



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ



DERİ ATIKSUYUNDAN ELEKTROHİDROLİZ
PROSESİ İLE HİDROJEN GAZI ÜRETİMİ
Hande KÜÇÜKPELVAN
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DERİ ATIKSUYUNDAN ELEKTROHİDROLİZ
PROSESİ İLE HİDROJEN GAZI ÜRETİMİ**

Hande KÜÇÜKPELVAN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih:27/08/2019

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ

ÇANAKKALE

Hande KÜÇÜKPELVAN tarafından Doç. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ yönetiminde hazırlanan ve **27/08/2019** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Deri Atıksuyundan Elektrohıroliz Prosesi ile Hidrojen Gazı Üretimi**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Doç. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ

.....

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Akın ALTEN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Aliye Suna ERSES YAY

.....

Üye

Prof. Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:.....

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Hande KÜÇÜKPELVAN

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının gerçekleőtirilmesinde, her türlü olanağı sağlayarak yardımlarını benden esirgemeyen ve fikirleriyle bana yol gösteren saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ'e sonsuz teőekkürleri ederim.

Saygı değer bölüm hocalarıma çalıőmalarım süresince her türlü desteğini esirgemeyen tüm yüksek lisans ğrencisi arkadaőlarıma teşekkür ederim. Ayrıca tez jrime değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında yanımda olan, bana g veren, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili anneme ve ablama sonsuz teşekkür ederim.

Hande KKPELVAN
anakkale, Ağustos 2019

SİMGELER VE KISALTMALAR

L.	Litre
ml.	Mililitre
Kg	Kilogram
g	Gram
%	Yüzde oranı
Dk.	Dakika
Sn.	Saniye
ppm	Milyonda Bir
nm.	Nanometre
V	Volt
EH	Elektrohidroliz
KOI	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOI	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
AKM	Askıda Katı Madde
TKM	Toplam Katı Madde
SKKY	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
Al	Alüminyum

ÖZET

DERİ ATIKSUYUNDAN ELEKTROHİDROLİZ PROSESİ İLE HİDROJEN GAZI ÜRETİMİ

Hande KÜÇÜKPELVAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ

27/08/2019, 45

Türkiye'deki en önemli endüstrilerden biri olan deri endüstrisinde yüksek hacimlerde ve konsantrasyonlarda atıksu oluşmaktadır. Bu atıksu; önemli miktarda yün, kıl, deri parçaları, kavelata atıkları, çeşitli kimyasalları, proteinleri, asitleri ve krom gibi ağır metalleri içermektedir. Deri endüstrisi atıksularında en önemli kirletici parametreler organik madde, sülfür, krom, yağ gres ve askıda katı maddedir. Bu tez çalışmasında deri atıksuyuna elektrohıroliz prosesi uygulanmış ve elektrohıroliz sonrası elde edilen kirletici giderim verimleri, hali hazırda faaliyet gösteren Gönen Deri Sanayi atıksu arıtma tesisi deşarj değerleri ile karşılaştırılmıştır. Farklı işletme şartlarında elektrohıroliz prosesinin etkinliği incelendiğinde en yüksek hidrojen gazı üretimi 8 volt ve 3 saat işletme süresinde 5350 ml olarak elde edilmiştir. Kirletici giderim verimleri ele alındığında, optimum koşullarda elektrohıroliz prosesi sonucunda; 8 volt geriliminde pH 6.5'da 1,5 gr NaCl ilavesi ile 2 saat işletme süresinde yaklaşık %90 tKOI, %90 çKOI, %93 AKM, %98 renk giderim verimi, 4300 ml hidrojen gazı üretimi elde edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Deri Atıksu, Hidrojen, Elektrohıroliz, Hidrojen Gazı Üretimi, KOI

ABSTRACT

HYDROGEN GAS PRODUCTION FROM LEATHER WASTEWATER BY ELECTROHYDROLYSIS PROCESS

Hande KÜÇÜKPELVAN

ÇanakkaleOnsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master of Science Thesis in Environmental Engineering

Advisor:Doç. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ

27/08/2019, 45

One of the most important industries in Turkey is the leather industry and this industry produces high volumes of wastewaters with high pollutant concentrations. The wastewater contains a large amount of hair, wool, skin fragments, kavelata wastes, dissolved proteins, various chemicals, acids and heavy metals such as chromium. The most important pollutant parameters in leather industry wastewaters are organic matter, sulfur, chromium, oil grease and suspended solids. In this thesis, electrohydrolysis process was applied to leather wastewater and pollutant removal efficiencies of the process are compared with discharge values of Gönen leather industrial wastewater treatment plant. When the efficiency of electrohydrolysis process was examined under different operating conditions, the highest production of hydrogen gas was achieved as 5350 ml at 8 volt in 3 hours electrohydrolysis operating time. The pollutant removal efficiencies were achieved as 90% COD, 90% sCOD, 93% TSS and 98% color removal at optimum conditions with the addition of 1.5 g NaCl at pH 6.5 and at 8 volt during 2 hours operating time. At these conditions, 4300 ml hydrogen gas production was obtained.

