatma:** Ham derinin mümkün olduğunca, hayvandan yüzüldüğü andaki özelliklerine getirmek ve kaybettikleri nemi yeniden kazandırmak üzere yapılan bir işlemdir. Bu nedenle ıslatılmış tuzlu deriler için 8-20 saat, kuru deriler için ise, 24-48 saat arasında beklemek gerekmektedir. Islatmada su sıcaklığı 20-30° C arasında olmalıdır. Bu işlem sırasında amaç deri üzerindeki kan, üre, dışkı ve çamur gibi maddeleri uzaklaştırmak, ölü derilerin büzülen liflerini açmak, saklama koşullarında ilave edilen tuzu uzaklaştırmaktır. Deriler su absorblayarak yumuşar ve temizlenirler. Islatma işleminin atıksuları dışkı, tuz ve kimyasal madde (biyosidler ve yüzey aktif ıslatıcılar) içermektedir (Mert, 2009; Çiçek, 2011)

“Islatma dolapları” olarak adlandırılan ünitelerde, derinin su içeriği yaklaşık olarak %65'e çıkarılmaktadır. Islatma aşamasında yüzey aktif maddeler (ıslatıcı) ile birlikte kullanılan bakterisitler, enzim, baz, tuz ve diğer kimyasallar; ham derinin üzerindeki mikroorganizmaların, kan, kir, tuz, çamur ve idrar gibi pisliklerin, suda çözünen ve daha sonraki işlemleri zorlaştıran yapılanmamış proteinlerin temizlenmesini sağlamaktadır (ÇŞB, 2016).

**Kıl Giderme ve Kireçleme:** Derinin üzerindeki kılların giderilmesi için kılı ve kıl köklerini tahrip edip, üst deriyi gevşeten ve çözünür deri proteinlerini de uzaklaştıran bir prostestir (Genç, 2015). Ham deriler kürklük deri olarak kullanılmayacaksa, kıl giderme ve kireçlik işlemi uygulanır. Bu işlemin amaçları şunlardır (Çiçek, 2011);

- Epidermisin kimyasalla yolla parçalamak, fibriller ve fibriller olmayan yapıları, kıl ve kıl köklerini uzaklaştırmak,
- Deri bünyesindeki doğal yağlarda lesitin, sefalin gibi erime noktası düşük olan yağları sabunlaştırarak deriden uzaklaştırmak,
- Deri proteini olan kolajen liflerine su girişi sağlayarak etkin bir şişme gerçekleştirmek,

Kıl giderme işlemi için, kireç ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), sodyum sülfür ( $\text{Na}_2\text{S}$ , zırnık), sodyum sülfürhidrat ve prosesi hızlandırmak amacı ile ise dimetilamin gibi kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Proses pervane veya dolaplarda, ıslatılmış deri ağırlığına göre %3-5 zırnık, %2-10 sönmüş kireç kullanılarak, 0.5-10 gün gibi çok geniş aralıklarda değişen sürelerde gerçekleştirilir (Şanlı, 2006).

Emülgatör ve antiseptiklerin de kullanıldığı bu proste derilerdeki yağlar da büyük miktarda giderilir. Dolap veya pervane her saat 5-15 dakika çalıştırılarak homojenlik sağlanır. Prosesin hızı kimyasal maddelerin konsantrasyonlarına, sıcaklığa ve karıştırmaya bağlıdır. Söz konusu faktörlerin ayarlanması ile kılın sadece deriden sökülmesi ve geri kazanılarak değerlendirilmesi de mümkündür. Yaygın uygulama kireçleme ile gevşetilen kıllar ve üst derinin daha sonra makineli bıçaklarla sökülerek giderilmesi ve sürekli akan su ile sağlanmaktadır. Kıl giderme ve kireçleme işlemi ile epidermal sistemin kimyasal yolla parçalanması sonucu deri yapıları sabunlaşır, deri proteinlerine su verilir ve etkili şekilde şişme sağlanır. Bu işlem sonucunda deri daha sonraki işlemlere, fiziksel ve kimyasal olarak hazırlanmış olur (Şanlı, 2006).

Kireçlik işlemi derilerin şişmesine ve pH 12 gibi yüksek alkaliliğe sahip olmasına neden olur. Kireç giderme aşamasında; pH değerinin ayarlanması, deri liflerinin peptitleştirilmesi ve derideki aşırı şişmenin düşürülmesi amaçlanmaktadır (<http://kazlicesme.blogspot.com>).

**Kireç Giderme ve Sama:** Kireç giderme işlemi 1,5 ila 2 saat arasında süren bir prosestir. Kıl gidermede kullanılan kireç, çözeltide asılı formda, kalsiyum sabunları halinde ya da deriye bağlanmamış deri lifleri arasında bulunur. Bu kireci uzaklaştırmak için amonyum klorür, amonyum sülfat gibi tuzlar kullanılmaktadır. Kireç giderme işleminde amonyum tuzlarının kullanılması bu sularda amonyak yükünün artmasına sebebiyet vermektedir (Gürbüz, 2015).

Kıl giderme işleminden hemen sonra yapılan sama işlemi, belirli pH düzeyinde, enzimlerin eriyebilen proteinleri parçalaması ve deriden uzaklaştırılması esasına dayanır. Enzimlerin çalışabilmesi için derinin optimum pH ve sıcaklıkta olması gerekmektedir. Bu yüzden bu işlemden önce kireç giderme yapılır (Genç, 2015).

Bu işlemler sonucunda deri daha temiz ve daha yumuşak bir yüzeye sahip olmaktadır. Yıkama işlemi sona erdiğinde deri üzerindeki bütün istenilmeyen maddeler ve kimyasallar uzaklaştırılmış olmaktadır (Mert, 2009).

**Yağ Giderme:** Hayvan derileri temel olarak proteinden oluşmakla birlikte, yağ da bulundurmaktadır. Genellikle küçükbaş hayvanların derileri oldukça fazla oranda lipid içermektedir. Bu ham yağlar deriden uzaklaştırılmazsa sonraki işlemlerde yağın hidrofobik karakterinden dolayı derinin verilen maddeleri homojen alması engellenebilir, bitmiş deri mamullerinde yağ kusmalarına boya ve finisajda lekeler ve krom lekelerine neden olabilir. Bunun yanı sıra, tabaklayıcı ve kimyasal maddelerin deriye nüfuz etmesi ve homojen bir şekilde dağılması mümkün olmaz (<http://kazlicesme.blogspot.com>; Genç, 2015).

Bundan dolayı, özellikle küçükbaş hayvan derilerindeki yüksek miktarlardaki doğal yağ, ham deriden, tabaklama işleminden önce giderilmelidir. Yağ alma için günümüzde genellikle yüzey-aktif non-iyonik maddeler kullanılmaktadır. Susuz ortamda yüzey aktif maddeler yağ molekülündeki hidrofobik gruba bağlanarak hidrofil hale getirilmektedir. Böylece suyla karışabilen moleküller su ilavesi ile yaklaşık bir saat süren bir prosesle emülsiyon haline getirilmekte, çok iyi bir yıkamayla büyük ölçüde sudan uzaklaştırılabilmektedir (Şanlı, 2006).

**Piklaj (Salamura):** Piklaj işlemi, ortamın asitleştirilerek derinin sepilemeye hazırlanması işlemidir. Ortamın asidik olması için formik asit, asetik asit ve sülfürik asit

gibi asitler kullanılır. Asidin deriyi aşırı şişirmesini engellemek için ise daha çok sodyum tuzları (sodyum klorür ve sodyum sülfat) kullanılmaktadır. Piklaj işlemi de sama işleminde olduğu gibi genel olarak dolaplarda yürütülür. Bunun yanı sıra mikserde de yapılabilir. Piklaj işlemi sırasında derinin hafif şişmesi kolajen protein elyafının ayrılmasını sağlar. Böylelikle sepi işleminin daha iyi gerçekleşmesini, kromun deriye daha iyi nüfuz etmesini sağlar (Özkan, 2008; Gürbüz, 2015).

Piklaj uygulaması, derinin uzun bir zaman boyunca derinin saklanabilmesi ve muhafaza edilmesi amaçlanarak yapılmaktadır. Bu işlemde derinin aşırı kabarmasını engelleyen etken salamura ve asitin karıştırılmasıdır. Piklaj genellikle birkaç saat içerisinde tamamlanan bir işlemdir (Gürbüz, 2015).

**Krom Tabaklama (Sepileme):** Ham derinin bozulmaz, sağlam yapılı hale gelmesi için teknik süreç ile mamul deriye dönüştürülmesi işlemine tabaklama denir. Tabaklama basamağına gelmiş deriler hala bozulabilir, kokuşabilir, kurduğunda sertleşip kırılabilir bir yapıdadır. Tabaklama işlemi ile bu sorunlar ortadan kalkmaktadır. Mamul deride istenilen özelliğe göre farklı tabaklama maddeleri ve farklı yöntemler kullanılarak farklı mamul deriler üretilebilmektedir. Tabaklama daha geniş anlamda deri proteinlerinin stabilize edildiği işlemler dizesidir (Öztekin, 2009; Kalafat, 2012; <http://kazlicesme.blogspot.com>; <http://dericilik.blogspot.com>).

Tabaklama; bozunabilir özellikte biyolojik bir materyal olan kolajenin fonksiyonel grupları ile reaksiyon verebilecek çeşitli kimyasal maddelerle doğal kolajen strüktürünün sağlamaştırılması ve mikrobiyal etkilere dayanıklı, kolay bozulmaz bir materyale dönüştürülmesi işlemidir (Kılıç, 2010). Tabaklama işlemi ham hayvan derilerini kullanıma hazır deri haline dönüştürür. Bu, deriden kalan et, yağ ve kılı gidermek, deriyi derinlemesine temizlemek, onun işlevsel özelliklerini ve birçok yönünü geliştirmek için çeşitli kimyasal ve mekanik işlemleri kapsar (Elabbas vd., 2016).

Krom tabaklama tuzları (genel olarak krom sülfat tuzları) günümüzde tabaklama prosesinde %80-90 oranında tabaklama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu proseste yalnızca 3+ değerli krom kullanılır. Cr<sup>3+</sup>'ün yerine başka herhangi bir kimyasal madde kullanılmaz. Çünkü diğer kimyasallar, Cr<sup>3+</sup> kadar kaliteli malzeme imal etme olanağı

sağlamamaktadır. Bazik krom sülfat tuzunun yaygın olarak kullanılmasının nedeni çevreye deşarjının daha kolay kontrol edilmesi ve çevreye daha az zarar vermesidir (Saydam, 1998). Kanserojen olarak bilinen 6+ değerlikli krom ( $Cr^{6+}$ ) deri üretim aşamalarında kullanılmamaktadır.

Bunlara ilave olarak alüminyum ve sentetik tanenler (akrilik esaslı maddeler), krom kullanımına karşı kullanılacak alternatif yollardandırlar. Kromla yapılan proste ayırlmış kolajen elyafın kromla arasında gerçekleşen reaksiyonunu daha basit hale getirmek için formik asit ve sodyum bikarbonat kullanılmaktadır. Bitkisel sepilme 3 ila 6 ay gibi sürelerde çoğunlukla havuzlarda ağır derilere uygulanırken bunun yanında kromla sepilme işlemi 4 ila 12 saat gibi bir zaman diliminde sonuçlanır (Şanlı, 2006).

**Sıkma, Yarma, Tıraşlama:** Krom sepisinden çıkan deri başlangıçta merdaneler arasından geçirilip sıkılır ve fazla suyu alınır. Nemli deri daha sonra üniform bir kalınlığa getirilmek üzere yarma makinasına verilir. Deri yeterince kalınsa bu işlem sonucunda ayrılan ve yarma deri olarak adlandırılan iç kısmı süet vb. türde işlenmiş deri yapımında kullanılır. Yarma sonrasında asıl deride kalan yarma bıçağının almadığı etli kısımlar tıraşlama işlemi ile giderilir. Tıraşlama ile deri istenilen kalınlığa getirilebilir. Tıraşlama artıkları ise krom talaşı olarak adlandırılır (Şanlı, 2006).

**Nötralizasyon:** Kromla sepilenen derilerdeki asiditeyi kontrol etmek ve genellikle anyonik olan yağlama ve dolgu maddelerinin deriye islenmesini sağlamak amacı ile deriler, sodyum bikarbonat, sodyum formiyat, tiyosülfat ve polifosfatlar gibi maddelerle işlem görerek yaklaşık 5 -5.5 pH'a sahip hale getirilirler (Şanlı, 2006).

**İkinci Tabaklama (Retenaj):** Derinin kalitesini arttırmak için ikinci sepilme işlemi yapılmaktadır. Birinci sepilme işlemi ile her ne kadar kollajen lifleri arasında stabil bağlar oluşturulursa da, ikinci sepilme işlemiyle yeterli büyüklükteki krom kompleksleri ile tamamen doldurulmuş bir yapı oluşturulmaktadır. Böylece, deriler daha fazla dolgunluk ve yumuşaklık kazanmaktadır (Özkan, 2008).

**Boyama/Son işlemler (Finisaj):** Boyama işleminin amacı derinin görünümünü iyileştirmek ve ticari değerini arttırmaktır. İkinci sepi çözültisi boşaltılarak, dolaba sulu

çözeltilerde boya verilerek deriler boyanır. Boyama işleminde genellikle asidik ve direkt boyalar kullanılır (Şanlı, 2006).

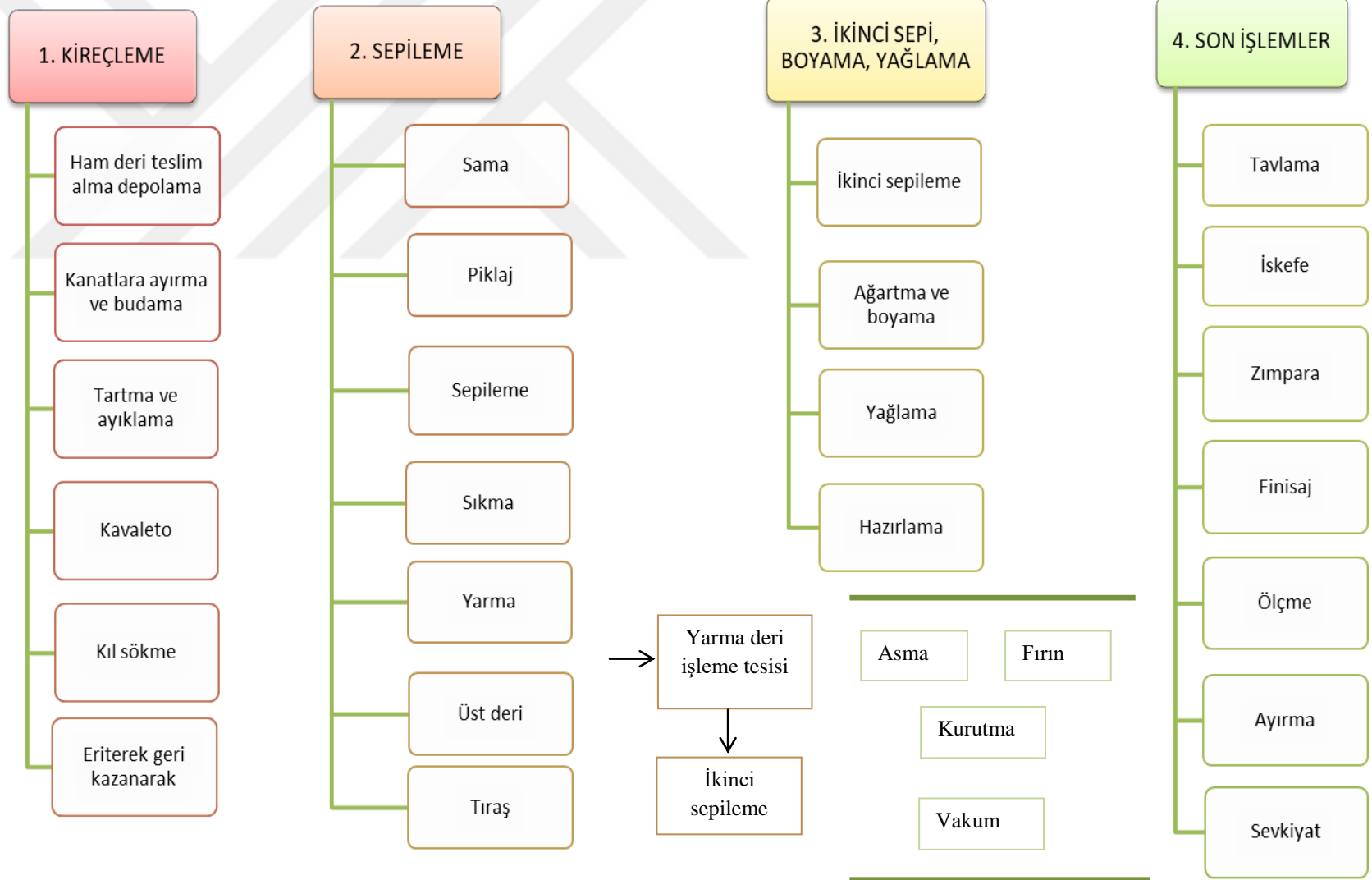
Yağlama işlemi sülfonasyon, sülfıtasyon veya sülfatasyona uğratılmış ya da oksitlenmiş bitkisel veya hayvansal yağ çözelti veya emülsiyonları ve diğer yağlama maddeleri ile gerçekleştirilir. Bu maddeler derinin kaybettiği doğal yağların yerine geçerek deriye yumuşaklık, esneklik ve dayanıklılık verir (<http://kazlicesme.blogspot.com>; Şanlı, 2006).

Son işlemlerde, deri atıksu oluşturmıyan bir dizi işleme tabi tutularak işlenmiş deri haline getirilir. Son işlemler, işlenen derinin kalitesine göre değışmekle birlikte kurutma, tavlama, iskefe, gergef, budama ve finisaj işlemleridir (Şanlı, 2006).

#### **2.1.4 Deri sektörü – çevre ilişkisi**

Diğer sanayi kollarında olduğu gibi, deri sanayi de ekolojik açıdan tüm dünyada çok sıkı bir şekilde gözlem altına alınmıştır. Çünkü ham deri mamul hale dönüştürülürken, amaçlanan mamul tipine ve kullanılan teknolojiye bağılı olarak hacmi ve kirlilik yükü değışen katı, sıvı ve gaz formunda atıklar açığa çıkmaktadır (DPT, 2001). Bu sebeple deri üretiminin toplu arıtma tesislerine sahip organize deri sanayi bölgelerinde gerçekleştirilmesi tercih edilmektedir. Buna ek olarak gerek yeni ve çevre ile uyumlu üretim teknolojileri ve gerekse arıtma teknolojileri konularında dünyada yoğun araştırma, çalışma ve iyileştirme çalışmaları sürdürülmektedir (Çelik, 2014).

Deri endüstrisi atık suları çok yüksek miktarda kirletici içermektedir. Başlıca kirleticiler; yüksek miktarlarda tuzluluk, organik madde (KOİ, BOİ<sub>5</sub>), organik azot ve amonyak, özel kirleticilerden (sülfür, krom) oluşmaktadır. Deri endüstrisi atıksularında kirlilik tanımlanırken kullanılan parametreler; KOİ, BOİ<sub>5</sub>, yağ-gres, tuz, organik maddeler, pH, katı maddeler (AKM ve top. çöz. madde gibi), sıcaklık, sülfür, krom, amonyak (NH<sub>3</sub>), antraks germleri olarak sıralanmaktadır. Deri üretiminde oluşan atık suyun miktarı ve kirletici çeşitliliği, üretim alt kategorizasyonu ile yakından ilgilidir. Şekil 2.1'de hayvan derisinin üretim kademeleri gösterilmektedir (Gürbüz, 2015).



Şekil 2.1. Hayvan derisinin üretim kademeleri (Gürbüz, 2015)

## 2.1.5 Deri işlemede su kullanımı ve atıksu özellikleri

Deri endüstrisinde oluşan sıvı atıklar, endüstriyel atıksuların en önemlileri arasında yer almaktadır. Deri atıksularının oluşturduğu kirletici parametreler krom (VI), toplam krom, KOİ, BOİ, AKM, sülfür, yağ ve grestir (Özdemir, 2004; Öztekin, 2009).