Keywords: Leather Wastewater, Hydrogen, Electrohydrolysis, Hydrogen Gas Production, COD

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. Deri İşleme Prosesleri ve Sonrasında Oluşan Atıksu Karakterizasyonu	2
1.1.1. Ön İşlemler	2
1.1.2. Tabaklama	2
1.1.3. Islak Bitirme İşlemleri	3
1.1.4. Son İşlemler	3
1.2. Deri Endüstrisi Proses Suyu Kullanımı.....	3
1.3. Deri Endüstrisi Atık Profili ve Karakterizasyonu	3
1.4. Deri Endüstrisi Atıksuyunun Arıtımı	5
1.4.1. Fiziksel Arıtım Yöntemleri.....	6
1.4.2. Kimyasal Arıtım Yöntemleri	6
1.4.3. Biyolojik Arıtım Yöntemleri	7
1.4.4. İleri Arıtım Yöntemleri.....	7
1.4.5. Elektrokimyasal Yöntemler	8
1.4.6. Kombine Prosesler.....	8
BÖLÜM 2	9
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	9
BÖLÜM 3	12
MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. Deri Sanayinin Özellikleri.....	12
3.1.1. Gönen Deri Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi.....	13
3.1.2. Ham Atıksu Karakteri.....	14
3.1.3. İşletme Maliyetinin Belirlenmesi	15

3.2. Analizler.....	16
3.3. Elektroliz Prosesi	16
BÖLÜM 4.....	18
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	18
4.1. Elektroliz Prosesi	18
4.1.1. Deri Atıksuyuna Farklı Voltlarda EH Uygulaması Sonucu Hidrojen Gazı Üretimi ve Giderim Verimleri	18
4.1.2. Farklı Voltlarda ve Farklı Sürelerde EH Prosesinin Uygulaması Sonucu tKOl, çKOl, AKM, Renk Değişimi.....	21
4.1.3. Deri Atıksuyuna 8 V'da ve Farklı pH Değerlerinde EH Uygulaması Sonucu Hidrojen Gazı Üretimi ve Giderim Verimleri	26
4.1.4. Farklı Voltlarda ve Farklı pH Değerlerinde EH Prosesinin Uygulaması Sonucu tKOl, çKOl, AKM, Renk Değişimi ve Giderim Verimleri.....	27
4.1.5. Deri Atıksuyuna 8 V Gerilim pH 6,5 Değerinde Farklı Miktarda NaCl İlavesi İle EH Uygulaması Sonucu Hidrojen Gazı Üretimi ve Giderim Verimleri.....	30
4.1.5.1. Farklı Miktarda NaCl İlavesi İle EH Uygulaması	30
4.1.5.2. pH 6.5 Değerinde Farklı Miktarda NaCl İlavesi İle 8 Volt Geriliminde EH Prosesinin Uygulaması Sonucu TKOl, çKOl, AKM, Renk Giderim Verimleri	32
4.1.6. Elektroliz Maliyet Analizi.....	35
BÖLÜM 5.....	38
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	38
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	I

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Elektroliz prosesi deney düzeneği.....	17
Şekil 4.1. Deri atıksuyuna 2 saat süresince farklı voltlarda EH uygulandığında elde edilen hidrojen gazı miktarı, mL	19
Şekil 4.2. Deri atıksuyuna 3 saat farklı voltlarda EH uygulandığında elde edilen hidrojen gazı miktarı, mL	20
Şekil 4.3. Deri atıksuyuna farklı voltlarda 4 saat süresince EH uygulandığında elde edilen hidrojen gazı miktarı, mL	21
Şekil 4.4. Deri atıksuyuna farklı voltlarda ve farklı sürelerde EH prosesi uygulandığında tKOH değişimi.....	22
Şekil 4.5. Deri atıksuyuna farklı voltlarda ve farklı sürelerde EH prosesi uygulandığında çKOH değişiminin ham deri atıksu numunesiyle karşılaştırılması	23
Şekil 4.6. Ham deri atıksuyuna farklı voltlarda ve farklı sürelerde EH prosenin uygulandığında AKM değişimi.....	24
Şekil 4.7. Ham deri atıksuyuna farklı voltlarda, farklı sürelerde EH prosesi uygulandığında renk değişimi.....	25
Şekil 4.8. Deri atıksuyuna farklı pH değerlerinde EH uygulandığında hidrojen gazı miktarı, mL	27
Şekil 4.9. Deri atıksuyuna farklı pH değerlerinde ve farklı sürelerde EH prosenin uygulandığında tKOH değişimi.....	28
Şekil 4.10. Deri atıksuyuna farklı pH değerlerinde ve farklı sürelerde EH prosenin uygulandığında çKOH değişimi	28
Şekil 4.11. Deri atıksuyuna farklı pH değerlerinde ve farklı sürelerde EH prosesi uygulandığında AKM değişimi.....	29
Şekil 4.12. Deri atıksuyuna farklı pH değerlerinde ve farklı sürelerde EH prosesi uygulandığında renk değişimi.....	30
Şekil 4.13. Deri atıksuyuna 8 V geriliminde pH 6.5’da 1 saat EH uygulaması NaCl denemesinde hidrojen gazı üretimi, mL.....	31
Şekil 4.14. Deri atıksuyuna 8 V geriliminde pH 6.5’da 2 saat EH uygulaması sonucu farklı NaCl konsantrasyonları eklendiğinde hidrojen gazı üretimi, mL.....	31
Şekil 4.15. Deri atıksuyuna 8 V geriliminde pH 6,5’da NaCl denemesinde EH prosenin uygulaması sonucu tKOH değişimi	32
Şekil 4.16. Deri atıksuyuna 8 V geriliminde pH 6.5’da NaCl denemesinde EH prosenin uygulaması sonucu çKOH giderim verimi	33
Şekil 4.17. Deri atıksuyuna 8 V geriliminde pH 6,5’da NaCl denemesinde EH prosesi uygulandığında AKM giderim verimi	33
Şekil 4.18. Deri atıksuyuna 8 V geriliminde pH 6.5’da EH prosesinde farklı NaCl konsantrasyonları eklendiğinde renk giderim verimi	34

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Deri atıksuyunun çeşitli kirletici parametreleri bazında ortalama karakterizasyon değerleri	4
Çizelge 3.1. Deri üretim proseslerinde kullanılan kimyasal maddeler	13
Çizelge 3.2. Deri sanayinde yer alan hammadde ve üretim kapasiteleri	13
Çizelge 3.3. Deri sanayi arıtma prosesleri ve giderim verimleri	14
Çizelge 3.4. Deri organize sanayi ortak atıksu arıtma tesisi giriş atıksu değerleri	15
Çizelge 4.1. Su kirliliği kontrol yönetmeliği ile EH prosesinde elde edilen sonuçların karşılaştırılması	34



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Deri endüstrisi, Türkiye'deki en hızlı gelişim gösteren ve önemli ekonomik değerlerden biridir. Deri sektörü; ayakkabı sanayi, deri kimyasalları, deri eşya ve konfeksiyonunu kapsamaktadır. Türkiye deri ve deri mamülleri, İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri raporuna göre; 2018 Ocak-Nisan ihracatı, % 22,2 artışla 593 milyon dolar olarak kaydedilmiştir. Ancak deri sanayi ekonomideki getirilerine rağmen, oluşturduğu yüksek hacimde ve yüksek kirletici konsantrasyonlarda atıksu nedeniyle çevreye olumsuz etkileri olan sanayi olarak görülmektedir (Alexander, 1990; Bitlisli, 1999).

Deri ürünlerinin üretimi sırasında yüksek miktarda su kullanılmakta ve ortaya çıkan kıl, deriden kopan yağ, et parçaları ve proses sırasında kullanılması gereken çok çeşitli kimyasal maddeler atıksuya karışarak kirletici yükü fazla olan bir atıksu oluşturmaktadır. Deri atıksularının ortak arıtma tesislerinde arıtılabilmesi için deri üretiminin Organize Sanayi Bölgelerinde yapılması tercih edilmektedir. Endüstri atıksuları için her bir endüstri kuruluşunun ayrı arıtma tesisi yapması, çok büyük yatırımlar gerektirdiği için merkezi arıtma tesisi yapılması tercih edilmektedir. Organize Sanayi Bölgelerinde ilk yatırım ve işletme maliyeti, uygun arıtma tesisinin seçilmesi bölgedeki endüstrilerin katılım paylarının hesaplanması için önemli olmaktadır.

Derinin işlenmesi sırasında en son tekniklerin kullanılmasına rağmen, ham derinin yün, kıl, yağ ve et parçalarından ayrılması atıksuyun kirlilik yükünü arttırmakta ve atıksu arıtımını zorlaştırmaktadır. Kompleks içeriği nedeniyle, deşarj standartlarını sağlayabilmek için fiziksel, kimyasal, biyolojik ve hatta ileri arıtma metodlarının kullanılmasını ayrıca krom ve sülfür içeren atıksuların ayrı toplanarak arıtılması gerekmektedir. Üretimde; kroma alternatif yeni tabaklama maddelerinin bulunmasına, oluşan atık miktarını azaltmaya, oluşan atıkların tekrar değerlendirilmesine ve çevre dostu yeni yöntemlerin kullanılması üzerinde hassasiyetle durulmaktadır. Son yıllarda, deri üretiminde 'Eko- Deri', 'Bio-Deri', 'Green-Leather' gibi çevre dostu üretim metotları kullanılarak insan sağlığına ve doğaya uyumlu yöntemler benimsenmektedir. Ancak hala kirletici potansiyeli yüksek ve arıtımı pahalı olan deri atıksuları için farklı arıtma teknolojilerinin araştırılması önem arz etmektedir.

Bu tez kapsamında deri atıksuyuna elektroliz prosesi uygulanmış, prosesin kirletici giderim verimleri ve hidrojen gazı üretimi potansiyeli incelenmiştir. Ayrıca

elektrohidroliz prosesinden elde edilen sonuçlar, Gönen Deri Sanayi atıksu arıtma tesisinin deşarj değerleri ile karşılaştırılmıştır.

1.1. Deri İşleme Prosesleri ve Sonrasında Oluşan Atıksu Karakterizasyonu

Deri işleme prosesleri; ön işlemler, tabaklama, ıslak bitirme işlemleri ve deriye uygulanan son işlemler olarak sınıflandırılabilir.

1.1.1. Ön İşlemler

Ham deriye uygulanan ıslatma, kireçleme, kıl giderme, kireç giderme, sama, pikle vb.gibi ön işlemler sayesinde, derinin et parçalarından ayrılarak sonraki proseslerde kullanılacak kimyasalların deriye işlenmesi sağlanmaktadır.

Islatma işleminde, tuzlanarak korunan derinin tekrar su kazanarak ilk ham haline dönmesi, ayrıca üzerindeki kir ve tuzun giderilmesi sağlanmaktadır. Bu aşamada yüksek hacimlerde su ve düşük miktarda koruyucu madde kullanılmaktadır (Thanikaivelan ve ark., 2005). Katkı maddesi olarak alkali ürünler, bakterisitler ve enzim preparatları kullanılmaktadır (Karabay, 2008). Dolayısıyla ıslatma aşamasında oluşan atıksu; deriden ayrılan tuz, proteinler, atıksuyun BOİ ve KOİ yükünü arttıran diğer organik maddeleri içermektedir (Thanikaivelan ve ark., 2005).