Ham derinin mamul haline getirilmesi esnasında büyük hacimlerde su (30-80 m<sup>3</sup>/1 ton ham deri) kullanılmaktadır. Bu suların kullanım amaçları:

- Ham derilerin ıslatılması ve yıkanması,
- Kimyasal maddelerin deriler ile temasını sağlayacak bir ortam oluşturmak,
- Boyama-yağlama proseslerinde kullanılan kimyasal maddelerin taşınması,
- Uygulanan prosesler sonucu istenmeyen kalıntıların deriden uzaklaştırılması,
- Üretim alanlarının ve donanımın temizliği.

1 ton ham derinin işlenmesi için 20-75 m<sup>3</sup> suya ihtiyaç duyulmaktadır. Deri endüstrisinde su; yıkamada, üretim proseslerin de, derinin cinsine, işlemlerin dolap veya havuzlarda gerçekleşmesine bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik göstermekte olup, bu nedenle literatürde geniş su kullanım aralıkları verilmektedir (Şanlı 2006). Çizelge 2.2’de deri endüstrisinde kullanılan su miktarları verilmektedir (Gürbüz, 2015).

**Çizelge 2.2.** Deri endüstrisinde kullanılan su miktarlarının kullanıldıkları proseslere göre miktarları (Gürbüz, 2015)

Proses	Su Kullanımı			
	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama
	m <sup>3</sup> /gün	m <sup>3</sup> /gün	m <sup>3</sup> /ton ham deri	m <sup>3</sup> /ton ham deri
Islatma	13.5- 22.5	18	3-4	3.5
Kireçlik	18- 31.5	22.5	4-7	5
Kireç Giderme	9- 18	13.5	2-4	3
Salamura	3.6- 6.75	4.5	0.8- 1.5	1
Sepileme	5.5- 6.9	6.2	1-2.5	1.75
Yıkama Ağartma Nötralizasyon İkinci Sepi Boyama Yağlama Yağ Çıkarma	7.5-15	13	1.6- 3.3	2.45
<b>Toplam</b>	<b>57.1 - 100.65</b>	<b>77.7</b>	<b>12.4 - 22.3</b>	<b>16.7</b>

Çizelge 2.3'te dört farklı deri sanayi bölgesinden alınan ham atıksulardaki kirletici parametre değerleri verilmiştir. Bu değerlere bakıldığında deri işleme potansiyel çevre kirliliği yaratan bir endüstri olarak tanımlanabilir. Özellikle kıl giderme işleminin sonucunda ortaya çıkan sülfürlü atıksu ve tabaklama işlemi sonucunda oluşan kromlu atıksu yüksek kirlilik değerleri oluşturmaktadır. Bu da hem çevre hem de insan sağlığı açısından büyük risk taşımaktadır.

**Çizelge 2.3.** Türkiye'deki deri organize sanayi bölgelerindeki ham atıksu değerlerinin karşılaştırılması (Şanlı, 2006)

Parametre	İstanbul Deri OSB		Çorlu Deri OSB		Biga Deri OSB		Manisa Deri OSB	
	Ort mg/L	Aralık mg/L	Ort mg/L	Aralık mg/L	Ort mg/L	Aralık mg/L	Ort mg/L	Aralık mg/L
TKOİ	5094	3235-7420	4947	2513-8781	4850	3180-6270	4465	3520-4590
ÇKOİ	2336	1040-3810	1770	1284-3125	2150	1320-2950	945	640-1240
BOİ <sub>5</sub>	1760	600-2600	-	-	-	-	-	-
TAKM	2229	1470-3474	2239	1000-4740	2175	1365-2975	2145	1470-2895
UAKM	1050	540-1215	1131	650-1540	-	-	845	605-1230
TKN	358	112-640	214	208-220	265	195-325	-	-
Org. N	223	102-347	119	84-159	120	76-172	-	-
NH <sub>3</sub> -N	135	48-245	95	56-136	145	65-185	-	-
Top. P	-	-	8.6	3.4-22.3	7.2	4.2-10.5	3.25	2.83-3.5
TCr	115.6	58-213	168	84-236	65	45-92	34.8	21.5-59.4
S <sup>-2</sup>	51	17-110	52	10-121	50	26-82	20	10.2-24
Alkalinite	1350	797-1818	665	259-1132	490	345-725	790	750-820
Klorür	10300	6370-12800	7601	6150-9060	-	-	3465	3049-4249
pH	8.1	6.4-9.98	8.4	6.41-10.1	8.3	7.35-9.74	7.25	6.45-7.68

Tabakhane atık suyundaki yüksek tuz ve hidrojen sülfür konsantrasyonları suyun kalitesini olumsuz etkiler ve kötü tat ve kokuya neden olabilir. Kıl ve kireç gibi süspansiyon halindeki maddeler yüzeyi bulanıklaştırır ve sonunda su altında kalır, bu da sudaki yaşam için olumsuz koşullar yaratır. Krom, ciddi bir çevresel kirletici olarak kabul edilir, çünkü sulu fazda, mangan dioksit yüzeyi ile Cr (VI) arasındaki etkileşim yoluyla okside edilebilir. Topraktaki krom ( $Cr^{3+}$ ) birkaç yıl sonra yayılabilir ve mangan oksidasyonu varlığında toprakta oksidasyon gözlenmiştir. İnorganik Cr (III), buğday ve pirinç tahıllarının bulunduğu alkali topraklarda biyolojik olarak kullanılabilir. Dolayısıyla kromun insanoğluna aktarılması gıda zinciri ile olur (Benhadji vd., 2011).

20. yüzyıla kadar deri üretiminde, yağ, şap ve bitkisel tanenler kullanılırken; 20. yüzyıl başında tabaklama işleminde krom tuzlarının kullanılmaya başlanması ile deri üretimi tamamen değişmiştir. Krom tuzlarının kullanılması ile birlikte proses süresi kısaltılmış, derinin ısıya, ışığa, yırtılmaya karşı dayanıklılığı artırılmış; deriye, yumuşaklık ve mükemmel boyanabilirlik kazandırılmıştır. Günümüzde tabaklanan derilerin %80-90'ının tabaklanmasında krom tuzları kullanılmaktadır (ÇŞB, 2016).

Daha az kirletici arıtımı olmasına rağmen, krom tabaklama elde edilen derinin yüksek kalitesi nedeniyle en çok kullanılan teknik olarak kalacaktır. Deri endüstrisi atıksuları, çeşitli organik ve inorganik kimyasalların karmaşık bileşimi ve yüksek konsantrasyonları nedeniyle önemli çevresel problemleri artırır (Elabbas vd., 2016; Lofrano vd., 2013). Ayrıca bu kirleticilerin insan sağlığı üzerindeki zararlı ekotoksikolojik etkileri, kanserojenitesi açısından incelenebilir (Dasgupta, 2015).

Bazik krom sülfat tuzları uygulama kolaylığı, kolay temin edilebilirliği ve kaliteli deri üretimine olanak sağlaması gibi olumlu nedenlerden dolayı pratikte en yaygın olarak kullanılan tabaklama maddeleridir. Günümüzde, dünyada uygulanan tabaklama yöntemlerinin %90'ı krom tabaklama maddesi ağırlıklıdır. Bu kadar yaygın olarak kullanılan kromun klasik tabaklama işlemi sırasında sadece %40'ı ham deriyle reaksiyona girmekte ve reaksiyona girmeyen krom ise sıvı ve katı atıklar ile birlikte çevreye deşarj edilmektedir (Ludvik, 2000).

Biyolojik işlemlerin günümüzde en çevre dostu olduğu bilinmekle birlikte, tabakhane atıksuyundaki kompleks organik maddelerin ve mikro kirleticilerin uzaklaştırılması için verimsiz olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle gelişmiş oksidasyon prosesleri ve membran prosesleri gibi gelişmekte olan teknolojiler, bu anlamda biyolojik arıtmaya entegredir (Orhon vd., 1999; Lofrano vd., 2013).

Katı atıklar; budama, etleme, yarma, tıraş, zımpara ve kenar alma gibi işlemler sırasında ortaya çıkan tabaklanmış ya da tabaklanmamış deri parçaları ve tozları ile diğer atıklardan oluşmaktadır. Bu katı atıkların miktar olarak %3-5'inin tabaklanmış deri, %30'nun tabaklanmamış deri, bunların dışında %20 oranında kelle, kuyruk, bacak gibi kıllı ham deri atıkları ile birlikte toplam olarak bu değer %50-55'e ulaştığı belirtilmektedir.

Sıvı atıklar ise; prosesler sırasında kullanılan kimyasal maddelerin deri tarafından alınmayan kısımlarından, su ve çözülmüş protein ürünlerinden oluşmaktadır. Üretim proseslerinde oldukça fazla su kullanılması, bir taraftan arıtılması oldukça zor ve pahalı olan önemli miktarda sıvı atık oluşturmakta, öte yandan da değerlendirmesi ve imha edilmesi çok değişik yöntemleri gerektiren farklı karakterde katı atıklar ortaya çıkmaktadır.

Deri sanayiinin atık sularının arıtılmadan alıcı ortama boşaltılması, deşarj noktasının yakın çevresinde dipte çamur birikmesine neden olur. Bu çamur birikintilerinin ayrışması sonucu kötü koku ve gazlar açığa çıkmaktadır. Atıksudaki organik maddeler, krom ve sülfür bileşikleri, çözeltide ve çamurda kimyasal oksidasyon sonucu büyük bir oksijen tüketimine sebep olurken, alıcı ortamın çözülmüş oksijen konsantrasyonunu da azaltır. Sudaki ve çamurdaki kirleticilerin ayrışması sonucu suda istenmeyen tat, koku meydana geldiği ve su kalitesinin kötüleştiği görülür (DPT, 2007).

Bugün, deri işleme endüstrisi her çeşit ham ve yarı işlenmiş hayvan derilerini vidala, yarma, yarma süet, napa, küçükbaş vidala, güderi, kösele, şirvet gibi işlenmiş deri çeşitlerine veya bunların üretimindeki ara ürünlere veya bunların üretimindeki ara ürünlere tekabül eden yarı işlenmiş deriye dönüştüren kuruluşları kapsar. Bu kuruluşlar üretimlerinde kireçleme / kıl sökme, sepilme ve sepilenmiş derilerin işlenmiş deriye dönüştürüldüğü son işlemlerden bir kısmına veya tamamına yer verirler (Şanlı, 2006).

Deri endüstrileri yüksek konsantrasyonlu kirleticiler ile sıvı atıkların üretiminden sorumludur çünkü proses adımlarının çoğu sulu ortamda gerçekleştirilir. Son yıllarda deri teknolojilerindeki değişimler nedeniyle farklı tabakhanelerde yapılan proses adımlarına göre deri atıksuyunun nasıl analiz edileceğinin bilinmesi gerekir (Gutterres vd., 2015).

Günümüzde tabaklama prosesinin her aşamasında çıkan atıksular dengeleme tanklarında bir arada karıştırılmakta ve biyolojik arıtmadan önce ön işleme tabi tutulmaktadır. Bununla birlikte, proste kullanılan birçok bileşiğin karışımı, geleneksel işleme tabi tutulduktan sonra bile atıksuda kaldıkları ve organizmaları ve çevreyi olumsuz etkileyen ya da nitrifikasyon işlemini engelleyebildiği için çevreye bırakılmamalıdır. Deri tabaklama atıksuyu, yüzey sularında da büyük bir köpürme problemiyle ilişkilendirilmiştir (Lofrano vd, 2013).

Arıtılmamış atık su yüksek miktarda KOİ, BOİ, tuz ve proste kullanılan kimyasal maddeleri içerir (Endüstriyel Emisyon Direktifi, 2013).

Deri endüstrisinde su tüketiminin yanı sıra çeşitli kimyasallar da kullanılır. Deri üretimi için kullanılan başlıca kimyasallar; kireç, sodyum ve amonyum tuzları, yağlar, bakteri ve mantar öldürücü ilaçlar, tanen, boyalar vb. olup, deri endüstrisi atıksuları organik ve inorganik kirleticiler ile aşırı şekilde kirlenir. Bu, yüksek tuzluluk, organik yüklenme, inorganik madde, çözünmüş ve askıda katı madde, amonyak, organik azot ve özel kirleticiler (sülfür, krom ve diğer toksik metal tuzu artıkları) içeren atıksularda ağır kirlilik yaratabilir. Sığır, koyun, keçi ve domuz derilerinin toplam küresel miktarlarının ıslak tuzlu ağırlık olarak yılda neredeyse  $8 \times 10^6$  ton olduğu, dünya çapında tabaklama işletmelerinde  $4 \times 10^6$  ton kimyasal kullanıldığı ve  $3 \times 10^8$  tonun üzerinde atıksu ve yaklaşık  $8 \times 10^6$  ton katı atık ve susuzlaştırılmış çamur üretildiği bildirilmiştir (Şengil vd., 2009).

BOİ ve KOİ yükünün yaklaşık %75'i, kıl gidermeden gelen ana yük ile kireçlik tankında üretilmektedir. Kireçlik / kıl giderme aynı zamanda toplam katı maddenin ana üreticisidir (yaklaşık %60). Toplamda kireçlik emisyonları toplam katı maddenin %90'ına katkıda bulunur. Kireçlik tankı durulamadan kaynaklanan atıksu ile birlikte toplanır. Bu sular deri parçaları, kir, kan, hayvan pisliği (yüksek BOİ ve TKM), aşırı

kireç (kireçlenme işlemine bağlı olarak) ve sülfidler içerir. Yüksek tuz içeriğine ve alkaliliğe sahiptir (Endüstriyel Emisyon Direktifi, 2013).

Ham veya yarı mamul derilerin ticari mallara dönüştürülmesinde kullanılan asitler, alkaliler, krom tuzları, taninler, çözücüler, sülfidler, boyalar, yardımcı maddeler ve diğer pek çok bileşik deri tarafından tamamen tutulamaz ve atıksuda kalır. Genel olarak tabakhane atıkları organik azot olmak üzere azot bakımından zengindir fakat fosfor bakımından çok zayıftır. KOİ deri atıksuyu karakterizasyonunda en yaygın kullanılan parametre olmasına rağmen, bu atıksulardaki klorürler ve sülfürlerin yüksek konsantrasyonu KOİ analizini önemli ölçüde etkileyebildiği için TOK analizi, KOİ analizinden daha güvenilirdir (Lofrano vd.,2013).

## 2.2 Arıtma Alternatifleri

Literatür incelemelerine dayanarak, tabakhane atık su arıtımında basitten gelişmiş karmaşık yöntemlere kadar birçok süreç gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler, biyolojik arıtma (aerobik ve anaerobik arıtma), fiziko-kimyasal arıtma, iyon değişimi, membran filtreleme ve elektrokimyasal sistemleri içerir (Deghles, 2016). Bu yöntemlere Çizelge 2.5'te kısaca değinilmiştir.

**Çizelge 2.4.** Tabakhanelerde kullanılan atıksu arıtma yöntemleri (Endüstriyel Emisyon Direktifi, 2013)

Mekanik ön arıtım	Hayvansal yağların, yağ ve gresin giderilmesi ve çöktürülmesinden (sedimentasyon) oluşur.
Fiziko-kimyasal arıtma	Oksidasyon, çökeltme, çöktürme, yüzdürme, atıksu dengeleme ve nötralizasyonu içerir. Temel olarak organik maddeyi sülfid, krom ve son tabaklama işlemlerinden uzaklaştırmak için uygulanır.
Biyolojik arıtma	Biyolojik havalandırma veya filtrasyon ile uygulanır. Yüksek organik içerik azaltılır. Azot deşarj sınırları sıkı olan ülkelerde nitrifikasyon / denitrifikasyon adımını da beraberinde getirir.
Çökeltme	İkincil sedimentasyon, çamuru arıtılmış sudan ayırmak için kullanılır. Karıştırma ve dengeleme deposundan çıkan birincil çamurun yanı sıra biyolojik arıtmadaki fazla çamur toplanır ve bir çamur deposunda işleme tabi tutulur.

### **2.2.1 Fiziksel arıtım**

Atıksu içindeki kirleticilerin kimyasal yapılarının bozulma veya parçalanma gibi değişimlere uğramadan fiziksel olarak giderilmesi işlemine fiziksel arıtım adı verilir. Filtrasyon ve adsorpsiyon en çok tercih edilen fiziksel arıtım prosesleridir.

Filtrasyon, fiziksel bir sıvı katı ayırma işlemidir. Sıvı veya gaz içerisinde bulunan kirletici parçacıkların filtre içerisindeki dolgu malzemesinden geçerek arıtılmasıdır. Atom, iyon, ya da moleküllerin bir katı yüzeyinde tutulması olayına ise adsorpsiyon denmektedir (Topal, 2015).

### **2.2.2 Mekanik arıtım**

Izgara ve elekler yardımıyla iri süspansiyon katı maddeler ayrılabilir. Daha sonraki ünitelerde oluşabilecek tıkanmaları önlemek amacıyla, deri, et, yağ ve kıl parçacıklarının %40-60'ı ızgaradan geçirme ve eleme sırasında tutulur. Küçük tesislerde 3 mm çapında delikli ve eğimli bir şekilde elle temizlenebilen ızgaralar kullanılmaktadır. Büyük tesislerde ise ızgara kanalı mekanik olarak temizlenmektedir. Izgaralarda tutulan kıllar geri kazanılabilir. Geri kazanım yapılmayacaksa yakmak ya da gömmek gerekir (Özkan, 2008).

### **2.2.3 Biyolojik arıtım**

Biyolojik arıtım, atıksuyun içinde askıda veya çözülmüş halde bulunan organik maddelerin bakteriler tarafından parçalanması ve çökebilen biyolojik yumaklarla sıvının içinde kalan veya gaz olarak havaya kaçan sabit inorganik bileşiklere dönüşmesidir. Biyolojik arıtımın esası organik kirleticilerin doğada yok edilmeleri için yer alan biyolojik yumaklaştırma ve mineralleştirme süreçlerinin kontrolü ile çevrede ve en uygun koşullarda tekrarlanmasıdır. Böylece doğadaki tepkimelerinin hızlandırılarak daha kısa bir sürede, güvenli ortamda gerçekleştirilmeleri sağlanmaktadır. Biyolojik arıtım sistemleri havalı (aerobik) ve havasız (anaerobik) olarak sınıflandırılırlar (Topal, 2015).

Deri endüstrisi atıksuları damlatmalı filtrelerle arıtılabilir. Bunun için ön arıtmadan geçmiş deri atık suları ile 1:2 veya 1:1 oranında seyreltilerek kullanılmalıdır. Biyolojik filtrelerin çalışmasında kireç ve diğer alkali bileşikler, sülfürler, +3 değerlikli krom tuzları ters etkiler oluşturabilirler. Bu nedenle atık suyun biyolojik filtrelere verilmesinden önce, alkali bileşikleri ve krom bileşiklerinin sudan uzaklaştırılması gerekir.

Deri atık sularının arıtılmasında aktif çamur metodu da kullanılabilir. Ön arıtmadan sonra atıklar evsel atık suyla 1:2 veya 1:1 oranında seyreltilmelidir. Eğer atıksu yüksek konsantrasyonlarda kireç içeriyorsa uzun süre havalandırılmalıdır. Deri atık sularından patojenik bakterileri uzaklaştırmak için klorlama yapılır. Kalsiyum hipoklorit veya klor gazı dezenfeksiyon maddesi olarak kullanılır. Kalsiyum hipoklorit kullanıldığında çok daha fazla karmaşık cihazlar gerekmektedir. Klor gazı kullanımı içinde yetişmiş personele ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanılacak dezenfeksiyon maddesinin miktarı ve temas süresi atığın özelliklerine ve uygulanan arıtmanın derecesine bağlıdır (Şengül, 1991; Nakiboğlu, 2005; Özkan, 2008; Genç, 2015).

#### **2.2.4 Elektrokimyasal işlemler**

En fazla kirliliğe maruz kalan hayatın temel bileşenlerinden biri sudur. Sanayileşme, atıksu oluşumunu ve çeşitliliği artırmıştır. Alıcı ortam deşarj standartlarının sıkılaştırılması, daha etkili ve giderim verimi yüksek ileri atıksu arıtım proseslerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Özellikle toksik ve tehlikeli atıksuların arıtımında pratikte kullanılabilecek ileri atıksu arıtım proseslerinden en önemlisi “elektrokimyasal atıksu arıtım prosesleri” olarak göze çarpmaktadır. Bu teknik, yiyecek atıksularını, katranlı petrol atık suyunu, içme suyu kalitesine getirecek şekilde arıtmak için kullanılır (Özden, 2016; Karabayır, 2011).

Son zamanlarda hem su hem de atıksu arıtımında elektrokimyasal arıtım metodları, kolay elde edilebilmeleri, basit işletme şartları ve yüksek etkinlikleri sebebiyle kullanımları yaygınlaşmaktadır.

Kimyasal arıtım metotları, nispeten daha az verimle çalışırlar ve bu yüzden aynı dönüşüm verimini elde etmek için daha uzun bir reaksiyon süresine ve dolayısıyla daha büyük hacimlere ihtiyaç duyarlar (Yılmaz, 2009).

Elektrokimyasal arıtma yöntemleri; içme suyu arıtımı, evsel atıksu, tekstil atıksuları, restoran atıksuları, boyalı atıksular, mezbaha atıksuları, süt endüstrisi atıksuları, sızıntı suları, kağıt endüstrisi atıksuları, deterjan atıksuları ve maden atıksuları arıtımında basit ve verimli bir yöntem olarak uygulanmaktadır (Mollah vd., 2001; Chen, 2004).

Elektrokimyasal metotların kullanıldığı birçok arıtım prosesi mevcuttur ve dünyanın çeşitli bölgelerinde hali hazırda endüstriyel ölçekte kullanılmaktadır. Bu metotlar arasında elektrokoagülasyon, elektrodializ ve elektroflotasyon gösterilebilir (Yılmaz, 2009).

#### Elektrooksidasyon (EO)

Çözünmeyen metal/metal oksit elektrotlar (Pt/Ti, Ti/Ru/Ir, Ni/Ti/Ga, çelik gibi) ile ortamdaki kirleticilerin okside olduğu proses elektrooksidasyon prosesi olarak adlandırılır. Elektrooksidasyonda en iyi sonuçların metal oksit anotlarla alındığı bildirilmiştir. RuO<sub>2</sub>, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve MnO<sub>2</sub>, titanyum bazı üzerine uygulanması ile oluşturulan anot, diğer anotlara oranla daha iyi katalitik aktivite gösterir. Bunun yanında, kurşun ve grafit anotlar da çok iyi sonuçlar vermektedir. Elektrotların bulunduğu ortam çok önemli olup, iki tip oksidasyon söz konusudur. Bunlar anodik (direkt) ve dolaylı (indirekt) oksidasyondur.

İdeal bir elektrooksidasyon prosesinde, arıtma veriminin yüksek, yeni teknolojilere adaptasyona açık olması ve en önemlisi arıtım sonucu oluşan ürünlerin hiçbirinin toksik olmaması gerekir. Kirleticilerin elektrooksidasyondan oluşacak ikincil ürünlerin biyolojik ayrışabilirliğinin mümkün olmasının yanı sıra uygun deşarj standartlarını da sağlaması gerekmektedir (Özden, 2016).

### Elektroflotasyon (EF)

Atıksu arıtımında en fazla kullanılan bir diğer elektrokimyasal arıtım prosesi elektroflotasyondur. Elektroflotasyon, proses süresince reaktör içerisinde elektrolitik şartlarda üretilen hidrojen ve oksijen gaz kabarcıklarının çözültiden ayrılması istenen kolloidal partiküllerin su yüzeyine doğru taşınması ve yüzeyde toplanması işlemidir (Akbaş, 2014; Özden, 2016).

Bu yöntemde elektrolitten elektrik akımı geçirildiğinde elektrotlarda oluşan hidrojen ve oksijen gazları kolloidlere yapışarak, bu kolloidleri sıvı yüzeyine taşımaktadır. Yüzeydeki köpük, köpük sıyrıcılar aracılığı ile alınabilmektedir. Temelde suyun elektrolizinden üretilen hidrojen ve oksijen gazlarının küçük hava kabarcığı şeklinde su kütlesinin yüzeyine doğru hareketi sırasında kirleticilerin de yüzmesini sağlayan bir süreçtir. Elektroflotasyon yöntemi, endüstriyel atıksuların arıtımının yanısıra evsel atıksuların arıtımında da kullanılmaya başlanmıştır. Atıksu arıtımında ön arıtım veya ikincil arıtım, evsel suyun arıtımında ise üçüncül arıtım birimi olarak kullanılabilir (Topal, 2015).

Bu kabarcıklar 5-100 µm çapında olup, oldukça yüksek dispersiyona sahiptir. Elektrot yüzey alanına bağlı olarak kabarcıkların sayısı 10-20 milyon/cm<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Bu işlemin yapıldığı reaktörlere elektroflotatör adı verilmektedir. Elektroflotatör yüzeyinde toplanan yumaklar köpük sıyrıcılar yardımıyla sıyrılarak filtrasyona gönderilir. Elektroflotasyonun verimi; oluşan kabarcıkların hacmine ve sayısına, oluşan kabarcıkların boyutu ise; akım yoğunluğu, elektrot cinsi ve şekline bağlıdır. Akım yoğunluğu, elektrot materyali, pH ve sıcaklık değiştirilerek kabarcıkların sayısı ve büyüklüğü kontrol edilebilmekte olup, bu sayede elektroflotasyonun hızı arttırılabilmektedir.

Elektroflotasyon; yağ-su emülsiyonları, metal kaplama atölyeleri, mandıra, konserve, yemek üretim, çiftlik, kağıt, restoran, tekstil, boya, kimya, deri endüstri atıksularının arıtımında kullanılmaktadır. Gemi sintine ve güverte atıksularının arıtımında da kullanılmaktadır. Ayrıca; maden cevherleri ve atıklarından değerli metallerin eldesi ve geri kazanımı; deniz suyundan magnezyum eldesi, radyoaktif ve toksik metal atıksuların

arıtımı, biyoteknolojide bir kısım maddelerin eldesi ve ayrılma işlemlerinde de kullanılmaktadır (Özden, 2016).

### Elektrokoagülasyon (EC)

Elektrokoagülasyon prosesi koagülasyon, adsorpsiyon, flotasyon ve oksidasyonun eş zamanlı olarak meydana geldiği ve son yıllarda gelişmiş ülkelerde endüstriyel atıksuların arıtımında yaygın olarak kullanılmaya başlanan bir yöntemdir. Kimyasal madde ilavesi olmadığı için ikincil kirlilik problemi ile karşılaşılması, basit ekipman, daha az iş gücü ve daha küçük alanlarda uygulanabilir olması tercih edilmesinin başlıca sebeplerindendir (Akbaş, 2014).

Elektrokoagülasyon prosesi, atıksudan kontrollü olarak elektrik enerjisi geçirilerek kolloidlerin, süspansiyonların ve emülsiyonların destabilize edilmesi, böylece stabil çözelti oluşturularak atıksudan ayrılması prensibine dayanmaktadır. Proseste anotun çözünmesi ile metal iyonları açığa çıkmakta ve bu metal iyonlarının oluşturduğu metal hidroksit floklarının koagülasyon, adsorpsiyon ve çöktürme proseslerini gerçekleştirmesiyle kirletici giderimi sağlanmaktadır (Akbaş, 2014; Sabuncu, 2014).

EC sulu ortamda istenmeyen askıda katı maddeleri ve çözünmüş partikülleri elektroliz ile verimli bir şekilde gideren elektrokimyasal bir tekniktir (Danacı, 2012). Elektrokoagülasyon prosesi Bölüm III'te ayrıntılı olarak incelenmiştir.

## BÖLÜM III

### ELEKTROKOAGÜLASYON

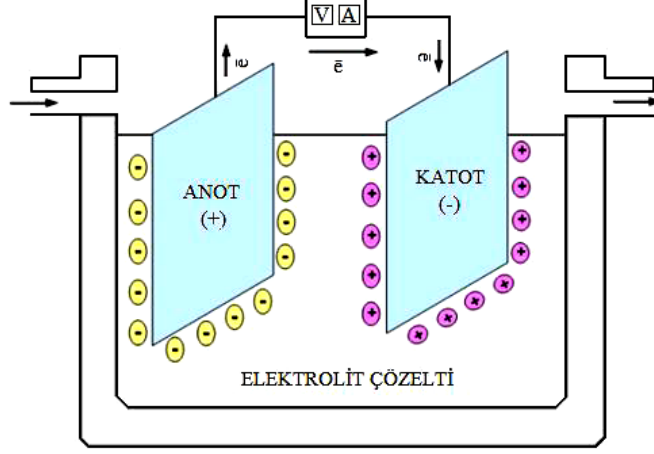
#### 3.1 Elektrokimyasal Prosesin Esasları

Türkiye’de ve dünyada özellikle endüstrinin gelişmesi ile birlikte endüstriyel atıksu arıtımı gün geçtikçe daha büyük bir sorun haline gelmektedir. Üstelik her geçen yıl artan nüfusa ve endüstriye oranla atıksular büyük oranda artış göstermektedir. Bu atıksu artışı ve alıcı ortam deşarj standartlarının sıkılaştırılması, daha etkili ve giderim verimi yüksek ileri atıksu arıtım proseslerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Özellikle toksik ve tehlikeli atıksuların arıtımında pratikte kullanılabilecek ileri atıksu arıtım proseslerinden en önemli olanı “elektrokimyasal atıksu arıtım prosesleri” olarak göze çarpmaktadır. Elektrokimyasal arıtım yöntemi günümüzde evsel atıksularda, atık yağların, boyaların, askıda katı maddelerin, sızıntı sularında organik madde atıklarının, sentetik atık suların, ağır metallerin gideriminde ve suların deflorinasyonu gibi birçok dalda uygulanmaktadır (İlhan, 2006; Özden, 2016; Karagözoğlu ve Malkoç, 2017).

Elektrokimyasal tepkimeler, elektrolitten göç eden iyonik bileşiklerin anotta ve katotta yükseltendiği veya indirgendiği heterojen iyon transferi tepkimeleridir. Anot ve katotta genellikle metal, karbon veya bir yarı iletken elektrot kullanılmaktadır (Geboloğlu, 2010). Bir elektroliz hücresinin anot ve katotta gerçekleşen reaksiyonları Çizelge 3.1’de, şematik görünüşü Şekil 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Elektrokimyasal redoks reaksiyonları (Scott, 1995)

Anot Reaksiyonları	Katot Reaksiyonları
<ul style="list-style-type: none"><li>• Anot elektron verir.</li><li>• Anotta yükseltgenme olur.</li><li>• Anotta çözünme olur (<math>Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-</math>)</li><li>• Anyonlar anotta toplanır.</li><li>• Anolit bölge oluşur.</li><li>• Anotta oksijen çıkışı gözlenir: <math>2H_2O + 4e^- \rightarrow O_2(g) \uparrow + 4H^+</math></li><li>• Ortamda klorür iyonu var ise anotta klor çıkışı gözlenir: <math>Cl^- - 2e^- \rightarrow Cl_2(g) \uparrow</math></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Katot elektron alır.</li><li>• Katotta indirgenme olur.</li><li>• Katotta birikme olur (<math>Cu_2^+ + 2e^- \rightarrow Cu</math>)</li><li>• Katyonlar katotta toplanır.</li><li>• Katolit bölge oluşur.</li><li>• Katotta hidrojen çıkışı gözlenir: <math>2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2(g) \uparrow + 2OH^-</math></li><li>• Ortamdaki çözünen gaz indirgenir: <math>O_2(g) \uparrow + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O</math></li></ul>



**Şekil 3.1.** Elektrokimyasal hücrenin şematik görünüşü (Güney, 2013)

Elektrokimyasal proseslerin avantajları; katı, sıvı ve gazlarda bulunan ve kirlilik oluşturan bileşenlere uygulanabilirlik, seyreltik ya da derişiklik, direkt veya indirekt indirgenme ve yükseltgenme, mikrolitreden tonlarca litredeki hacimlere sahip miktarlara uygulanabilme özelliği olarak sayılabilir. Bu prosesler, diğer arıtım proseslerinde gerekenden daha düşük sıcaklık gerektirmesi, elektrotlar ve hücrelerdeki yan reaksiyonlarda, voltaj düşmesi veya akımın homojen dağılmaması durumunda meydana gelen güç kayıplarını en aza indirmenin mümkün olması gibi avantajlara da sahiptir. Bunun yanında elektrokimyasal proseslerin ortamdaki elektrolit ve elektrot ara yüzeyindeki heterojen reaksiyonlar üzerinden gerçekleşmesinden dolayı, elektrodun yüzey büyüklüğü ve kütle transferinin sınırlı olması verimini etkilemektedir (Güney, 2013).

Elektroliz işlemi sırasında devreden geçirilen elektrik miktarı ile elektroliz nedeniyle oluşan kimyasal maddeler arasındaki bağıntı, Faraday Yasası olarak bilinmektedir. EC prosesinde Fe veya Al anot elektrotların çözünerek çözeltilere iyonların geçişi bu yasa ile ifade edilir (Mollah vd., 2004). Elektrokimyasal arıtma proseslerinde Faraday'ın Elektroliz yasası ve bu yasadaki elde edilen eşitliklerden sıkça yararlanılmaktadır.

Faradayın 1. yasası: Bir elektrolitik hücrede elektrotlarda oluşan (uzaklaştırılan) madde miktarları, hücreden geçen elektrik yükü miktarı ile doğru orantılıdır.

Faradayın 2. yasası: Seri halde bağlı farklı elektrolitler içeren elektroliz hücrelerinden geçen belirli miktarda elektrik yükü için her bir maddenin kimyasal eşdeğerlikleri ile

doğru orantılı miktarda madde oluşur (Topal, 2015). Aynı elektrik miktarı, birden fazla farklı elektrolit çözeltilerden geçtiği takdirde elektrotlarda bir eşdeğer gram maddenin ayrılması için 96496 amper saniye ya da kulona (96485 kulon) ihtiyaç vardır. Bu miktara “1 faraday” denir (Özgürses, 2003).

Faraday kanunu esas alınarak elektrokoagülasyon prosesinde kullanılan eşitlikler elde edilmektedir. Bir elektrokimyasal hücreden geçen akım miktarı “q”, akım süresi “t” ve akım şiddeti “I” ile ifade edilirse bunlar arasındaki ilişki (3.1) aşağıdaki şekilde belirtilir.

$$q = f(d.I.t) \quad (3.1)$$

3.1 eşitliği Faraday kanunu ile ifade edilirse çözünen madde miktarı gram olarak aşağıdaki eşitliği

$$m = \frac{q}{n.F} = \frac{I.t}{n.F} \quad (3.2)$$

şeklinde yazılır. Bu eşitlikte; n: çözünen metalin tesir değeri, F: Faraday sabiti ve 96485 C/mol değerine eşittir.

Son yıllarda önem kazanan elektrokimyasal prosesler endüstriyel alanda yoğun olarak kullanıma geçmemekle birlikte endüstriyel atıksuların arıtılmasına yönelik olarak laboratuvar ve pilot ölçekli çalışmalar bulunmaktadır (Doğan, 2011). Elektrokimyasal prosesler 3 gruba ayrılırlar. Bunlar;

- Elektrokimyasal oksidasyon,
- Elektroflotasyon
- Elektrokoagülasyondur.

Elektrokimyasal proseslerde kirletici parametrelerin giderim yöntemi adsorbsiyon, oksidasyon, çöktürme ve flotasyon şeklindedir (İlhan, 2006). Atıksu arıtımında yararlanılan elektrokimyasal prosesler, birlikte veya ayrı ayrı bir sistem içerisinde kullanılabilirler. Elektrokimyasal atıksu arıtım proseslerini birbirinden ayıran en önemli

özellik kirleticilerin giderilmesini sağlayan elektrokimyasal prosesin şekli ve yapısıdır. Bu durumu belirleyen kullanılan elektrotların özellikleridir (Kırlaroğlu, 2008; Özcan, 2013).

### **3.2 Elektrokoagülasyon Prosesinin Teorisi**

En yaygın olarak kullanılan elektrokimyasal proses elektrokoagülasyondur. Aynı zamanda belirli ölçüde elektroflotasyon da olduğundan dolayı kirletici giderim verimi üst düzeydedir. Bu verim çeşitli işletme şartlarının optimizasyonu ile daha da artırılabilir (İlhan, 2006).

Elektrokoagülasyon karmaşık bir arıtım prosesidir. Bu durumun temel nedeni elektrokoagülasyon prosesinin, elektrokimya, koagülasyon, oksidasyon ve flotasyon mekanizmalarına dayalı olarak gerçekleşmesidir. Bu mekanizmaların her biri kendi içinde pek çok çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Elektrokoagülasyon prosesinin güvenilir bir arıtma teknolojisi olabilmesinde, çalışmaların hedef kirletici odaklı yürütülmesi büyük önem taşımaktadır (Holt vd., 2005).

Elektrokoagülasyon prosesi ile arıtma uygulamasının esasları koagülasyon ve elektroliz işlemlerine dayanır. Koagülasyon su ortamındaki koloidal partiküllerin net yüzey yükünün azaltılması sonucu elektrostatik itme kuvvetleriyle sıkıştırılarak bir araya getirilmesidir. Bu amaçla kimyasal koagülasyon işleminde ortama alüminyum sülfat, demir klorür gibi kimyasal maddeler eklenir. Elektroliz işlemi ise bir elektrik akımı tarafından aşınan bir elektrolitin uğradığı ayrışma olarak ifade edilmektedir. Elektroliz esnasında elektrik akımı elektrolit içindeki iyonlar vasıtasıyla bir elektrottan (anot) diğer elektrota (katot) geçerken elektrotlarda kimyasal değişimler meydana gelir ve ortama metal iyonları geçer.

Elektrokoagülasyon prosesinde kimyasal koagülasyondan farklı olarak koagülant maddeler, anot materyali olarak seçilen Fe veya Al metalinin elektroliz sırasında çözünmesi ile ortama verilir. Bu aktif koagülant çekirdeklerin etrafını sarmalayan negatif yüke sahip emülsifiye maddeler, askıda maddeler ve koloidal maddelerin meydana getirdiği pıhtılar elektriksel alanda yumaklaşarak çökelirler. Elektroliz sırasında oluşan gaz kabarcıklarının hafif yumakları su yüzeyine taşınması nedeniyle

elektrokoagülasyon prosesi, kirleticilerin giderilmesinde flotasyon mekanizmasına da sahiptir.

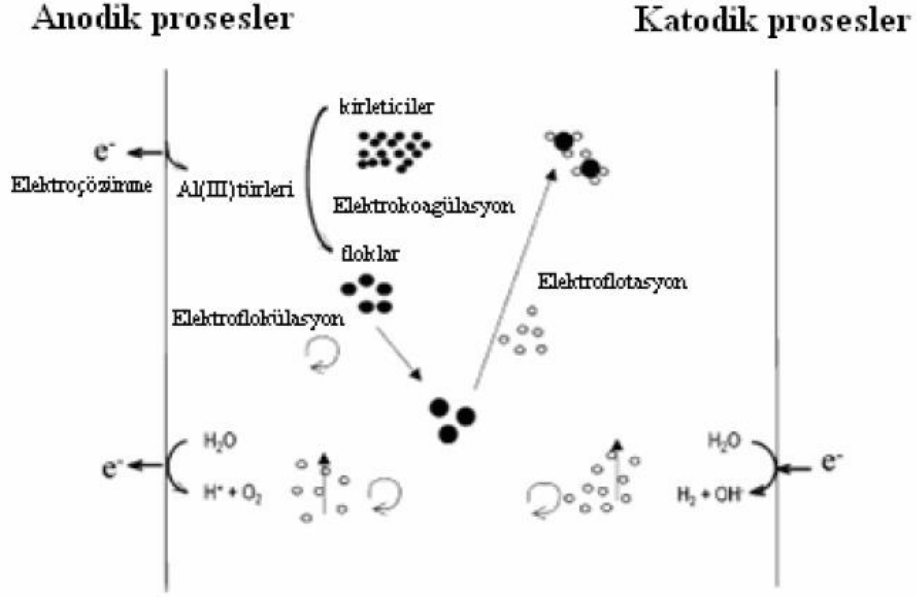
Elektrokoagülasyonun genel mekanizmasında 3 temel prosesin rol oynadığı belirtilmektedir (Can vd., 2006).