Pikle işleminde; tabaklamada kullanılacak maddelerin deriye işlenmesini sağlamak için yüksek miktarlarda asit kullanılarak derinin pH'sının yaklaşık 3 civarına indirilmesi amaçlanmaktadır (Gtz, 2002). Ayrıca bu aşamada tuz katılarak derinin asit nedeniyle kabarması engellenir. Koruma amaçlı fungusit ve bakterisitler de kullanılabilir (Gtz, 2002).

1.1.2. Tabaklama

Tabaklama aşamasında derinin yüksek ısıya ve bakteri üremesine dayanıklılığını sağlamak için mineral, bitkisel ve sentetik organik maddelerden biri kullanılmaktadır. Krom en çok kullanılan tabaklama kimyasallarından biridir (Thanikaivelan ve ark., 2005). Kromla tabaklamada yüksek miktarda su kullanımı vardır (Topbaş ve ark., 1998). Kromun tehlikeli bir kimyasal olması nedeniyle, son yıllarda kromla tabaklama yerini bitkisel tabaklamaya bırakmıştır.

Bitkisel tabaklama işleminde ise, öncelikle düşük miktarda tabaklayıcı madde eklenmekte, işlem ilerledikçe miktar kademeli olarak arttırılmaktadır. Bu tabaklamada

dayanıklılık sınırlıdır (Karabay, 2008). Bitkisel tabaklamada su sarfiyatı daha az gerçekleşmektedir (Topbaş ve ark., 1998).

1.1.3. Islak Bitirme İşlemleri

Islak bitirme işlemleri ağartma, nötralizasyon, retenaj, renklendirme ve yağlama aşamalarından oluşmaktadır (Karabay, 2008). Derinin rengini açmak için ağartıcı kimyasallar, retenaj için reçineler, aldehitler, boyama işleminde asit boyalar veya bazik boyalar, yağlama işleminde bitkisel, hayvansal veya mineral yağ bazlı sentetik kaynaklı yağlar kullanılabilir.

1.1.4. Son İşlemler

Islak bitirme işlemlerinden geçen krust deriyi yumuşatmak ve deride görülen hataları kapatmak için (Gtz, 2002) derinin direnci artırılır ve daha sonra konfeksiyon adımına gönderilir.

1.2. Deri Endüstrisi Proses Suyu Kullanımı

Deri endüstrisinde yüksek miktarda su kullanılmaktadır (Thanikaivelan ve ark., 2005). Gerek deri üretim alanlarının ve ekipmanların temizliği gerekse deri üretim prosesleri sonucunda organik ve kimyasal madde yükü fazla olan bir atıksu oluşmaktadır. Ayrıca deri üretim prosesinde kullanılan boyaya bağlı olarak renkli atıksu oluşmaktadır. Konvansiyonel deri üretimi sırasında; ıslatma için 7-9 m³/t, kireçleme için 9-15 m³/t, kireç giderme ve sama işlemleri için 7-11 m³/t, tabaklama için 3-5 m³/t, ıslak bitirme işlemleri için 7-13 m³/t, son işlemler için 1-3 m³/t olmak üzere toplam 34-56 m³/t su kullanılmaktadır (Ludvik, 2000).

1.3. Deri Endüstrisi Atık Profili ve Karakterizasyonu

Deri endüstrisinde üretim ve üretim temizliği için kullanılan su atıksuya dönüşmektedir. Deri üretiminin değişik kademelerinde; kireç, tuz, sülfürik asit, zırnık, selülozik esaslı solventler, amonyum sülfat, zayıf organik asitler, soda, boyar maddeler, tanenler, yağlar, sodyum format, krom kullanılabilir (Kestioğlu, 2000). Dolayısıyla, deri endüstrisi atıksuları; yüksek konsantrasyonlarda organik ve inorganik madde, tuz, amonyak, askıda katı madde, yağ ve gres, krom, sülfür, fenoller ve mikrokirleticiler içerebilir (Bailey ve ark., 1984; Macchi ve ark., 1991). Deri üretiminde kromla tabaklama prosesi kullanıldığı durumda kullanılan kromun %60-80'lik bölümü deriye

geçmekte, geri kalan kısmı atıksuya karışmaktadır (Nriagu ve ark., 1988). Çizelge 1.1’de literatürde rapor edilen ve deri işlenmesi sırasında oluşan atıksuların karakterizasyonları verilmiştir.