- Elektrot yüzeyinde elektrolitik reaksiyonların gerçekleşmesi,
- Su fazında koagülant formasyonunun oluşması,
- Çözünmüş veya kolloidal kirleticilerin koagülant üzerine adsorpsiyonu ve çöktürme veya flotasyon ile giderimi.

Kirli suların arıtımında elektrokoagülasyon prosesi başarıyla uygulanmaktadır. Katotta hidrojen tepkimesi olurken aynı zamanda anotlarda çeşitli temel işlemler sonucu yüksek bir verim oluşur. Elektrot tipleri değiştirilerek farklı sistemlerde reaktörler çalıştırılarak giderilmesi istenen parametrelere uygun yöntem belirlenebilir (Mollah vd., 2001). EC'deki aşamalar (Aytaç, 2011);

- Metal iyonlarının üretimi,
- Metal iyonlarının hidrolizi ve metal hidroksitleri ve polihidroksitlerinin oluşumu,
- Paralel tepkimede suyun elektrolizi ile katotta hidrojen, anotta oksijen olmak üzere gaz kabarcıklarının üretimi,
- Kirleticilerin kararsızlaştırılması, parçacık çözeltisi emülsiyonun kırılması,
- EC kuramına göre kimyasal tepkimeler ve çökeltme EC işlemi sırasında gerçekleşmekte ya da diğer katyon ve/veya hidroksil iyonunun ( $\text{OH}^-$ ) kirleticiyle çökelti oluşturduğu düşünülmektedir.

Basit bir elektroliz hücresinde, güç üreticinin pozitif kutbuna bağlanan elektrotlar anot, negatif kutbuna bağlananlar ise katot adını alır. Katot da meydana gelen yükseltgenme reaksiyonlarında hidrojen gazı ve hidroksil iyonları oluşurken anot reaksiyonlarında  $\text{Me}^+$  şeklinde metal iyonları ortama geçer (Şekil 3.2). Elektrokoagülasyon prosesinde anot olarak çoğunlukla demir ve alüminyum elektrotlar kullanılmaktadır.



**Şekil 3.2.** EC prosesinde meydana gelen reaksiyon basamakları

Elektrokoagülasyon; çözünebilen ve pıhtılaştırıcı özelliğe sahip alüminyum veya demir gibi metal bir elektrodun kullanıldığı elektrokimyasal atıksu arıtım sürecidir. Elektrokoagülasyonda pıhtılaşma ve çökme mekanizmaları sisteme kimyasal madde ilavesi ile değil elektrokimyasal reaktördeki elektrotlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Elektrokoagülasyonda anot olarak kullanılan metal, iyon şeklinde çözünür (Aytaç, 2011).

Çok yüklü katyonlar çok değerlikli polihidroksi kompleksleri oluşturarak kolloidal parçacıkların kararlılığını bozar. Bu kompleksler yüksek soğurma özellikleri ile kirlençilerle yumak oluştururlar. EC işleminde anotta oksijen ve katotta hidrojen oluşumu sayesinde yüzdürme de söz konusudur (Aytaç, 2011).

### 3.3 Elektrokoagülasyon Prosesinde Verimi Etkileyen Faktörler

#### 3.3.1 Akım yoğunluğu

Akım yoğunluğu, tüm elektrokimyasal proseslerde olduğu gibi elektrokoagülasyon prosesinin verimliliğini ve reaksiyon hızını doğrudan etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. İlgili elektrottan ortama verilecek koagülant miktarı (Fe veya Al iyonları), oluşan flokların boyutu ve büyüklüğü akım yoğunluğu ile yakından

ilişkilidir (Mollah vd., 2001; Chen, 2004). Akım yoğunluğunun artmasına bağlı olarak kirletici giderim verimlerinde de artış olmaktadır. Belirli bir optimum değerden sonra yüksek akım yoğunluğuna bağlı giderim hızında önemli bir artma olmamakla birlikte verilen elektrik akımının önemli bir bölümü ısı enerjisine dönüşerek suyun ısınmasına sebep olmaktadır. Akım yoğunluğunun artması arıtım verimini etkileyebilecek kabarcıkların oluşum hızını ve boyutlarını da etkilemektedir (Daneshvar vd., 2006). Çok büyük akım yoğunlukları akım verimliliğinin azalmasına neden olabilmektedir. Herhangi bir bakım yapılmaksızın elektrokoagülasyon sisteminin kullanılabilmesi için 20-25 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğu önerilmektedir (Chen, 2004).

### **3.3.2 Başlangıç pH'ı**

Başlangıç pH'ı reaktörde gerçekleşen elektrolitik reaksiyonları ve metal iyonlarının çözünürlüğünü etkileyen önemli bir faktördür. Alüminyum elektrotlarla yapılan çalışmalarda genellikle asidik veya alkali koşullarda elde edilen akım verimliliğinin nötr ortamlarda elde edilenlere göre daha yüksek olduğu ifade edilmektedir. İletkenlikteki değişime bağlı olarak nötre yakın pH'larda enerji tüketiminin ise daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Chen, 2004). Başlangıç pH'ının etkisi giderilecek kirleticiye bağlı olarak da değişebilmektedir. Phalakornkule ve arkadaşları direkt ve dispers boyalarla yaptıkları çalışmada başlangıç pH'ının dispers boyaya bağlı renk giderim verimini etkilemediğini buna karşılık direkt boyar maddeye bağlı renk giderim veriminin ilk 10 dakikalık reaksiyon süresi için başlangıç pH değerinden etkilendiğini tespit etmişlerdir (Phalakornkule vd, 2010).

### **3.3.3 Elektrot tipi**

Elektrokoagülasyon prosesinin temelinde koagülasyon mekanizması önemli rol oynaması nedeniyle genellikle kurban elektrot olarak (anot) Alüminyum veya Demir elektrotlar kullanılmaktadır.

Demirin ucuz olması nedeniyle genellikle atıksu arıtımında demir, su arıtımında ise alüminyum elektrotlar tercih edilmektedir. Bununla birlikte alüminyum elektrotlar tek başlarına veya demir elektrotlarla birlikte atıksu arıtımında da kullanılmaktadır. Atıksu

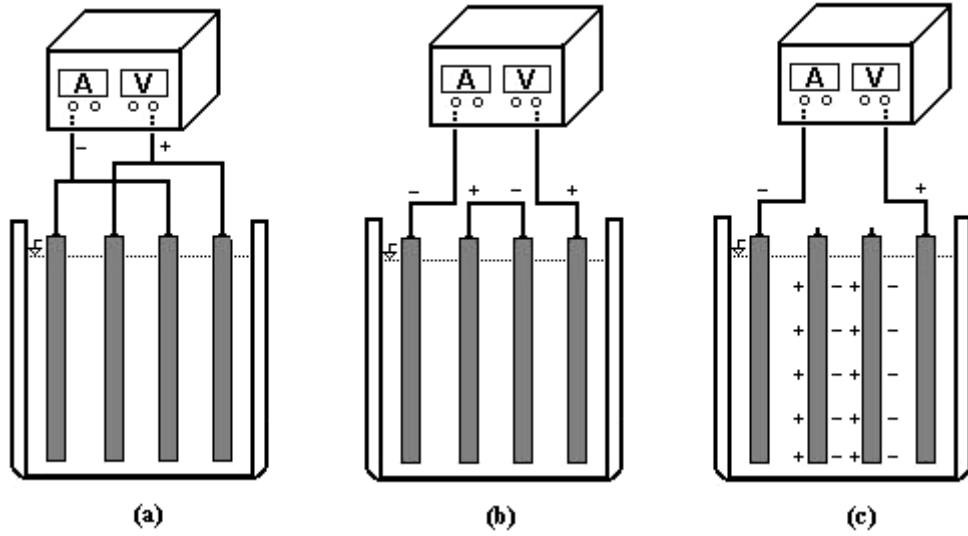
da önemli miktarda  $Ca^{2+}$  ve  $Mg^{2+}$  bulunması durumunda katot olarak paslanmaz çelik elektrotların kullanılması önerilmektedir (Chen, 2004).

### 3.3.4 Elektrotların yerleşimi ve bağlantı tipi

Reaktör tasarımı, elektrotların yerleşimi ve bağlantı biçimleri iletkenlik gibi enerji tüketimini etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle işletme açısından göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Elektrotlar arası mesafenin değişmesi kirletici giderim veriminden ziyade enerji tüketimini etkilemektedir.

Genellikle elektrotlar arası mesafenin kısalmasına bağlı olarak ohmik direncin azalmakta dolayısıyla enerji tüketimi düşmektedir. Bununla birlikte çok kısa elektrot aralıklarında ise reaksiyon sırasında oluşan askıda katı madde ve kabarcıkların elektrotlar arasında birikmesi ile daha yüksek elektrik direnci oluşabilmektedir (Phalakornkule vd., 2010).

Phalakornkule ve arkadaşları (2010), reaktif ve dispers tekstil boyar maddeleri ile yaptıkları çalışmada elektrot aralıkları (5 mm, 8 mm ve 1,2 mm) değiştirildiğinde renk giderim veriminin değişmediğini görmüştür. Enerji tüketiminin ( $kWh/m^3$ ) ise 8 mm elektrot aralığında en düşük, 12 mm elektrot aralığında daha yüksek ve 5 mm elektrot aralığında ise en yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Elektrokoagülasyon reaktörü oluşturulurken anot ve katot kutuplar arasında farklı bağlantı biçimleri uygulanabilmektedir. Tek kutuplu (monopolar) veya çift kutuplu (bipolar) bağlantılar en çok kullanılanlardır. Tek kutuplu bağlantı biçimleri Şekil 3.3'te görülebileceği üzere paralel veya seri olabilmektedir. Bir diğer bağlantı biçimi ise çift kutuplu (bipolar) olarak seri bağlantıdır.



**Şekil 3.3.** EC prosesi elektrot bağlantı şekillerinin şematik görünümü  
MP-P sistemi (a), MP-S sistemi (b), BP-S sistemi (c)

### 3.3.5 İletkenlik

İletkenlik elektrokoagülasyon prosesinde özellikle enerji tüketimi açısından büyük önem taşıyan bir faktördür. Bu nedenle elektrokoagülasyon dahil pek çok elektrokimyasal proses için önem taşır. Bir çözeltinin iletkenliği o çözeltinin elektrik akımına gösterdiği direncin tersidir. İletkenliği düşük çözeltilerde çözeltinin direnci yüksek olması nedeniyle sabit bir akım altında ohm kanunu uyarınca elektrotlar arası gerilim de yüksek olur ve enerji tüketimi artar. İletkenliği yüksek çözeltilerde ise elektrotlar arası gerilimin azalmasına bağlı olarak enerji tüketimi de düşecektir. Bu nedenle uygulanacak olan akım yoğunluğuna bağlı olarak elektrokoagülasyon prosesinde iletkenliğin belirli seviyelerde olması istenir.

İletkenliğin artmasına bağlı olarak yüksek akım yoğunluğu için düşük enerji tüketimi ve kısa reaksiyon süresi sağlanarak kirleticilerin giderimi mümkün olabilmektedir (Vaghela vd., 2005; Rajkumar ve Kim., 2006).

Yüksek iletkenlik, iyi çözünürlük, uygun maliyet, orta seviyede düşük toksisite gibi özelliklerinden ötürü iletkenlik ayarlamalarında genellikle NaCl tuzu kullanılmaktadır (Gourich vd. 2009). Aynı zamanda NaCl ortamda bulunan  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  gibi anyonların olumsuz etkilerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Karbonat anyonları su ortamında  $Ca^{2+}$  iyonlarının çökmesine yol açar ve katot yüzeyinde oluşan tabaka nedeniyle

elektrokimyasal hücrenin ohmik direncinde artış olur (Daneshvar vd., 2006; Gourich vd., 2009).



Bununla birlikte aşırı NaCl ilavesi kirletici giderim verimini düşürebilmekte veya elektrotların aşırı tüketimine ve üzerinde düzensiz çöküntülere neden olabilmektedir. Dispers tekstil boyasının elektrokoagülasyon prosesi ile giderim çalışmasında 10.41 mA/cm<sup>2</sup>, 20.83 mA/cm<sup>2</sup> ve 31.25 mA/cm<sup>2</sup> akımları ve 1.5-5 g/L aralığında NaCl ilavesi ile iletkenliğin etkisi incelenmiştir. NaCl ilavesine bağlı olarak iletkenlik artırıldığında 10.41 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğu için, boyar madde giderim veriminin %53'ten %33'e azaldığı görülmüştür. 20.83 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğu için boya giderim verimi etkilenmezken 31.25 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğu için renk gideriminde düşük miktarda bir azalma görülmüştür (Gourich vd., 2009).

BB3 ve RB46 bazik boyaları ile yapılan elektrokoagülasyon çalışmasında ise NaCl ilavesine bağlı olarak iletkenlik artışının boya giderim verimi üzerinde önemli bir etkisi olmadığı bununla birlikte yüksek boya giderim verimleri için iletkenliğin artışı ile enerji tüketiminin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir (Doğan, 2011).

### 3.3.6 Reaksiyon süresi

Reaksiyon süresi akım yoğunluğu ile birlikte teorik olarak ortama verilecek metal iyonlarının (koagülant) miktarının belirlenmesini sağlamaktadır. Reaksiyon süresinin uzamasına bağlı olarak enerji tüketimi de artmaktadır. Genellikle yüksek akım yoğunluğunda kısa reaksiyon süreleri kirleticilerin giderimi için yeterli olabilmektedir. Elektrokoagülasyon, endüstriyel veya kentsel kökenli çok çeşitli atıksuların arıtımında başarıyla uygulanmaktadır (Elabbas vd., 2016).

Elektrokoagülasyonun başlıca avantajı, organik madde, ağır metal, boya ve mineralleri içeren çok sayıda kirletici tipini aynı anda arıtma yeteneğidir. Elektrokoagülasyonun boya giderimi, kömür asit drenaj atıksularından ağır metal giderimi, kağıt endüstrisi

atıksularından biyolojik olarak çözünemeyen organik kirlilik ve arsenik giderimi ve literatürde sıklıkla listelenen atıksuların diğer birçok çeşidinin gideriminde etkili olduğu bulunmuştur. Fosfatlar, bu teknik kullanılarak yüzey veya yeraltı sularından başarılı bir şekilde giderilmiştir (Elabbas vd., 2016).

EC prosesinde genellikle doğru akım (DC) ve doğru akım güç kaynakları kullanılmaktadır. 1980'li yılların başında EC sistemlerinde alternatif akım kullanılan çalışmaların yapıldığı görülmüş, özellikle maden endüstrisinde oluşan kömür partikülleri ve süspanse killerin stabilitesinin kırılmasında alternatif akımlı EC sistemi kullanılmıştır. 20. yüzyılda atıksuların arıtımında EC prosesinin kullanım alanı sınırlı iken, özellikle son 20 yıl içerisinde popülaritesi ve etkinliği özellikle Avrupa ve Güney Amerika ülkelerinde kullanımının arttığı görülmektedir. EC prosesi kağıt ve kağıt hamuru endüstrisi, maden ve metal proses endüstrisinin yanı sıra boya, gıda, florür giderimi, lokanta, maden sanayi atıksuları, maden üretim işlemleri atıksuları, organik madde içeren sızıntı suları, sentetik deterjan, tekstil ve yağ sanayi atıksularının arıtımında da kullanılmaktadır (Can, 2010).

#### EC Prosesinin Avantajları

- Basit ekipman ve işletme şartları gerektirir.
- Arıtmadan çıkan su renksiz, kokusuz ve berraktır.
- Oluşan çamur, metal oksit ve metal hidroksitlerden meydana geldiği için kolaylıkla stabil hale getirilir ve susuzlaştırılabilir. Çamur miktarı azdır.
- Oluşan floklar kimyasal floklara benzemekle birlikte; daha büyük floklar olma eğiliminde ve daha az bağlı su içermektedirler. Asidik ortama dirençli ve stabil olup, filtrasyonla daha hızlı ayrılabilirler.
- Kimyasal arıtma ile karşılaştırıldığında elektrokoagülasyon çıkış suyu daha az toplam çözünmüş katılar içerir.
- Elektrokoagülasyon prosesleri en küçük kolloidal parçacıkları giderme avantajına sahiptirler. Çünkü cihazların uyguladığı elektrik alan onların daha hızlı hareket etmelerini sağlayarak koagülasyonu kolaylaştırır.
- Elektrokoagülasyonda kimyasal madde kullanımı neredeyse yoktur. Bu sayede kimyasal koagülasyonda ilave edilen yüksek konsantrasyondaki kimyasal

maddenin neden olduğu ikincil kirlenme olasılığı ve aşırı kimyasalların nötralizasyonu problemi ortadan kaldırılır.

- Elektroliz sırasında üretilen gaz kabarcıkları sayesinde kirleticiler çözelti yüzeyine taşınabilir ve kirleticilerin daha kolay ayrılmaları sağlanır.
- Elektrokoagülasyon reaktörü içindeki elektrotlar sabit konumda olduğu ve elektriksel olarak kontrol edildiği için daha az bakım gerektirir.
- Elektrokoagülasyon prosesi için, kırsal alanlarda elektrik prosese ilave edilen güneş panellerinden temin edilebilir.

#### EC Prosesinin Dezavantajları

- Çözünen (harcanan) elektrotların düzenli olarak yenilenmesi gerekir.
- Bazı bölgelerde elektrik kullanımı pahalı olabilir.
- Katot üzerinde oluşabilen geçirimsiz bir film tabakası, prosesin verimliliğini düşürebilir.
- Atıksu çözeltilerinin yüksek iletkenliğe sahip olması gerekir.
- Bazı durumlarda jelatinli hidroksit çözünme yönüne meyledebilir (Mollah vd., 2001; Chen, 2004).

### **3.4 Elektrokoagülasyon Teknolojisi**

En basit bir EC reaktörü, bir elektrolit içine daldırılmış bir anot ve bir katottan oluşmaktadır. Çözünen anot ve katot elektrotlar bir güç kaynağına bağlanır. Bu durumda anotta oksidasyon olacağından anot materyali elektrokimyasal olarak çözünecektir. Bu arada katot ise pasivasyona maruz kalacaktır. Fakat bu durum atıksu arıtımı için uygun değildir; çünkü metal elektrotların yeterli miktarda çözünmesi için kullanılan elektrotların geniş yüzey alanına sahip olmaları gerekmektedir. Anot ve katot elektrotlar paralel veya seri bağlanmak suretiyle tek kutuplu (monopolar) elektrokimyasal reaktörler oluşturulabilir (Can, 2010).

Spesifik uygulamalarda, içme sularının deflorinasyonunda, endüstriyel sulardan ağır metal gideriminde, yağ içeren sularda, besin içeren atıksuların arıtımında, sızıntı sularından organik madde gideriminde, atıksulardan askıda katı madde gideriminde,

kimyasal ve mekanik boyama atıklarının gideriminde, sulardan askıdaki katıları ayırmada, atıksulardan nitrat gideriminde, fenolik bileşiklerin geri kazanımında, arsenik gideriminde, poliaromatik organik kirliliğin, ligninin ve organik kirliliğin gideriminde elektrokoagülasyon yöntemi kullanılabilir (İlhan, 2006).

### 3.5 Yapılan Çalışmalar

Şanlı (2006) tarafından gerçekleştirilen tez çalışmasında deri atıksuyunun kimyasal koagülasyon (CC) ve elektrokoagülasyon (EC) ile arıtılabilirliği araştırılmıştır. Demir elektrotların kullanıldığı EC prosesinde; COD, TS, TCr, NH<sub>3</sub>-N, AKM giderimi üzerine akım yoğunluğu ve zaman gibi parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Elektrokoagülasyon uygulamaları sonunda ön çöktürme atıksularında %60 AKM ve %30 KOİ giderim verimi; son çöktürme atıksuyunda ise %85 AKM ve %35 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

Şengil vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada deri endüstrisi atıksuyundan KOİ, sülfür ve yağ-gresin uzaklaştırılması amacıyla elektrokoagülasyon yöntemi kullanılmıştır. Elektrot olarak yumuşak çelik kullanılan çalışmada KOİ, sülfür ve yağ-gresin giderim verimliliği sırasıyla %82 , %90 ve %96'ya ulaşmıştır. Deri atıksuyundaki KOİ, sülfür ve yağ-gresin uzaklaştırılmasında kullanılan optimum akım yoğunluğu 10 dakikalık elektroliz süresi içinde ve pH 3'te sırasıyla 35 mA/cm<sup>2</sup>, 35 mA/cm<sup>2</sup> ve 3.5 mA/cm<sup>2</sup> dir. Ortalama enerji tüketimleri KOİ'nin 5.768 kWh/m<sup>3</sup>, sülfürün 0.524 kWh/m<sup>3</sup>, yağ-gresin ise 0.00015 kWh/m<sup>3</sup> olduğu belirlenmiştir.

Benhadji vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, deri endüstrisi atıksuyunda bulunan organik ve inorganik kirleticiler elektrokoagülasyonla uzaklaştırılması incelenmiştir. 1 litre deri atıksuyu katot olarak alüminyum ve çelik, anot olarak alüminyum elektrotlar kullanılarak arıtılmıştır. Deri atıksuyunun elektrokoagülasyonunda, elektroliz zamanı ve akım yoğunluğu incelenmiştir. Sonuç olarak alüminyum katotun, 75 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda, 45 dakikada deri atık suyunda kirleticilerin uzaklaştırılması için en uygun zaman ve yoğunluğun olduğu gözlemlenmiştir. Optimum şartlarda, BOİ<sub>5</sub>, KOİ, bulanıklık, krom, demir ve nitratın %90'dan fazlası uzaklaştırılmıştır.

Keerthi vd.'nin (2013) yaptığı çalışmada mikrofiltrasyon (EMR) ve membran biyoreaktör (MBR), elektrokoagülasyon (EC) ile birleştirilmiş ve 5 kPa'lık sabit transmembran basıncı altında 7 gün süreyle deri atık suyunun arıtılması araştırılmıştır. Bu entegre yöntemin yalnızca %90 KOİ ve %67 krom giderimi elde edilen MBR'e kıyasla, %94 KOİ ve %100 krom giderimi sağlaması ile performans ve kirliliği azaltma açısından en uygun yöntem olduğu gözlemlenmiştir.

Deghles ve Kurt'un (2016) yapmış olduğu çalışmada deri endüstrisi atıksuyunda bulunan KOİ, NH<sub>3</sub>-N, krom ve renk parametrelerinin hibrit bir elektrokoagülasyon/elektrodiyaliz ile uzaklaştırılması araştırılmıştır. Akım yoğunluğunun, elektroliz zamanının ve elektrot türünün elektrokoagülasyon üzerine etkileri analiz edilmiştir. Optimize edilen elektrokoagülasyon işlemi daha sonra deri atıksuyunun arıtılması için elektrodiyaliz ile bütünleştirilmiş ve hibrit prosesin arıtılmış deri atıksuyunun kalitesini artırabileceği gözlemlenmiştir. Alüminyum elektrotların kullanıldığı, 45 dakika süreli ve 0.371 mS/cm elektriksel iletkenlik değerine sahip elektrokoagülasyon ve elektrodiyaliz işleminde KOİ, NH<sub>3</sub>-N, krom ve renk giderim verimliliği sırasıyla %92, %100, %100, %100 olarak tespit edilmiştir. Kombine elektrokoagülasyon-elektrodiyaliz teknikleriyle arıtılan deri atıksuyunun, normal içme suyu ile sunulan parametrelerle aynı parametrelere çok benzer değerler verdiği gözlemlenmiştir.

Varank vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada demir elektrotları kullanarak elektrokoagülasyon ve elektro-fenton işlemleri ile deri atıksuyundan KOİ ve AKM gideriminde işlem parametrelerini optimize etmek için yüzey yanıt metodolojisi (RSM) uygulanmıştır. Verilerin analizinde ve süreç değişkenleri ile cevaplar arasındaki etkileşimin elde edilmesi için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Optimum koşullar için, elektro-fenton prosesi için tepkime süresinin 5 dakika, pH değerinin 3.31, akım yoğunluğunun 53.72 mA/cm<sup>2</sup> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozunun 0.14 g/L ve elektrokoagülasyon prosesi için elektroliz süresinin 40.4 dakika, pH değerinin 7.0 ve akım yoğunluğunun 50.9 mA/cm<sup>2</sup> olduğu gözlemlenmiştir. Optimum koşullarda elektrokoagülasyon ve elektro-fenton proseslerinde sırasıyla %54.8 ve %87.3 KOİ giderim verimliliği %86 ve %88 AKM giderim verimliliği elde edilmiştir. Elektro-fenton prosesinin tabakhane atıksu arıtımı için daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

## BÖLÜM IV

### MATERYAL VE METOT

#### 4.1 Atıksu Karakterizasyonu

Bu çalışmada, Niğde'nin Bor ilçesinde bulunan Karma Organize Sanayi Bölgesi'ndeki bir deri fabrikasından alınan 3 farklı atıksu örneği kullanılmıştır. Numuneler PE kaplarda, buzdolabında 4°C'de muhafaza edilmiştir. Deri sanayi atıksuyunun karakterizasyonu Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Deri sanayi atıksuyunun karakterizasyonu

Parametre	Aralık
pH	7,2-9,38
Elektriksel İletkenlik (mS cm <sup>-1</sup> )	67,7-70,6
KOİ (mgL <sup>-1</sup> )	16380-20440
Askıda Katı Madde (mgL <sup>-1</sup> )	1600-12600
Klorür (mgL <sup>-1</sup> )	163-14110
Sülfür (mgL <sup>-1</sup> )	106-376
Toplam Krom (mgL <sup>-1</sup> )	64,71-446,3
Toplam Kjeldahl Azotu (mgL <sup>-1</sup> )	1002
Amonyum Azotu (mgL <sup>-1</sup> )	1230,6

Deneysel çalışmalarda ve atıksu karakterizasyonunda kullanılan numuneler, her bir deri işleme prosesinden alınan atıksu numunelerinin atıksu oluşumu doğrultusunda oranlanıp karıştırılmasıyla elde edilmiştir.

#### 4.2 Tesisin Proses ve Kirlenme Profili

##### 4.2.1 Proses profili

Bir fabrikada yer alan proseslerin her biri için kullanılan su ve oluşan atıksuyun üretim bazında miktarlarını gösteren ifadeye proses profili denir. Proses profili tesisin kirlilik tanımında ve üretim ile atıksu ilişkisinin kurulmasında önemlidir (Tünay, 1996). Tesiste ham derinin mamul deri haline gelmesi yaklaşık 6 gün sürmektedir. Her üretimde 10 ton

ham deri işleme tabi tutulmaktadır. Tesis için hazırlanan proses profili Çizelge 4.2’de verilmektedir.

**Çizelge 4.2.** Tesise ait proses profili

Proses	Giren Su Miktarı (m <sup>3</sup> /ton deri)	Atıksu Miktarı (m <sup>3</sup> /ton deri)
Islatma	1,6	0,8
Kireçleme-Kıl Giderme	-	0,3
Yıkama	0,8	0,5
Etleme	-	0,05
Kireç Giderme	0,5	0,2
Piklaj	0,3	0,3
Kromlama	0,5	0,5
Sıkma	-	0,4
İkinci Kromlama	0,4	0,2
Nötralizasyon	0,05	0,02
Retenaj	0,05	0,08
Boyama	-	0,05
Sıkma	-	0,5
<b>Toplam</b>	<b>4,2</b>	<b>3,9</b>

#### 4.2.2 Kirlenme profili

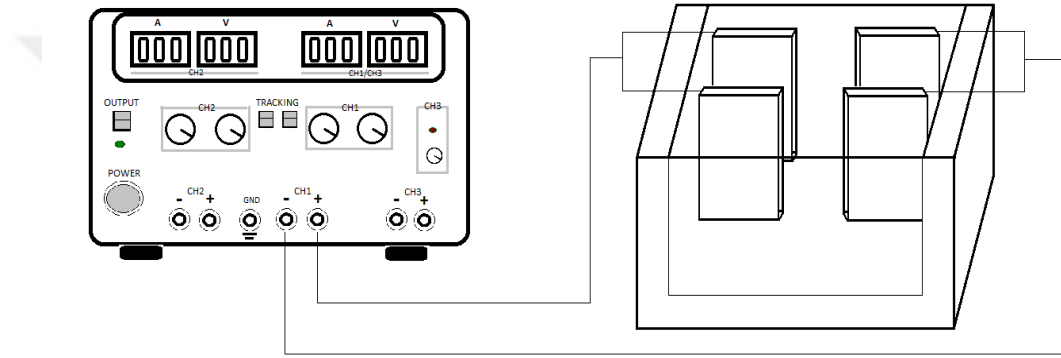
Kirlenme profili, bir fabrikanın atıksu miktarı ve kirletici özelliklerinin proses ve alt kategori bazında ortalama ifadesidir (Tünay, 1996). Tesis için kirlenme profili, her bir üretim prosesinin organik kirletici yüküne bakılarak KOİ bazında oluşturulmuş ve Çizelge 4.3’te verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Tesise ait kirlenme profili

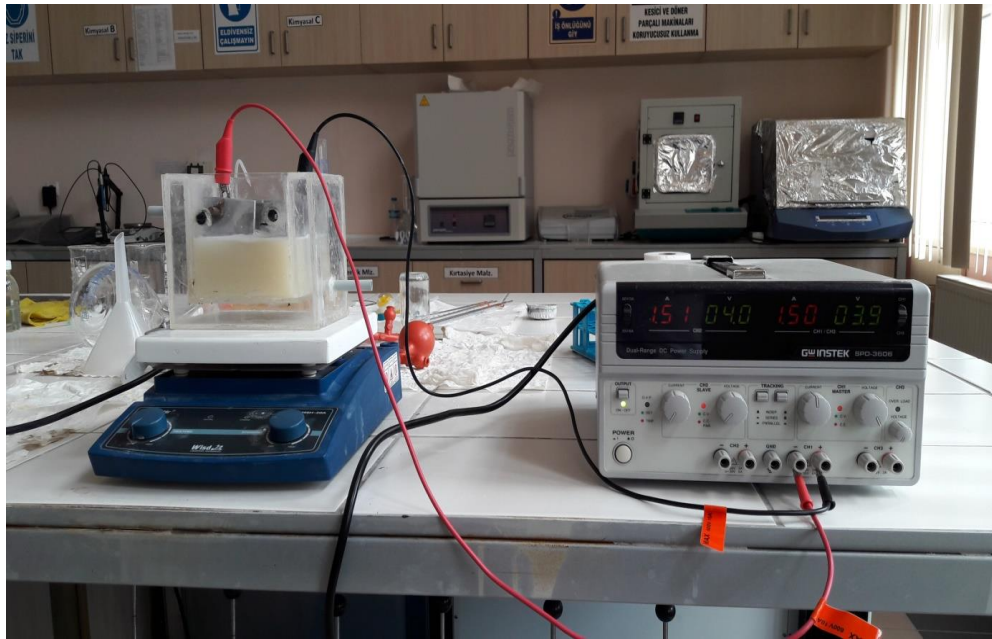
Proses	Oluşan Atıksu Miktarı (m <sup>3</sup> /ton deri)	KOİ	
		mg/L	kg/ton deri
Islatma	0,8	16940	13,55
Kireçleme-Kıl Giderme	0,3	22900	6,87
Yıkama	0,5		
Etleme	0,05		
Kireç Giderme	0,2		
Piklaj	0,3	7880	2,36
Kromlama	0,5	3900	1,95
Sıkma	0,4		
İkinci Kromlama	0,2		
Nötralizasyon	0,02	3336	0,066
Retenaj	0,08	9176	0,73
Boyama	0,05		

### 4.3 Deney Düzenegi

Elektrokoagülasyon deneyleri Şekil 4.1’de ve 4.2’de gösterilen deney düzeneginde gerçekleştirilmiştir. Elektrokoagülasyon deneylerinde kullanılan 9x10x10 cm boyutlarındaki reaktör çift cidarlı olup, plexiglass’tan yapılmıştır. Elektrot materyali olarak 5.5x3.5x0.4 cm boyutlarında alüminyum plakalar kullanılmıştır. Elektrotların toplam aktif yüzey alanı 25 cm<sup>2</sup>’dir. Reaktörde monopolar paralel bağlı 4 adet elektrot kullanılmıştır. Elektrotlar 10 mm aralıklarla yerleştirilmiş ve elektrolite batırılmış durumdadır.



Şekil 4.1. Deney düzeneginin şematik görünümü



Şekil 4.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan deney düzenegi

Reaktörde her bir deneyde 400'er ml numune kullanılmıştır. Atıksu numunelerinin yüksek elektriksel iletkenlik değerinden dolayı elektrolit çözeltisi kullanılmamıştır. Her deney öncesi elektrotların yüzeyinde birikebilecek olan kalıntıları uzaklaştırmak amacıyla, elektrotlar seyreltik HCl çözeltisine daldırılarak 1 dakika bekletilmiştir. Son olarak saf su ile yıkanan elektrotlar kurutularak deneye başlanılmıştır.

Elektrokoagülasyon deneyleri; 2-8 pH aralığı, 20-90 dak. aralığında temas süresi ve 30-100 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğu ile gerçekleştirilmiştir. Akım ve voltaj, kontrollü dijital bir güç kaynağı (GW INSTEK multimeter, model SPD-3606, 0-30 V ve 0-6A) ile sağlanmıştır. Karıştırma işlemi için manyetik bir karıştırıcı kullanılmıştır.

#### 4.4 Analitik Yöntemler

Elektrokoagülasyon deneylerinde elektrotlar, pleksiglass reaktöre yerleştirildikten sonra reaktöre 400 ml atıksu konulmuştur. Güç kaynağı üzerinde istenen akım ayarlaması yapıldıktan sonra elektrokoagülasyon işlemine başlanmıştır. EC işleminden sonra çözelti filtre edilmiş ve analizi yapılmıştır.

Çalışmalarda kullanılan deri atıksuyunun deney öncesi ve sonrasında pH, KOİ, AKM, TOK, elektriksel iletkenlik ölçümleri ve diğer tüm analizler APHA Standart Metotlara (Standard Methods, 1998) uygun olarak gerçekleştirilmiştir. pH ayarlaması için 12 N HCl veya 6 N NaOH çözeltileri kullanılmıştır.

KOİ deneyleri kapalı reflux metodu ile WTW CR3200 model termoreaktör kullanılarak yapılmıştır. pH ölçümleri WTW pH7110 model pH-metre ile, elektriksel iletkenlik ölçümleri ise WTW Multi9430 model multimetre cihaz ile ölçülmüştür. TOK analizleri ise Shimadzu Total Organic Carbon Analyzer cihazında yapılmıştır.

#### 4.5 Hesaplamalar ve Kullanılan Eşitlikler

*Akım yoğunluğu*

$$J = \frac{I}{A} \quad (4.1)$$

Burada; J: Akım yoğunluğu (A/m<sup>2</sup>)

I: Akım şiddeti (A)

A: Aktif anot yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

### ***Akım verimi***

$$m = \frac{I \cdot t}{n \cdot F} \quad (4.2)$$

Burada; m: Akım verimi

I: Akım şiddeti (A)

t: Zaman (sn)

n: İyon yükü (alüminyum için 3+)

F: Faraday sabiti (96485 C/mol)

### ***Anotta teorik çözünme miktarı***

$$M_{ATe} = m \cdot (M_A) \quad (4.3)$$

Burada; m: Akım verimi

M<sub>A</sub>: Molekül ağırlığı (alüminyum için 26.982 g)

M<sub>ATe</sub>: :anot elektrottaki teorik çözünme miktarı (g)

### ***Enerji tüketimi***

(4.4)

$$E = \frac{U \cdot I \cdot t}{V}$$

Burada; E: Harcanan elektrik enerjisi (kWh/m<sup>3</sup>)

U: Volt (V)

I: Akım şiddeti (A)

t: Zaman (saat)

V: Hacim (L)

## *Faraday*

$$F = \frac{I \cdot t}{F_s \cdot v} \quad (4.6)$$

Burada; F: Faraday/m<sup>3</sup>

I: Akım şiddeti (A)

t: Zaman (saniye)

F<sub>s</sub>: Faraday sabiti (96485 C/mol)

v: Atıksu hacmi (m<sup>3</sup>)



## BÖLÜM V

### DENEYSEL BULGULAR

Bu çalışmada Niğde Bor Karma Organize Sanayi Bölgesi'ndeki bir deri fabrikasından alınan ve ön arıtıma tabi tutulmamış ham atıksuyun elektrokoagülasyon ile arıtımı gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, monopolar paralel bağlı sistemde alüminyum elektrotlar kullanılarak KOİ ve AKM giderimi üzerine pH, akım yoğunluğu ve sürenin etkisi araştırılmıştır.

#### 5.1 Elektrokoagülasyon Prosesi Üzerine pH'ının Etkisi

Elektrokoagülasyon deneylerinde başlangıç pH'ının etkisini belirlemek amacıyla 20 dakika elektroliz süresi (zaman) ve 40 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğu şartları altında deneyler gerçekleştirilmiştir. Tesisten alınan ham atıksuyun pH'ı 9,0-9,46 değerleri arasında olup, deneysel çalışmalarda elektrokoagülasyon prosesi üzerine başlangıç pH'ının etkisini belirlemek amacıyla pH aralığı 2-8 olarak seçilmiştir.

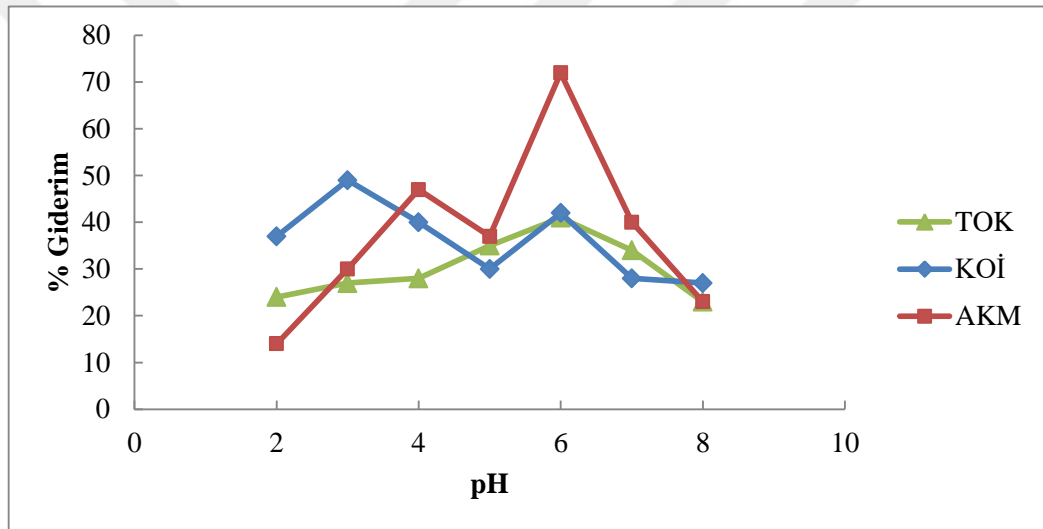
Bu çalışmada, deri endüstrisi atıksularının elektrokoagülasyonu üzerine başlangıç pH'ının etkisi için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1 ve Şekil 5.1'de görülmektedir.