Çizelge 1.1. Deri atıksuyunun çeşitli kirletici parametreleri bazında ortalama karakterizasyon değerleri

Parametreler	Islatma		Kıllı giderme kireçlik		Sama kireç		Turşu	Krom ile tabaklama	Yeniden tabaklama		Referans
	Min.	Mak.	Min.	Mak	Min	Mak			Min.	Maks	
pH	6	10	12,5	13	6	11	4	3,2	4	10	Cassano ve ark., 2001
Sıcaklık,	10	30	10	25	20	35	-	-	20	60	Cassano ve ark., 2001
BOI, g/l	2	5	0,5	2	1	4	0,1	0,25	6	1,5	Cassano ve ark., 2001
KOI, g/l	3	6					1	3			Sundarapandiyani ve ark., 2010
	5	11,8	20	40	2,5	7	0,8	0,4	15	75	Cassano ve ark., 2001
TSS, g/l	25	40					30	70			Sundarapandiyani ve ark., 2010
	2,3	6,7	6,7	25	2,5	10					Cassano ve ark., 2001

Çizelge 1.1.'in devamı

Parametre	Islatma		Kıl giderme kireçlik		Sama kireç		Turşu	Krom ile tabaklama	Yeniden tabaklama		Referanslar
	Min	Mak.	Min	Mak.	Min	Mak.			Min	Mak.	
TDS, g/l	22	33					29	67			Sundara-pandiyan ve ark., 2010
Cl, g/l	15	30					20	30			Sundara-pandiyan ve ark., 2010
	17	50	3,3	25	2,5	15	2	5	8,95	10	Cassano ve ark., 2001
Sülfit, g/l	0	0,7	2	3,3	0,025	0,25					Sundara-pandiyan ve ark., 2010
Cr (III), g/l	-	-	-	-	-	-	-	4,1	0	3	Cassano ve ark., 2001
NH ₃ -N, g/l	0,85		0,38		3,8		0,67			0,53	Tunay ve ark., 1995

1.4. Deri Endüstrisi Atıksuyunun Arıtımı

Deri endüstrisi deri işleme prosesine bağlı olarak atıksu miktarı ve atıksu karakteri açısından değişim göstermektedir. Kompleks içeriği nedeniyle, deşarj standartlarını sağlayabilmek için fiziksel, kimyasal, biyolojik ve hatta ileri arıtma metodlarının kullanılmasını ayrıca krom ve sülfür içeren atıksuların ayrı toplanarak yönetilmesini gerektirmektedir. Kromun geri kazanılması veya alternatif tabaklama maddelerinin kullanılması atıksu karakterini etkilemektedir.

Literatürde koagülasyon-flokülasyon (Ayoub ve ark., 2011; Tadesse ve ark., 2006), adsorpsiyon (Açıkel, 2015), membran (Munz ve ark., 2009; Aslan, 2014; El-Tayieb ve ark., 2013), elektrofenton (Kurt ve ark., 2007), elektrokimyasal (Sundarapandiyan ve ark., 2010), ozonlama ve biyolojik arıtma (Doğruer ve ark., 2006), ozonlama (Preethi ve ark.; 2009; Schrank ve ark., 2009), ileri oksidasyon (Schrank ve ark., 2005), iyon değişimi

(Lofrano ve ark., 2013) ve adsorpsiyon (Santosa ve ark., 2008; Gupta ve Babu, 2009) gibi birçok arıtım metodu deri atıksuyunun arıtımı için rapor edilmiştir.

1.4.1. Fiziksel Arıtım Yöntemleri

Deri endüstrisi atıksularından deri parçaları, kıl, yün ve kavaleta atıkları gibi kaba maddelerin giderilmesi amacı ile fiziksel arıtma işlemleri uygulanmaktadır. Kireçleme, kıl giderme ve sepilme prosesinden gelen atıksular için ön arıtım mutlaka gereklidir. Deri atıksuyu için dengeleme ve ön çöktürme işlemleri genelde kullanılmaktadır. Ham derinin mamul deri haline getirilmesi sırasında kesikli prosesler kullanılması nedeniyle atıksu farklı karakterizasyonlara sahip olabilmektedir. Bu nedenle dengeleme işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Kıl giderme-kireçleme prosesinden gelen atıksuların pH değeri yaklaşık olarak 12,5 iken asidik piklaj prosesinden gelen atıksuların pH değeri yaklaşık 3-3,5'dur. Dengeleme havuzunda atıksuyun karışım pH değeri yaklaşık 8,5-9 olmaktadır.

Deri endüstrisi atıksularının; kireçlik prosesi nedeniyle alkali değeri yüksek, kıl sökme prosesi nedeniyle sülfür ve krom konsantrasyonu fazladır. Bu atıksuların ana atıksu akımına karıştırılmadan ayrı toplanıp arıtılması, arıtmanın güvenliği ve verimliliği açısından önemlidir. Deri işleme prosesinin kesikli karakterde olması nedeniyle atıksu debisinde ve kirletici içeriğinde herhangi bir arıtma sisteminin çalışmasını zorlaştıracak ölçüde büyük dalgalanmalar meydana gelmektedir. Bu nedenle dengeleme işlemi deri endüstrisi atıksularının arıtımında olması gereken önemli bir prostestir. Dengeleme prosesinde karıştırıcıların bulunması ve havalandırma işleminin uygulanması biyolojik aktivitenin gerçekleşmesine ve KOI giderimine önemli ölçüde katkıda bulunmasını sağlamaktadır.

Deri atıksuyunun arıtımında çökebilir katıların yüksek konsantrasyonu nedeniyle ön çöktürme işlemi uygulanmaktadır. Ön çöktürme prosesi ile AKM ve BOI₅ parametrelerinde önemli ölçüde giderim sağlanmaktadır. Bu değer AKM için %40-90, BOI₅ için %30-50 arasında değişirken, çıkış akımında 10 mg/l den fazla krom kalmaktadır (Kalender, 1981). Ateş ve ark. (1997) ön çöktürme işlemi ile deri atıksuyundan %73 AKM, %51 KOI, ve %64 krom giderim verimi elde edilebildiğini rapor etmişlerdir.

1.4.2. Kimyasal Arıtım Yöntemleri

Deri endüstrisi atıksuyuna kimyasal çöktürme uygulandığında, organik madde giderimine KOI ve BOI₅ parametreleri bazında olumlu etki yapmaktadır. Talınlı (1994) tarafından yapılan bir çalışmada aynı atıksuya Alum, FeCl₃, Alum+Kireç, FeCl₃+Kireç

gibi farklı kimyasallar uygulandığında en yüksek KOİ giderim verimi %63 kireç ile elde edilmiştir. Bir başka çalışmada alum ve poli ile %79 giderim verimi elde edilmiştir (Ateş ve ark., 1997). Kabdaşlı ve Tünay (1992); FeCl₃'ün farklı dozlarını deri atıksuyu için denemiş, 2500 mg/L dozunda %93 KOİ verimini elde etmişlerdir. Kabdaşlı ve Tünay (1992) sülfür oksidasyonu sonrasında kimyasal çöktürme işlemi uygulanan deri atıksuyunda yaklaşık %73,9 KOİ verimi, %34,1 TKN verimi elde etmişler, giriş konsantrasyonu 1326 mg/l olan kromun ise tamamen uzaklaştırıldığını rapor etmişlerdir. Ateş ve ark. (1997) kimyasal çöktürme uyguladıklarında, %82 toplam KOİ, %43 TKN, %69 sülfür, %99 toplam krom ve %91 AKM giderim verimi elde etmişlerdir.

1.4.3. Biyolojik Arıtım Yöntemleri

Deri endüstrisi atıksularının biyolojik arıtılabilirliğinin belirlenmesinde, biyolojik olarak ayrışabilir maddelerin belirlenmesi atıksu deşarj standartlarının sağlanması açısından oldukça önemlidir. Deri endüstrisi atıksuları, kompleks özellikleri dolayısıyla biyolojik arıtmayı etkileyen çeşitli parametreleri içermektedir. Literatürde, deri endüstrisi atıksularının biyolojik arıtımı üzerine çok sayıda araştırma bulunmaktadır.

Pseudomonos ile yapılan bir çalışmada, %81 KOİ, %85 BOİ, %100 sülfür giderimi rapor edilmiştir (Sekaran ve ark., 1996). *Vibrio sp* ile yapılan çalışmada ise yaklaşık %88 KOİ, %90 BOİ giderimi elde edilmiştir (Ramteke ve ark., 2010).

Deri atıksuyunun anaerobik arıtımına yönelik olarak yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör ile yürütülen çalışmalarda 5 günlük hidroluk bekletme süresinde 0,5 kg KOI/m³.gün organik yükleme hızında, %78 KOİ giderimi elde edilmiştir (Lefebvre ve ark., 2006) Aynı atıksu anaerobik reaktör sonrası aerobik reaktöre beslendiğinde KOİ giderim veriminin %96'ya yükseldiği belirtilmiştir.

1.4.4. İleri Arıtım Yöntemleri

Biyolojik arıtma çıkışı atıksuyun kalitesini iyileştirmek için aktif karbon filtreleri ve amonyağın arıtımı amacıyla distilasyon, ters osmoz ve iyon değişimi gibi ileri arıtım prosesleri deri atıksularının arıtılmasında kullanılabilir (Kabdaşlı ve Tünay, 1992). Deri atıksuyuna membran ve adsorpsiyon proseslerinin de uygulandığı çeşitli çalışmalar literatürde rapor edilmiştir (Toprak ve Girgin, 1999; Guo ve ark., 2005).

1.4.5. Elektrokimyasal Yöntemler

Elektrokimyasal proseslerin, işletme maaliyetini azaltması, ekipman gereksiniminin az olması, kimyasal madde kullanılmaması, çamur oluşumunun az olması gibi nedenlerden dolayı son yıllarda deri atıksuyu arıtımında kullanılmasıyla ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır (Deghles ve Kurt, 2017). Elektrokimyasal arıtım; atıksuyun pH'sına, iletkenliğine, elektrot türüne, akım yoğunluğuna ve uygulama süresine bağlı olarak prosesin verimi değişiklik göstermektedir. Elektrokoagülasyon prosesinde kullanılan elektrotlar metal hidroksit birleşiklerini oluşturarak kirletici giderimi sağlamaktadır. Ayrıca elektrokoagülasyon prosesleri sonucu oluşacak çamurun kolay çökebilir ve susuzlaştırılabilir olması avantajına sahiptir (Özyoner ve Karagözoğlu, 2012)

Elektrokimyasal prosesi; koagülasyon, adsorpsiyon, absorpsiyon, çöktürme ve flotasyon gibi mekanizmaları içermektedir. Elektrokoagülasyon prosesinde kullanılan elektrotlar metal hidroksit birleşiklerini oluşturarak kirletici giderimi sağlamaktadır. Elektrokoagülasyon sırasında yaygın olarak kullanılan elektrotlar (alüminyum, demir) belli oranda su içerisinde çözünmeye uğrar ve çözünen bileşikler proseste koagülant olarak yer almaktadır (Mollah ve ark., 2001). Literatürde, bu proses verimli olarak uygulandığında kimyasal arıtmaya alternatif bir proses olacağı rapor edilmiştir. (Pouet ve ark., 1995).