**Çizelge 5.1.** Elektrokoagülasyon prosesinde başlangıç pH'ının etkisi

Parametre	Başlangıç pH						
	2	3	4	5	6	7	8
pH <sub>ilk</sub>	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00
pH <sub>son</sub>	3,33	3,9	4,49	5,03	5,89	6,53	7,39
Akım Yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	40	40	40	40	40	40	40
Akım (A)	1	1	1	1	1	1	1
Elektroliz Süresi (dak)	20	20	20	20	20	20	20
Voltaj Başlangıç (V)	2,7	2,6	3,0	3,4	2,7	2,8	3,3
Voltaj Çıkış (V)	2,6	2,5	2,6	3,1	2,3	2,5	2,7
Karıştırma Devri (rpm)	250	250	250	250	250	250	250
Faraday/m <sup>3</sup>	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1
Akım Verimi (E <sub>e</sub> )	241,21	241,21	241,21	241,21	241,21	241,21	241,21
Anodik Çözünme (g)	0,1118	0,1118	0,1118	0,1118	0,1118	0,1118	0,1118

**Çizelge 5.2.** (Devam) Elektrokoagülasyon prosesinde başlangıç pH'ının etkisi

Harcanan Al (kg) /m <sup>3</sup> atıksu	0,2795	0,2795	0,2795	0,2795	0,2795	0,2795	0,2795
İletkenlik Başlangıç (mS/cm)	69,7	74,1	69,8	71,6	72,3	69,8	71,0
İletkenlik Çıkış (mS/cm)	75,5	75,0	73,9	72,1	71,8	71,2	71,6
KOİ (mg/L) (Giriş)	18200	15510	13080	19040	14320	17000	17240
Giderilen KOİ (%)	37	49	40	30	42	28	27
TOK (mg/L) (Giriş)	4009	3393	4023	4427	3773	4120	4558
Giderilen TOK (%)	24	27	28	35	41	34	23
AKM (mg/L) (Giriş)	1020	1040	1300	1770	1633	1436	1280
Giderilen AKM (%)	14	30	47	37	72	40	23



**Şekil 5.1.** KOİ, AKM ve TOK giderim verimliliği üzerine pH'ın etkisi

(Elektroliz süresi: 20 dak, akım yoğunluğu: 40 mA/cm<sup>2</sup>)

Deney sırasında anot ve katot reaksiyonları sonucu çözeltinin pH değerlerinde değişim meydana gelmektedir. Atıksu pH'ına bağlı olarak çözünen metal iyonları farklı pH değerlerinde farklı metal hidroksit türleri oluşturmaktadır (Mollah, 2001). Alüminyum elektrotları kullanılan elektrokoagülasyon prosesinde pH dengesi değişimi anot ve katotta meydana gelen yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları ile kontrol edilmektedir.

Anotta alüminyum yükseltgenirken, katotta ise su indirgenmektedir.



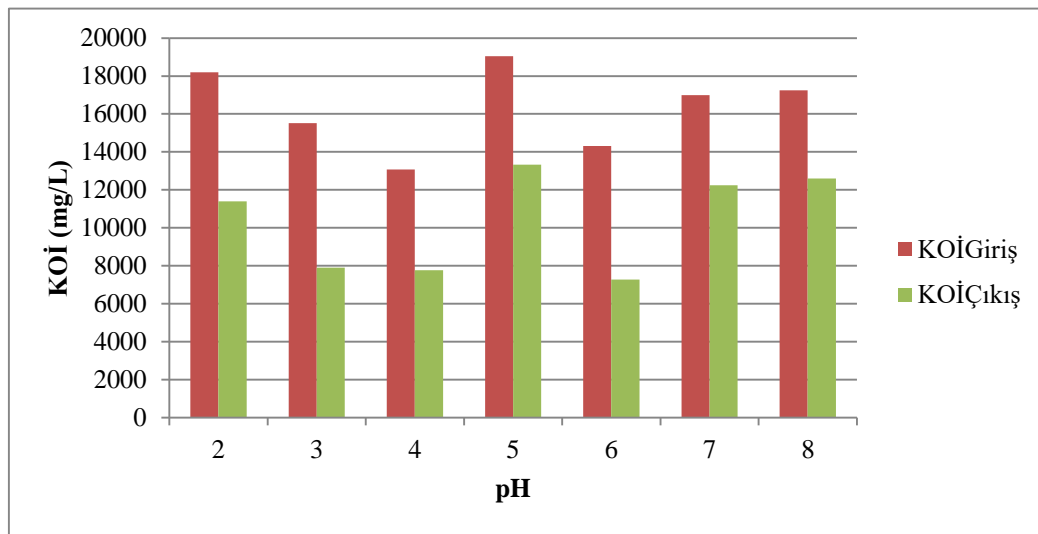


Katotta suyun indirgenmesi sonrası hidrojen oluşumu ve hidroksit birikmesi sonucu pH artmaktadır.  $\text{Al}(\text{OH})_3$  aşağıdaki eşitlikte de gösterildiği gibi mevcut  $\text{OH}^-$  iyonlarıyla reaksiyona girerek ortamın pH'ını düşürmektedir (Özyonar, 2007).

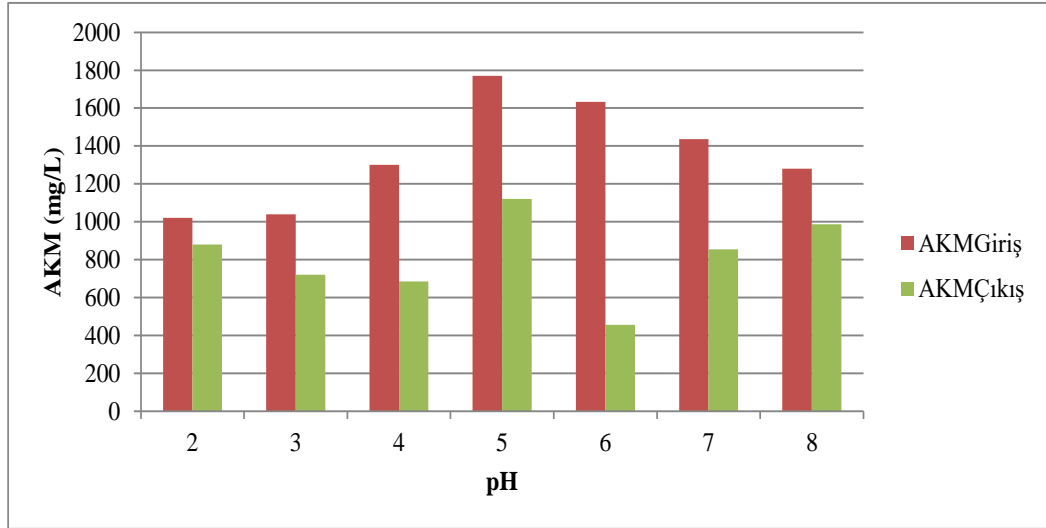


Alüminyum elektrotların kullanıldığı elektrokoagülasyon deneylerinde KOİ giderme veriminin %54 ile pH 6'da gerçekleştiği tespit edilmiştir. Aynı pH değerinde AKM giderme verimi %72, TOK giderim verimi ise %39 olarak belirlenmiştir. Alüminyum elektrotların kullanıldığı deneylerde pH seçimi için tüm parametreler göz önünde tutulduğunda, en yüksek KOİ ve AKM giderimini sağlayan pH 6 değeri optimum değer olarak seçilmiştir.

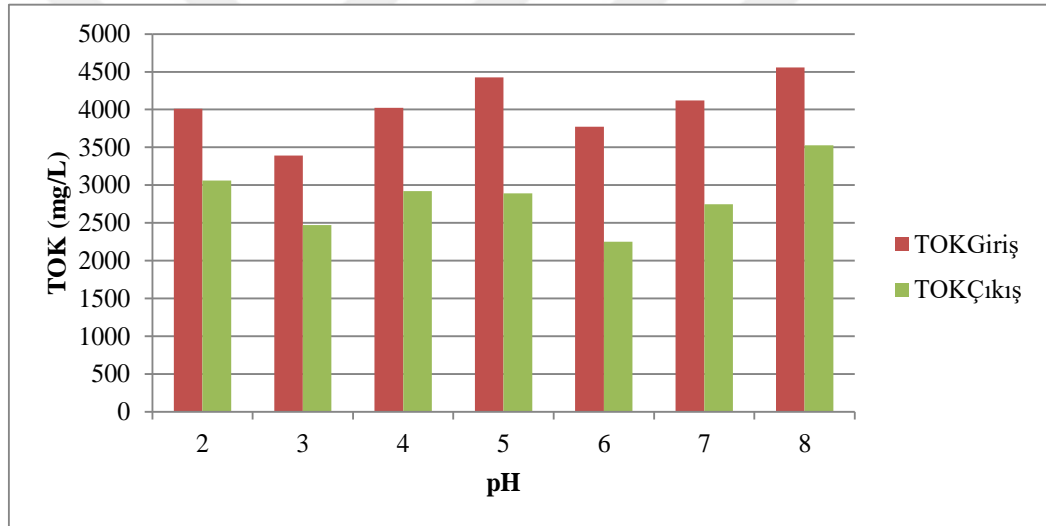
Farklı pH değerlerinde KOİ, AKM ve TOK konsantrasyon değişimleri Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.2. KOİ konsantrasyonunun pH'a göre değişimi



Şekil 5.3. AKM konsantrasyonunun pH'a göre değişimi



Şekil 5.4. TOK konsantrasyonunun pH'a göre değişimi

## 5.2 Elektrokoagülasyon Prosesi Üzerine Akım Yoğunluğunun Etkisi

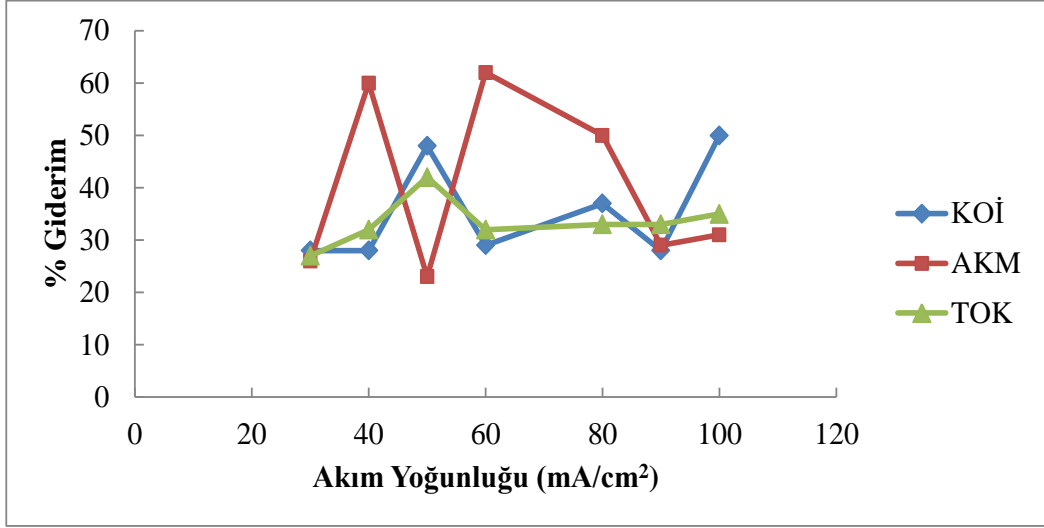
Elektrokoagülasyon üzerine akım yoğunluğunun etkisini incelemek amacıyla KOİ ve AKM giderim verimleri üzerine akım yoğunluğu 30-100 mA/cm<sup>2</sup> aralığında uygulanmıştır. Akım yoğunluğu deneyleri 6 pH değeri ve 20 dakika deney süresinde gerçekleştirilmiş olup, akım yoğunluğunun KOİ ve AKM giderimindeki etkisi Şekil 5.5 ve Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Akım yoğunluğunun artması Faraday Kanunu ile şu şekilde açıklanır; akım yoğunluğu arttıkça elektrotlarda üretilen iyon miktarı artar. Bu da oluşan flok miktarını artırır ve kirleticilerin giderimi artar (Özden, 2016).

Faraday Yasası'na göre akım yoğunluğunun artması elektrot tüketimini de arttırmaktadır. Sonuç olarak akım yoğunluğu arttıkça hem enerji hem de elektrot maliyeti yani toplam maliyet artmış olmakla birlikte giderim verimlerindeki artış çok az olmaktadır (Bayar, 2014).

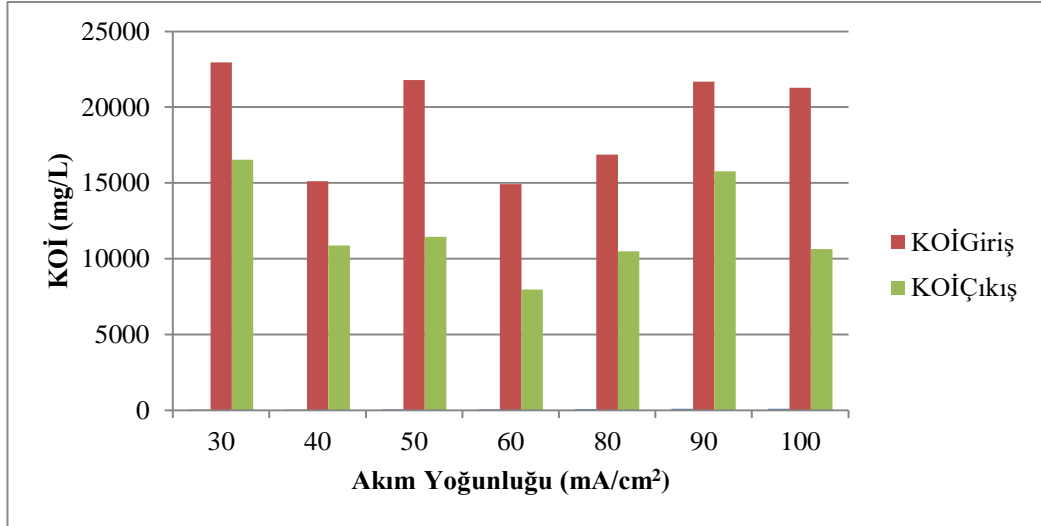
**Çizelge 5.3.** Elektrokoagülasyon prosesinde akım yoğunluğunun etkisi

Parametre	Akım Yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )						
	30	40	50	60	80	90	100
pH <sub>ilk</sub>	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
pH <sub>son</sub>	5,24	5,43	5,01	6,52	4,27	5,75	3,98
Akım (A)	0,75	1	1,25	1,5	2	2,25	2,5
Elektroliz Süresi (dak)	20	20	20	20	20	20	20
Voltaj Başlangıç (V)	2,9	3,3	3,7	4,0	5,5	6,7	6,9
Voltaj Çıkış (V)	2,4	2,6	3,5	3,6	4,6	4,6	6,5
Karıştırma Devri (rpm)	250	250	250	250	250	250	250
Faraday/m <sup>3</sup>	23,32	31,1	38,87	46,64	62,19	69,96	77,73
Akım Verimi (E <sub>c</sub> )	321,61	241,21	192,97	160,8	120,6	107,2	96,48
Anodik Çözünme (g)	0,0839	0,1118	0,1398	0,1678	0,2237	0,2517	0,2796
Harcanan Al (kg) /m <sup>3</sup> atıksu	0,2097	0,2795	0,3495	0,4195	0,5592	0,6292	0,6990
İletkenlik Başlangıç (mS/cm)	73,9	70,5	68,4	74,4	70,4	68,7	76,0
İletkenlik Çıkış (mS/cm)	76,1	72,2	71,3	76,0	72,0	70,6	75,9
KOİ (mg/L) (Giriş)	22960	15120	21800	14920	16880	21680	21280
Giderilen KOİ (%)	28	28	48	46	38	28	50
TOK (mg/L) (Giriş)	5375	6244	6025	7898	7898	5129	7451
Giderilen TOK (%)	27	32	42	32	33	33	35
AKM (mg/L) (Giriş)	3290	2040	5040	1494	1580	2000	4880
Giderilen AKM (%)	26	60	23	67	51	29	30

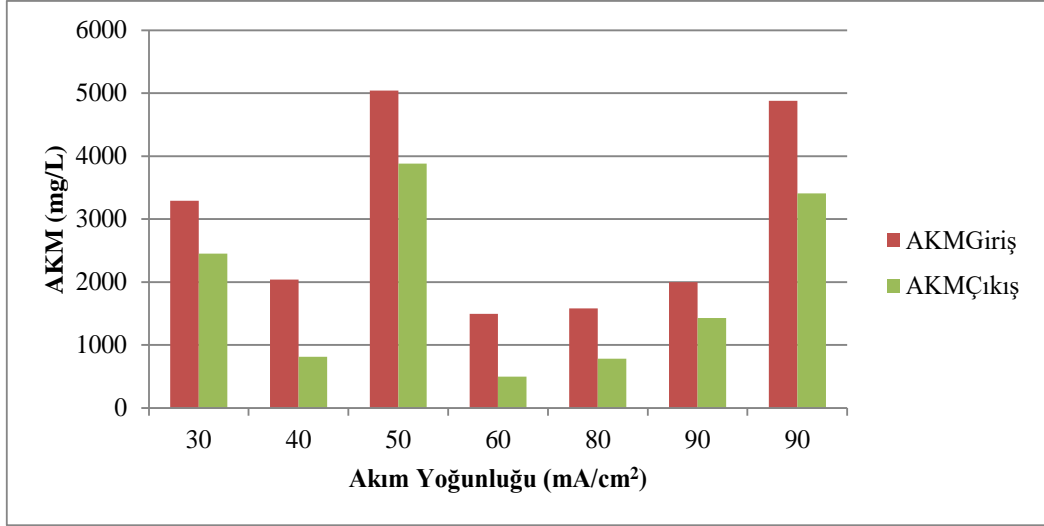


**Şekil 5.1.** KOİ, AKM ve TOK giderim verimliliği üzerine akım yoğunluğunun etkisi (Elektroliz süresi: 20 dak, pH: 6)

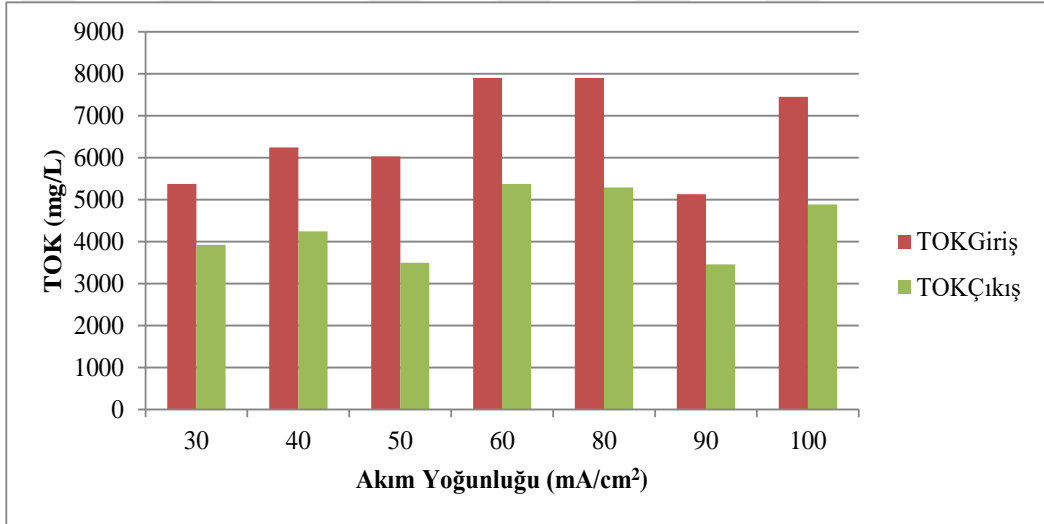
Alüminyum elektrotu kullanılan deneylerde KOİ giderme veriminin 100 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda %50 olduğu belirlenmiştir. Ancak AKM giderme verimi en yüksek %67 ile 60 mA/cm<sup>2</sup> ve TOK giderme verimi en yüksek %42 ile 50 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda gerçekleşmiştir. Farklı akım yoğunluğu değerlerinde konsantrasyon değişimleri Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilmiştir.



**Şekil 5.2.** KOİ konsantrasyonunun akım yoğunluğuna göre değişimi



Şekil 5.3. AKM konsantrasyonunun akım yoğunluğuna göre değişimi



Şekil 5.4. TOK konsantrasyonunun akım yoğunluğuna göre değişimi

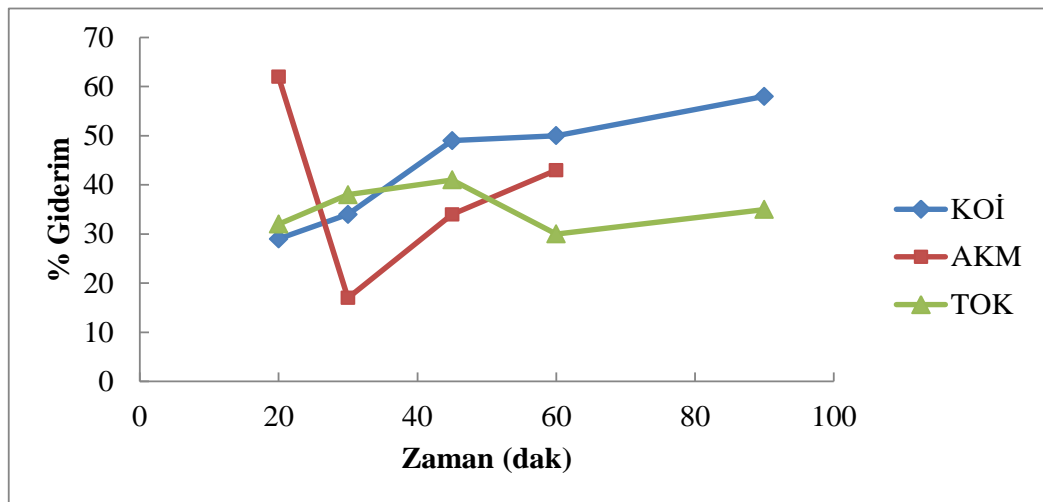
### 5.3 Elektrokoagülasyon Prosesi Üzerine Zamanın Etkisi

Kirlenici (KOİ ve AKM) gideriminde önemli yer tutan metal hidroksitlerin oluşumu ve miktarı zamana bağlı olduğundan giderim veriminde de zamanın etkisi oldukça büyüktür.

Zaman parametresinin etkisi incelenirken pH değeri 6 ve akım yoğunluğu 60 mA/cm<sup>2</sup> olarak sabit tutulmuş ve zaman 20-90 dakika arasında değiştirilmiştir. Zamanın KOİ, AKM ve TOK giderimindeki etkisi Şekil 5.9 ve Çizelge 5.3'te verilmiştir.

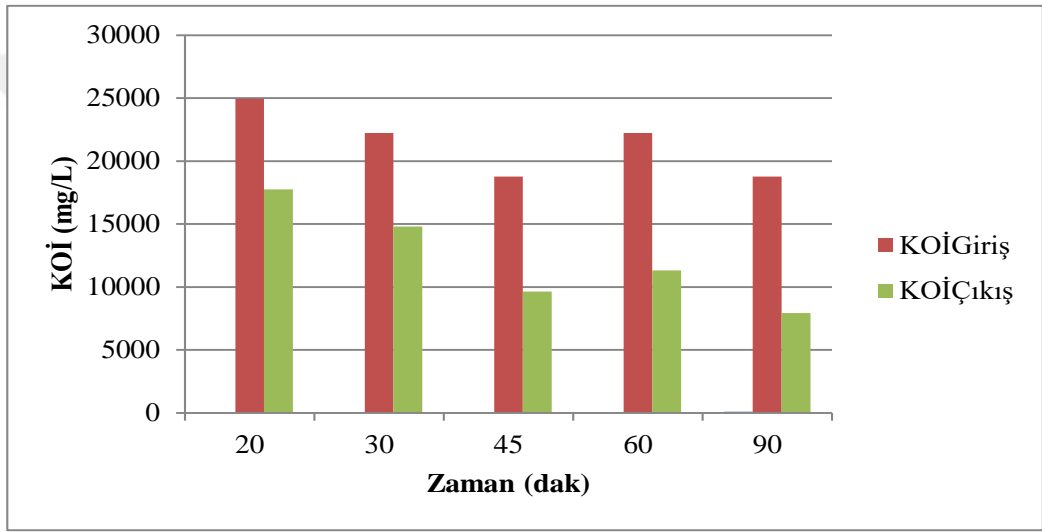
**Çizelge 5.4.** Elektrokoagülasyon prosesinde zamanın etkisi

Parametre	Zaman (dak)				
	20	30	45	60	90
pH <sub>ilk</sub>	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
pH <sub>son</sub>	6,52	4,68	3,91	3,59	3,51
Akım Yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	60	60	60	60	60
Akım (A)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Voltaj Başlangıç (V)	4,0	5,3	5,2	5,3	5,2
Voltaj Çıkış (V)	3,6	4,0	5,4	4,6	8,3
Karıştırma Devri (rpm)	250	250	250	250	250
Faraday/m <sup>3</sup>	46,64	69,31	104,94	139,92	209,88
Akım Verimi (E <sub>e</sub> )	160,8	107,2	71,47	53,6	35,73
Anodik Çözünme (g)	0,1678	0,2517	0,3775	0,5033	0,7550
Harcanan Al (kg) /m <sup>3</sup> atıksu	0,4195	0,6292	0,9437	1,2582	1,8875
İletkenlik Başlangıç (mS/cm)	74,4	69,2	69,1	69,2	69,1
İletkenlik Çıkış (mS/cm)	76,0	72,4	73,1	74,3	73,2
Elektrik Tüketimi (kWh/m <sup>3</sup> )	4,5	7,5	15,18	17,25	46,68
KOİ (mg/L) (Giriş)	24960	22240	18760	22240	18760
Giderilen KOİ (%)	29	34	49	50	58
TOK (mg/L) (Giriş)	7898	5619	5343	5619	5343
Giderilen TOK (%)	32	38	41	30	35
AKM (mg/L) (Giriş)	3230	2950	3240	2950	3240
Giderilen AKM (%)	62	17	34	43	-

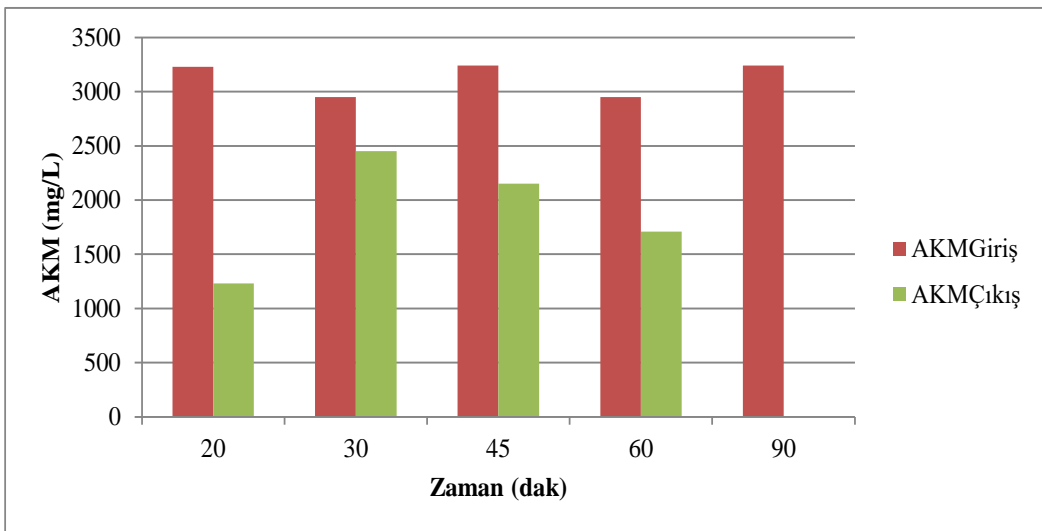


**Şekil 5.5.** KOİ, AKM ve TOK giderim verimliliği üzerine zamanın etkisi  
(pH: 6, akım yoğunluğu: 60 mA/cm<sup>2</sup>)

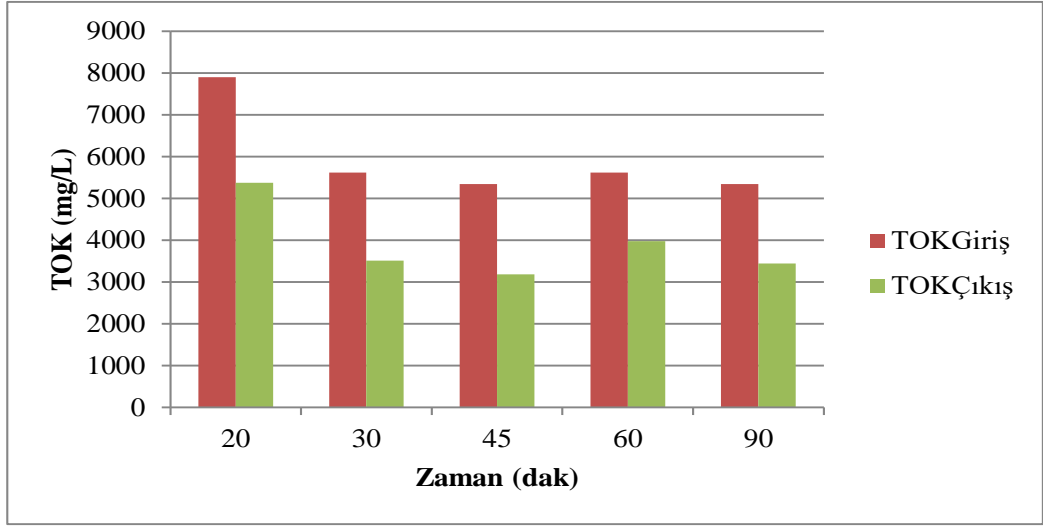
Deney sonuçlarına bakıldığında deney süresinin artması KOİ giderme veriminde doğru orantılı bir artış meydana getirmektedir. TOK giderme verimi ise zamanla artarken belli bir noktadan sonra azaldığı görülmektedir. Ancak AKM giderme verimi 20. dakikanın sonunda en yüksek değer olan %62'ye ulaşmışken, zamanla kirleticilerin parçalanması, flokların oluşması, çamur oluşumu gibi nedenlerle önce en düşük değere düşmüş daha sonra artmaya devam etmiştir. 90. dakikanın sonunda süzme işlemi gerçekleştirilemediği için AKM giderim değeri elde edilememiştir. Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de zamanın KOİ, AKM ve TOK konsantrasyonları üzerine etkisi verilmiştir.



Şekil 5.6. KOİ konsantrasyonunun zamana göre değişimi



Şekil 5.7. AKM konsantrasyonunun zamana göre değişimi



Şekil 5.8. TOK konsantrasyonunun zamana göre değişimi

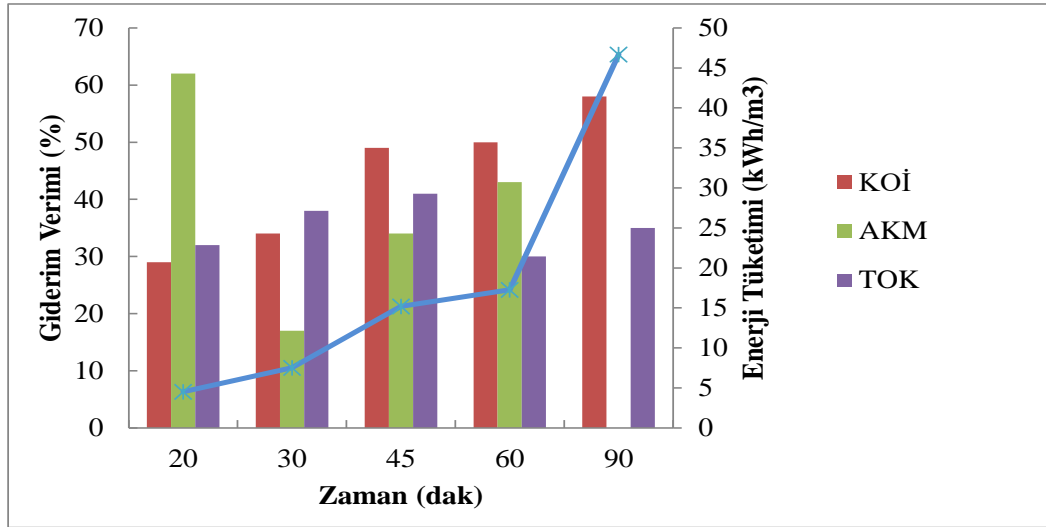
#### 5.4 Elektrokoagülasyon Prosesi Üzerine Enerji Tüketiminin Etkisi

Harcanan elektrik enerjisi, m<sup>3</sup> atıksu başına kiloWatt saat (kWh) cinsinden aşağıdaki verilen eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$E = \frac{U \cdot I \cdot t}{V} \quad (5.5)$$

Burada; E: Elektrik enerjisi (kWh/m<sup>3</sup>), U: volt, I: akım şiddeti (A), t: zaman (saat), V: hacim (L) 'dir.

Enerji tüketiminin etkisi incelenirken pH değeri 6 ve akım yoğunluğu 60 mA/cm<sup>2</sup> olarak sabit tutulmuş ve zaman 20-90 dakika arasında değiştirilmiştir. Enerji tüketiminin zamanla artışı Çizelge 5.3'te ve KOİ, AKM ve TOK gideriminde zamanla değişimi Şekil 5.13'te verilmiştir. EC işlemi sırasında daha yüksek voltaj tüketimi ve akım şiddetinin artması nedeniyle, deney boyunca zamanla enerji tüketimini arttırdığı görülmektedir. 20. dakikada 4,5 kWh/m<sup>3</sup> olan enerji tüketimi, 90. dakikada 46,68 kWh/m<sup>3</sup> 'e yükselmiştir.



Şekil 5.9. Giderim verimi ve enerji tüketimi üzerine zamanın etkisi

### 5.5 Niğde Bor Karma OSB Atıksu Arıtma Tesisi Dengeleme ve Kimyasal Koagülasyon Çıkışı Atıksularına EC Uygulanması

Yukarıda verilen EC deneylerinde yeterli verim elde edilemediği için ek olarak Bor OSB Atıksu Arıtma Tesisi dengeleme ve kimyasal koagülasyon çıkışından atıksu numuneleri alınıp incelenmiştir. Ön işlem olarak EC öncesi kimyasal koagülasyon denenmiş ve farklı alüm dozları ile çalışılmıştır. Dengelemeden alınan numunelere 500 mg/L ve 1000 mg/L alüm ve 2 mg/L polielektrolit ilave edilerek 150 rpm'de 2 dakika hızlı karıştırma, 30 rpm'de 20 dakika yavaş karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Koagülasyon işleminin ardından numuneler 30 dakika boyunca çökmeye bırakılmıştır. Üst fazdan alınan numuneye EC uygulanmış ve KOİ konsantrasyonu ölçülmüştür. Deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4-Çizelge 5.6 ile Şekil 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Dengeleme atıksuyunun 500 mg/L alüm ile koagülasyonu (Üst fazdan alınan numuneye EC uygulanmış)

Parametre	Zaman			
	10	20	40	60
pH <sub>ilk</sub>	6,00	6,00	6,00	6,00
pH <sub>son</sub>	5,55	5,34	4,26	3,79
Akım Yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> )	250	250	250	250
Akım (A)	1,5	1,5	1,5	1,5
Voltaj Başlangıç (V)	7,2	6,1	6,1	6,8

**Çizelge 5.6.** (Devam) Dengeleme atıksuyunun 500 mg/L alüm ile koagülasyonu (Üst fazdan alınan numuneye EC uygulanmış)

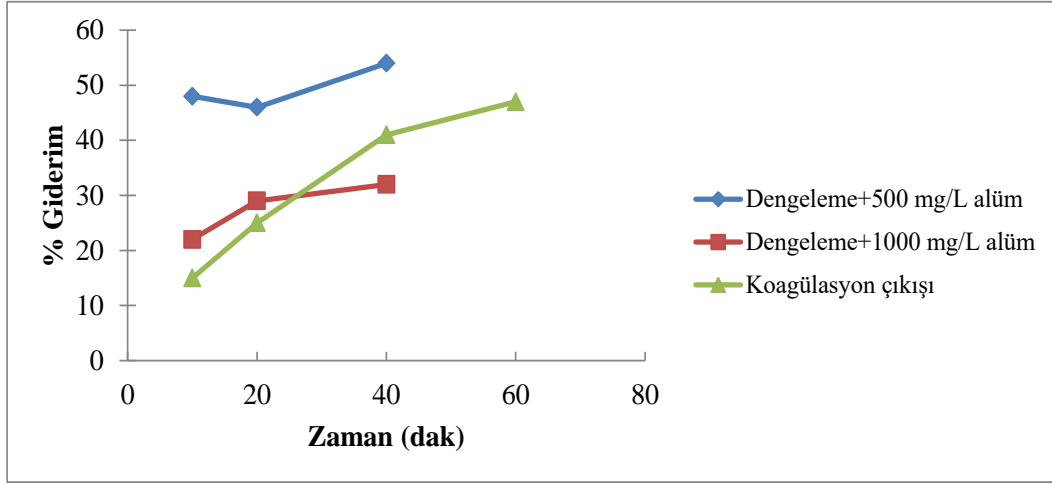
Voltaj Çıkış (V)	6,1	6,1	6,8	7,3
İletkenlik Başlangıç (mS/cm)	55,1	54,1	53,4	50,8
İletkenlik Çıkış (mS/cm)	54,1	53,4	50,8	53,5
KOİ (mg/L)	11440	7600	6400	7280
Giderilen KOİ (%)	18	46	54	-

**Çizelge 5.7.** Dengeleme atıksuyunun 1000 mg/L alüm ile koagülasyonu (Üst fazdan alınan numuneye EC uygulanmış)

Parametre	Zaman			
	10	20	40	60
pH <sub>ilk</sub>	6,00	6,00	6,00	6,00
pH <sub>son</sub>	5,47	5,26	4,18	4,53
Akım Yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> )	250	250	250	250
Akım (A)	1,5	1,5	1,5	1,5
Voltaj Başlangıç (V)	6,9	6,3	6,4	6,8
Voltaj Çıkış (V)	6,3	6,4	6,8	7,3
İletkenlik Başlangıç (mS/cm)	54,4	53,5	53,1	53,2
İletkenlik Çıkış (mS/cm)	53,5	53,1	53,2	53,3
KOİ (mg/L) (Giriş)	9120	8320	8000	8960
Giderilen KOİ (%)	22	29	32	-

**Çizelge 5.8.** Koagülasyon çıkışı atıksuyunun elektrokoagülasyonu

Parametre	Zaman			
	10	20	40	60
pH <sub>ilk</sub>	6,00	6,00	6,00	6,00
pH <sub>son</sub>	6,75	7,59	7,63	7,64
Akım Yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> )	250	250	250	250
Akım (A)	1,5	1,5	1,5	1,5
Voltaj Başlangıç (V)	21,8	17,1	15,2	14,5
Voltaj Çıkış (V)	17,1	15,2	14,5	15,3
İletkenlik Başlangıç (mS/cm)	10,77	10,41	10,14	9,92
İletkenlik Çıkış (mS/cm)	10,41	10,14	9,92	9,76
KOİ (mg/L) (Giriş)	10680	9480	7480	6760
Giderilen KOİ (%)	15	25	41	47



**Şekil 5.10.** OSB atıksu arıtma tesisi dengeleme ve kimyasal koagülasyon çıkış atıksularına uygulanan EC prosesinin KOİ giderimine etkisi

Kimyasal koagülasyon sonrası EC prosesinin uygulandığı deneylerde KOİ giderme verimleri deri endüstrisi ham atıksuyu ile yapılan EC deney sonuçlarında olduğu gibi düşük değerlerde kalmıştır. Dengeleme çıkış atıksuyuna 500 ve 1000 mg/L alüm eklenmesi sonucu EC uygulanmasında optimum 40 dakikada KOİ giderim veriminin sırasıyla %54 ve %32 olduğu tespit edilmiştir. Kimyasal koagülasyon sonrası EC prosesi ile KOİ giderim verimi 10. dakikada %15'ten 60. dakikada %47'ye ulaşmıştır. Koagülant eklenmesi ve kimyasal koagülasyon çıkışı atıksuyu olması nedeniyle flok oluşumuna bağlı çamur oluşumu arttığından ve süzme işlemi gerçekleştirilemediğinden AKM sonuçları elde edilememiştir.