1.4.6. Kombine Prosesler

Kompleks içeriği nedeniyle deri atıksuyunun arıtımı için konvansiyonel ve ileri arıtım proses kombinasyonları denenmiştir. Konvansiyonel sistemden sonra arıtılan sular ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon membranlarından geçirildiği çalışmalar mevcuttur (Fabiani ve ark., 1996; Gisi ve ark., 2009; Cassano ve ark., 1996).

Gisi ve ark. (2009) ters ozmos ve klasik aktif çamur prosesini deri atıksuyuna uygulamış; aktif çamur prosesiyle %67 KOİ giderimi elde edilirken, bu sistemi takiben membran prosesi kullanıldığında giderim veriminin %97'ye yükseldiğini rapor etmişlerdir.

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Deri atıksuyunun kompleks içeriği birçok arıtma yönteminin kullanılmasını ve bu yöntemlerle ileri arıtım metodlarının kombinasyonunun yapılmasını gerektirebilmektedir. Bu nedenle atıksu arıtımının maliyeti yüksek olmakta ayrıca atıksu arıtımı sonrası oluşan kimyasal ve biyolojik çamurun bertarafı için ek arıtım metodları kullanılması gerekmektedir. Bu durum önemli bir ek maliyet oluşturmaktadır. Deri sanayinde daha çevreci alternatiflerin denenmesi önem arz etmektedir. Son yıllarda deri atıksuyunun elektrokimyasal prosesler ile arıtımı üzerine literatürde birçok çalışma görülmektedir.

Durmaz ve Çiner (2017) deri atıksuyuna uyguladıkları elektrokoagülasyon ile KOI ve AKM giderim verimini araştırdıkları çalışmada, alüminyum elektrotları kullanarak optimum koşullarda pH 6'da $22,7 \text{ mA/cm}^2$ akım yoğunluğunda 60 dakika elektroliz sürecinde %49 KOI ve %42 AKM giderim verimi elde edilmiştir. Mevcut arıtma işleminin optimum durumda elektrik enerjisi tüketimi $17,25 \text{ kWh/m}^3$ olarak bulunmuştur.

Deghles ve Kurt (2016) deri atıksuyundan KOI, $\text{NH}_3\text{-N}$, krom ve rengin uzaklaştırılması için elektrokoagülasyon/elektrodiyaliz proseslerinin performansını araştırdıkları çalışmada, elektrokoagülasyon prosesinde alüminyum ve demir elektrotlarının elektroliz süresine etkisini incelemişlerdir. Elektrokoagülasyon işleminden sonra deri atıksuyu elektrodiyaliz prosesine entegre edilmiştir. Alüminyum elektrotlarla ($0,371 \text{ mS/cm}^2$ akım yoğunluğu) 45 dakika işletme süresinde elektrokoagülasyon prosesi yapıp elektrodiyaliz işlemi uygulandığında %92 KOI, %100 $\text{NH}_3\text{-N}$, %100 krom ve %100 renk giderim verimi elde edilmiştir. Demir elektrotlarla 75 dakikada işletme süresi ve $1,5 \text{ mS/cm}^2$ 'lik iletkenlik değerinde KOI, $\text{NH}_3\text{-N}$, krom ve rengin giderim verimleri sırasıyla %87, %100, %100, %100'dür.

Deghles ve ark. (2015) deri atıksu arıtımında kullanılan elektrokoagülasyon prosesini demir ve alüminyum elektrotlar kullanılarak, akım yoğunluğu, başlangıç pH'sı ve elektroliz süresini içeren çalışma parametrelerinin proses performansına etkilerini incelemişlerdir. Demir elektrotları kullanıldığında, optimum KOI giderimi, 50 mA/cm^2 akım yoğunluğunda (pH 7), 25 dk işletme süresinde gerçekleşmiş olup, toplam krom giderimi optimum koşullarda (30 mA/cm^2) pH 8'de 25 dakika işletme süresinde, renk gideriminin (50 mA/cm^2 , pH 7'de) 25 dakika işletme süresinde gerçekleşmiştir. Sırasıyla % 63 KOI, % 99 toplam krom ve % 82 renk giderim verimleri elde edilmiştir. Ayrıca, hem KOI hem de renk giderim verimleri için işletme maliyetleri $0,88 \text{ \$/m}^3$ olarak, krom giderimi için ise $0,70$

\$/m³ olarak rapor edilmiştir. Alüminyum elektrot kullanıldığı durumunda, optimum koşullarda, 50 mA/cm² akım yoğunluğunda, pH 7'de 25 dakika elektroliz süresinde %64 KOI, %99 toplam krom, % 88 renk giderim verimi elde edilmiştir. Alüminyum elektrot kullanıldığında işletme maliyeti ise her üç parametre içinde 0,94 \$/m³ olarak rapor edilmiştir.

Deghles ve Kurt (2017) deri atıksuyuna elektrokoagülasyon uyguladıkları başka bir çalışmada, alüminyum elektrot kullanıldığında (pH 6,14 mA/cm² akım yoğunluğu) 125 dakika işletme süresinde %73 KOI, %94 renk, %100 krom ve %51 NH₃-N giderim verimi elde edildiğini belirtmişlerdir. Prosesten elde edilen hidrojen enerjisi, elektrokoagülasyon prosesindeki elektrik enerjisi talebinin %16'sıdır. Demir elektrotlar kullanıldığında ise (pH 7, 14 mA/cm² akım yoğunluğunda) 125 dakika işletme süresinde %67 KOI, %93 renk, %100 krom, %46 NH₃-N giderimi elde edilmiştir. Elde edilen hidrojen enerji verimi, elektrokoagülasyon sürecindeki elektrik enerjisi talebinin %15'idir. Her iki elektrot içinde işletme maliyeti 0.675 \$/m³ atık su olarak bulunmuştur.

Akarsu (2014) tekstil sanayi atıksuyuna uyguladığı 20 dakika elektroliz uygulanmasıyla (pH 3, 100 A/m² akım yoğunluğu) %72,5 KOI giderim verimi, mezhaba atıksularında (0,3 A, 30-60 dakika alı konma süresi) ise %86 BOI, %99 yağ-gres giderim verimi elde edilmiştir.

Özcan ve ark. (2014) şeker fabrikası atıksuyuna uyguladıkları elektrokoagülasyon prosesinde alüminyum elektrod kullanmış, pH 5,2'de 150 dev/dak karıştırma hızında, 2,143 mA/cm² akım yoğunluğunda, 180 dk işletme sonucunda %90,5 KOI giderim verimi rapor edilmiştir.

Özyoner ve Karagözoğlu (2012) tekstil sanayi atıksuyuna alüminyum elektrodun kullanıldığı elektrokoagülasyon prosesinde, pH:3, 100 A/m²akım yoğunluğu ve 20 dk işletim sürecinin optimum koşul olarak belirlendiği çalışmada, %82,6 TOK, %72,5 KOI, %97,7 renk ve %98,7 bulanıklık giderim verimi elde edilmiştir.

Gürsoy ve Arslan (2012) zeytin karasuyuna koagülasyon, elektrokogülasyon ve fenton prosesini uyguladıkları çalışmada, elektrokoagülasyon prosesi ile %67 KOI, %60 toplam fenol ve %55 TOK giderim verimleri elde edilmiştir.

Klasik atıksu arıtma sistemlerinin aksine, elektrohizoliz işleminde atıksu ve elektrotlar içeren kapalı bir kaba elektrik akımı uygulanmakta olup, kimyasal madde içermeden elektrotlar aracılığıyla arıtım gerçekleşmektedir. (Argun ve Dao, 2016). Hidrojen gazına bağlı olarak üretilen bu enerji fosil yakıtlara kıyasla yüksek enerjili ve temiz bir enerji kaynaklarından biridir. Son yıllarda evsel ve endüstriyel atıksuların

elektrohidroliz prosesi ile arıtımı ve aynı zamanda hidrojen enerjisi üretebilmesi gibi avantajlarından dolayı, farklı atıksularda denenmiş literatürde birçok çalışma bulunmaktadır (Sekoai ve ark., 2017; Budiman ve ark., 2017; Garcia-Pena ve ark., 2018; Erdem, 2017; Yarımtepe ve ark., 2019). Özellikle hidrojen üretimine yönelik işletilen elektrohidroliz prosesinin deri atıksuyuna etkisinin incelendiği bir çalışma literatürde bulunmadığından dolayı bu tez kapsamında deri atıksuyuna elektrohidroliz prosesi uygulanmıştır.



BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deri Sanayinin Özellikleri

Çalışmada kullanılan atıksu, ham madde olarak küçükbaş ve büyükbaş hayvan derilerini kullanan Gönen'de faaliyet gösteren Deri İşleme Endüstrisi ortak atıksu arıtma tesisinden temin edilmiştir. Üretim sırasında yer alan prosesler; kireçleme, kıl giderme, tabaklama, sepilme ve son işlemlerdir. Derilerin depolanması sırasında derinin kaybetmiş olduğu suyun deriye tekrar kazandırılması amacıyla ıslatma ve yıkama işlemi yapılır. Derinin üzerindeki kılların giderilmesi için kıl giderme ve kireçleme işlemi uygulanır. Bu işlemlerin ardından ham derinin cinsine göre fazla yağ ve et tabakasının kavaleta makineleri ile giderilmesi sağlanır. Kıl giderme işleminin ardından kimyasal maddelerin deriden uzaklaştırılması için kireç giderme prosesi uygulanır. Bu kimyasallar, kalıntı kireci çözünür tuzlara çevirerek yıkama işlemi ile giderilmesine ve derinin pH'sının sama prosesi için uygun hale getirilmesini sağlamaktadır. Sama prosesi ile derinin kayganlığı, pürüzsüzlüğü ve kırışıkları giderilirken, yağ giderme işlemi ile tabaklayıcı maddelerin deriye girişini ve homojen dağılımı sağlanır. Ön işlemler uygulanan deriye tabaklama prosesi ile deriye kararlı bir form verilmektedir. Deriye nötralizasyon, ağartma, retenaj, boyama ve yağlama prosesleri uygulanır ve işlenmiş deri haline getirilir. Tüm bu işlemler sırasında ve proses aşamalarında oluşan atıksu, ortak atıksu arıtma tesisinde toplanmaktadır. Gönen Deri Sanayi nispeten düşük kapasiteli sanayi bölgesi olmasından dolayı ekonomik ve pratik olması nedeniyle ayrı kanal sistemi yerine tek hat atıksu sistemi ile toplanmaktadır. Gönen Deri Sanayi Sitesinde mevcutta toplam 25 adet deri fabrikası bulunmaktadır. Yılda 23-30 ton ham deri işlenerek mamul deri haline getirilmektedir. Üretim proseslerinde kullanılan kimyasal maddeler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