## BÖLÜM VI

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Deri endüstrisi atıksuları yüksek miktarda organik madde ve toplam askıda katı madde içermekte olup, biyolojik olarak ayrışabilen nitelikte bir atıksu özelliğindedir. Bu çalışmada bu niteliklere sahip deri endüstrisi atıksularının elektrokoagülasyon prosesi ile arıtılabilirliği incelenmiştir.

Çalışmalarda bakım ve proses sonrası temizlenmesi daha kolay olması, oksitlenme sorununun olmaması, oksitlenme sonucu türbidite artışına neden olmaması gibi avantajları nedeniyle alüminyum elektrotlar kullanılmıştır.

Elektrokoagülasyon çalışmalarında kirletici parametre olarak KOİ, AKM ve TOK esas alınmış ve en yüksek giderim veriminin elde edildiği optimum pH değeri 6 olarak bulunmuştur. pH değeri 6'nın üzerine çıktığında KOİ gideriminde bir azalma tespit edilmiştir. Buna göre akım yoğunluğu ve zamanın etkisinin incelendiği çalışmalarda pH değeri 6 olarak sabit tutulmuştur. pH 6'da maksimum KOİ, AKM ve TOK giderme verimleri sırasıyla %42, %72 ve %39 olarak elde edilmiştir. Deney süresince çözünmüş alüminyum materyali ve hidroksil türleri sayesinde pH'nın daha yüksek değerlere çıktığı görülmüştür.

Akım yoğunluğu çalışmalarında ise akım yoğunluğuna paralel olarak KOİ ve AKM giderim verimlerinde de bir artış gözlemlenmiştir. En yüksek KOİ giderim verimi 100 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda gerçekleşmiştir. Arıtma veriminde alınan sonuçlardan dolayı alüminyum elektrotu için optimum akım yoğunluğu 100 mA/cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

Elektrokoagülasyonda sürenin etkisi alüminyum elektrot için 20-90 dakika arasında incelenmiş olup, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerden elektrokoagülasyon süresinin 90 dakika olduğu saptanmıştır. KOİ gideriminde 90 dakikada maksimum %58 verim elde edilirken, AKM gideriminde 20 dakikalık elektrokoagülasyon süresinde maksimum %62 verim elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde KOİ gideriminde 60 dakika ile 90 dakika arasında önemli bir verim

değişimi gözlemlenmemiştir (%50-%58). Bu nedenle 60 dakika KOİ, TOK ve AKM giderim verimleri açısından optimum elektroliz süresi olarak seçilebilir.

Elektrokoagülasyon prosesinde enerji tüketiminin etkisi pH 6 ve akım yoğunluğu 60 mA/cm<sup>2</sup> olarak sabit değerde ve 20-90 dakika arasında zaman değiştirilerek incelenmiştir. EC işlemi sırasında daha yüksek voltaj tüketimi ve akım şiddetinin artmasıyla, deney boyunca zamanla enerji tüketimini arttırdığı tespit edilmiştir. 20. dakikada 4,5 kWh/m<sup>3</sup> olan enerji tüketimi, 90. dakikada 46,68 kWh/m<sup>3</sup> 'e yükselmiştir. Optimum elektroliz süresi olan 60. dakikada enerji tüketimi 17,25 kWh/m<sup>3</sup>'tür.

EC deneylerinde yeterli verim elde edilememesi nedeniyle Bor OSB Atıksu Arıtma Tesisi dengeleme ve kimyasal koagülasyon çıkışından da atıksu numuneleri alınıp incelenmiştir. Kimyasal koagülasyon sonrası EC prosesinin uygulandığı deneylerde KOİ giderme verimleri deri endüstrisi ham atıksuyu ile yapılan EC deney sonuçlarında olduğu gibi düşük değerlerde kalmıştır. Dengeleme çıkış atıksuyuna 500 ve 1000 mg/L alüm eklenmesi sonucu EC uygulanmasında optimum 40 dakikada KOİ giderim veriminin sırasıyla %54 ve %32 olduğu tespit edilmiştir. Kimyasal koagülasyon sonrası EC prosesi ile KOİ giderim verimi ise 10. dakikada %15'ten 60. dakikada %47'ye ulaşmıştır.

Deri endüstrisi için Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin alıcı ortama deşarj standartlarından biri KOİ parametresidir (Çizelge 6.1). Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde elektrokoagülasyon prosesi ile istenen KOİ limit değerleri sağlamamıştır.

**Çizelge 6.2.** Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Deri, Deri Mamulleri ve Benzeri Sanayilerin Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları (SKKY, 2004)

Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 Saatlik	Kompozit Numune 24 Saatlik
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	300	200
Askıda Katı Madde (AKM) (Değişik Satır:Rg-24/4/2011-27914)	(mg/L)	125	-

**Çizelge 6.3.** (Devam) Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Deri, Deri Mamulleri ve Benzeri Sanayilerin Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları (SKKY, 2004)

Toplam Kjeldahl-Azotu (*)	(mg/L)	120	90
Toplam Kjeldahl-Azotu (**)	(mg/L)	60	45
Yağ ve Gres	(mg/L)	30	20
Sülfür (S <sup>-2</sup> )	(mg/L)	2	1
Krom (Cr <sup>+6</sup> )	(mg/L)	0.5	0.3
Toplam Krom	(mg/L)	3	2
Balık Biyodeneyi (ZSF)	-	4	4
pH	-	6-9	6-9
<b>(Ek Satır:Rg-24/4/2011-27914)</b> Renk	(Pt-Co)	280	260

Dolayısıyla elektrokoagülasyon prosesi ile bu endüstri atıksularının KOİ parametresi giderimi açısından tek başına yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Deri sanayi atıksularının çözülmüş maddelerin giderme veriminin yüksek olduğu biyolojik bir arıtma ünitesi ile kombine edilerek arıtılmasının daha iyi olacağı kanaatine varılmıştır.

*Yapılan bu çalışma ile ilgili olarak aşağıdaki öneriler verilebilir*

- Elektrokoagülasyon uygulanmasında farklı türde elektrotlar için elektrokoagülasyon verimi araştırılabilir (Demir, nikel, çelik, bakır v.s).
- Elektrokoagülasyonda farklı elektrot bağlantı türleri; seri bağlı monopolar, paralel bağlı bipolar yapılararak arıtma verimine etkisi araştırılabilir.
- Suyun karakterinden kaynaklanan çözülmüş madde giderimini arttırmak için elektrokoagülasyon ile biyolojik bir arıtma prosesi kombinasyonunun giderim verimleri üzerindeki etkileri incelenebilir.
- Biyolojik arıtma ile elektrokoagülasyon prosesleri entegre edilerek arıtma verimleri incelenebilir.

## KAYNAKLAR

Akbaş, H., Elektrokoagölasyon yöntemi ile renk gideriminin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, s. 32-34, 2014.

Aytaç, E., Elektrokoagölasyon yöntemi kullanılarak tekstil atıksularının arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, s. 43-44, 2011.

Bayar, S., Fenton ve elektrokoagölasyon yöntemleriyle fıstık işleme sanayi atıksularının arıtımının incelenmesi, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, s. 85-86, 2014.

Bektaş, B. ve Sarı, A., Deri ve Deri Mamulleri, *T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüt Merkezi*, Ankara, 2007.

Benhadji, A., Ahmed, M.T. and Maachi, R., “Electrocoagulation and effect of cathode materials on the removal of pollutants from tannery wastewater of Rouiba”, *Desalination* 277, 128-134, 2011.

Can, O.T., Kobyay, M., Demirbas, E. and Bayramoglu, M., “Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation”, *Chemosphere* 62(2), 181 -187, 2006.

Can, O. T., Elektrokoagölasyonda oluşan Al(OH)<sub>3</sub> floğunun özelliklerinin ve proses performansı ile ilişkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, s. 19-23, 2010.

Chen, G., Electrochemical technologies in wastewater treatment, *Separation and Purification Technology* 38, 11-41, 2004.

Çelik, C., Bitkisel tanen ile deri işleme teknolojisinin çevresel etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, s. 6-7, 2014.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Deri Sektörü, Sektörel Atık Kılavuzları, *T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, s. 13-20, 2016.

Çiçek, R., Tuzlanmış derilerden izole edilen bakteriler üzerine sodyum klorür ve borik asitin etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 3-4, 2011.

Danacı, N., Elektrokoagülasyon prosesi ile kağıt endüstrisi atıksularının arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, s. 6-7, 2012.

Daneshvar, N., Oladegaragoze, A. and Djafarzadeh, A., “Decolonization of basic dye solutions by electrocoagulation an investigation of the effect of operational parameters”, *Journal of Hazardous Materials* B129(3), 116-122, 2006.

Dasgupta, J., Mondal, D., Chakraborty, S., Sikder, J., Curcio, S. and Arafat, H.A., “Nanofiltration based water reclamation from tannery effluent following coagulation pretreatment”, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 121, 22-30, 2015.

Deghles, A., Application of electrocoagulation/ electro dialysis treatment for the recovery and reuse tannery wastewater, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 13-14, 2016.

Deghles, A. and Kurt, U., “Treatment of tannery wastewater by a hybrid electrocoagulation/ electro dialysis process”, *Chemical Engineering and Processing* 104, 43-50, 2016.

Devlet Planlama Teşkilatı, Sekizinci Kalkınma Planı 2001-2007, Deri ve Deri Mamulleri Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, *T.C Başbakanlık DPT*, Ankara, 2001.

Devlet Planlama Teşkilatı, Dokuzuncu Kalkınma Planı 2007-2013, Tekstil, Deri ve Giyim Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Deri ve Deri Ürünleri Alt Komisyon Raporu, **T.C Başbakanlık DPT, 2715**, Ankara, s. 275-276, 2007.

Doğan, C., Yün ve akrilik iplik boyahane atıksularından fenton ve elektrokoagülasyon yöntemleri ile renk ve KOİ giderimi, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 27-38, 2011.

Elabbas, S., Ouazzani, N., Mandi, L., Berrekhis, F., Perdicakis, M., Pontvianne, S., Pons, M.N., Lopicque, F. and Leclerc, J.P., “Treatment of highly concentrated tannery wastewater using electrocoagulation: Influence of the quality of aluminium used for the electrode”, **Journal of Hazardous Materials** 319, 69-77, 2016.

Endüstriyel Emisyon Direktifi 2010/75/EU, “Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Tanning of Hides and Skins”, **European Commission**, İspanya, 2013.

Geboloğlu, U., Elektrokimyasal atıksu arıtım prosesi ile arsenik giderimi, Yüksek Lisans Tezi, **Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gebze, s. 68-69, 2010.

Genç, O., Uşak deri fabrikaları kaynaklı atıksuların biyokimyasal açıdan incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Uşak, s. 17-18, 2015.

Gourich B., Merzouk B., Seki A., Madani K., Vial Ch., and Barkaoui M., “Studies on the decolorization of textile dye wastewater by continuous electrocoagulation process”, **Chemical Engineering Journal** 149, 207-214, 2009.

Gutterres, M. , Benvenuti, J., Fontoura, J.T. and Ortiz-Monsalve, S., “Characterization of raw wastewater from tanneries”, **Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists** 99(6), 280-287, 2015.

Güney, S., Elektrokoagülasyon prosesinin çevre mühendisliğindeki uygulamaların araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, s. 19-20, 2013.

Gürbüz, G., Deri endüstrisi atıksularının elektrokoagülasyon ve elektrofenton yöntemleri ile arıtımında RSM kullanılarak proses optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 5-16, 2015.

Holt, P. K., Barton, G. W. and Mitchell. C. A., The future for electrocoagulation as a localized water treatment technology, *Chemosphere* 59(11), 355–367, 2005.

İlhan, F., Sızıntı sularının elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 36-39, 2006.

Kalafat, E., Giyimde ve aksesuarda derinin yeri, Yüksek Lisans Tezi, *Haliç Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, s. 2-22, 2012.

Karabay, S., Waste management in leather industry, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, s. 3-5, 2008.

Karabayır, E., Tekstil boyar maddelerinin elektrokoagülasyon ile arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, s. 14-15, 2011.

Karagözoğlu, B. ve Malkoç, R., “Tekstil atıksularından reactive orange 16 boyasının elektrokoagülasyon prosesi kullanılarak gideriminin araştırılması”, *Cumhuriyet Science Journal* 38(3), 544-556, 2017.

Keerthi, Vinduja, V., and Balasubramanian, N., “Electrocoagulation-integrated hybrid membrane processes for the treatment of tannery wastewater”, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20, 7441–7449, 2013.

Kılıç, E., Deri endüstrisi arıtma çamurlarından kromun oksidatif yöntemle geri kazanılması ve çevresel etkisinin yaşam döngüsü analizi ile değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, s. 1-2, 2010.

Kırlaroğlu, M., Tekstil atıksularının farklı g¼ç kaynakları kullanılarak elektrokimyasal arıtımında optimum Őartların araştırılması, Y¼ksek Lisans Tezi, **Gebze Y¼ksek Teknoloji Enstit¼s¼ M¼hendislik ve Fen Bilimleri Enstit¼s¼**, Gebze, s. 66-67, 2008.

Lofrano, G., Meriç, S., Zengin, G.E. and Orhon, D., “Chemical and biological treatment technologies for the leather tannery chemicals and wastewaters: A review”, **Science of the Total Environment** 461-462, 265-281, 2013.

Ludvik, J., “Chrome balance in leather processing”, **United Nation Industrial Development Organization**, 2000.

Mert, B.K., Deri sanayi atıksularından membran teknolojisi ile Cr (III) geri kazanımının araştırılması, Y¼ksek Lisans Tezi, **Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstit¼s¼**, Bursa, s. 7-8, 2009.

Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J.R. and Cocke, D.L., “Electrocoagulation (EC) – science and applications”, **Journal of Hazardous Materials** B84, 29-41, 2001.

Mollah, M.Y.A., Morkovsky, P., Gomes, J.A.G., Kesmez, M., Parga, J., Cocke, D.L., “Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation”, **Journal of Hazardous Materials**, B114, 199–210, 2004.

Nakiboğlu, T., Deri end¼strisi atıksularından kromun çeşitli alglerle biyosorpsiyonu, Y¼ksek Lisans Tezi, **S¼leyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstit¼s¼**, Isparta, s. 8-9, 2005.

Orhon, D., Genceli, E.A., and Çokgör, E.U., “Characterization and modeling of activated sludge for tannery wastewater”, **Water Environment Federation** 71(1), 50-63, 1999.

Özcan, S., Őeker fabrikası atıksuyunun elektrokoag¼lasyon yöntemi ile arıtımı, Y¼ksek Lisans Tezi, **Atat¼rk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstit¼s¼**, Erzurum, s. 50-51, 2013.

Özdemir, C., Argun, M.E., Dursun, Ş., Karataş, M., Doğan, S. ve Albayrak, M., “Deri Endüstrisi Atık Sularının Başyayla (Karaman) Yöresi Pekmez Toprağı Kullanılarak Arıtılabilirliklerinin İncelenmesi”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi* 6(3), 57-64, 2004.

Özden, M., Boyar maddelerin elektrokoagülasyon ile arıtılabilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, s. 14-41, 2016.

Özkan, A., Hatay’daki deri endüstri atık sularının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, s. 8-31, 2008.

Özgürses, M.T., Elektrokoagülasyon ile reaktif tekstil boya çözeltilerinin arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, s. 39-45, 2003.

Öztekin, T.B., Deri sanayi atı sularından krom (VI) iyonunun adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, s. 1-44, 2009.

Özyonar, F., Entegre Et ve Et Ürünleri Tesisleri Atıksularının Kimyasal Koagülasyon ve Elektrokoagülasyon Yöntemleriyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas, s. 57-58, 2007.

Phalakornkule, C., Sukkasem, P. and Mutchimsattha, C., Hydrogen recovery from the electrocoagulation treatment of dye-containing wastewater, *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(3), 10934- 1094, 2010.

Rajkumar, D. and Kim, J.G., “Oxidation of various reactive dyes with in situ electro-generated active chlorine for textile dyeing industry wastewater treatment”, *Journal of Hazardous Materials* 136(2), 203-212, 2006.

Sabuncu, M.E., Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtımında RSM kullanılarak proses optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 22-23, 2014.

Saydam, M., “Bor Deri Endüstrisinde Atık Sularının İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s. 30-31, 1998.

Sektör Raporları, Deri ve Deri Mamulleri Sektör Raporları, *T.C Ekonomi Bakanlığı*, Ankara, 2016.

Scott K., Electrochemical processes for clean technology, University of Newcastle upon Tyne, The Royal Society Of Chemistry Cambridge, UK-Cambridge, 1995.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20, American public Health Association, Washington D.C., 1998.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2004, Resmi Gazete Sayısı: 25687.

Şanlı, N., Deri sanayi atıksularının kimyasal koagülasyon ve elektrokoagülasyon ile arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, s. 1-20, 2006.

Şengil, İ.A., Kulaç, S. ve Özacar, M., “Treatment of tannery liming drum wastewater by electrocoagulation”, *Journal of Hazardous Materials* 167, 940-946, 2009.

Şengül, F., Endüstriyel Atık suların Özellikleri ve Arıtılması, 2, 172, *Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları*, İzmir, 1991.

Tayyar, Ş. and Yapıcı, A.N., “Seed germination characteristics of broad bean, lentil and common bean irrigated with different dilutions of pre-tanning effluents”, *Interciancia* 34(7), 514-517, 2009

Topal, S., Kağıt endüstrisi atıksuyunun elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, s. 6-13, 2015.

Tünay, O., Endüstriyel Kirlenme Kontrolü, 1, *İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası*, İstanbul, 1996.

Vaghela, S.S., Jethva, A.D., Mehta, B.B., Dave, S.P., Adimurthy, S. and Ramachandraiah, G., “Laboratory studies of electrochemical treatment of industrial azo dye effluent”, *Environmental Science Technology* 39(8), 2848-2855, 2005.

Varank, G., Güvenç, S.Y., Gurbuz, G. and Engin, G.O., “Statistical optimization of process parameters for tannery wastewater treatment by electrocoagulation and electro-fenton techniques”, *Desalination and Water Treatment* 57(53), 25460-25473, 2016.

Yılmaz, A. E., Endüstriyel atıksulardan elektrokoagülasyon yöntemi ile bor giderimi, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, s. 28-29, 2009.

Yılmaz, O., Deri sanayii katı atıklarından aktif karbon üretilebilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, s. 2-3, 2005.

<http://kazlicesme.blogspot.com>, 24.03.2016.

<http://dericilik.blogspot.com>, 24.03.2016.

## ÖZ GEÇMİŞ

1992 yılında Niğde’de doğdu. İlköğrenimini Sümer İlkokulu’nda, Orta öğrenimini Cumhuriyet İlköğretim Okulu’nda Niğde’de tamamladı. Lise öğrenimini ise Niğde Atatürk Lisesi’nde tamamladı. 2014 yılında Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı.



## TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER (MAKALE VE BİLDİRİ)

Bu tez çalışmasından, 1 (bir) adet uluslararası makale ile 1 (bir) adet ulusal ve 1 (bir) adet uluslararası bildiri üretilmiştir. Bu üretilen çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

1. Durmaz, U., Çiner, F., “Treatability of Tannery Wastewater by Electrocoagulation Process”, Book of Abstracts of the 3rd International Conference on Engineering and Natural Sciencec(ICENS), pp. 507, ISBN: 978-605-83575-4-9, 3-7 May 2017, Budapest, Hungary. (Özet)
2. F. Çiner, U. Durmaz, “Elektrokoagülasyon Prosesi ile Deri Endüstrisi Atıksularının Arıtılabilirliği”, 12. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Bildiri Özetleri Kitabı, s.72 74, 5-7 Ekim 2017, Ankara. (Özet)
3. Durmaz, U., Çiner, F., 2017. “Treatability of Tannery Wastewater by Electrocoagulation Process”, Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 5(2), 245-250.

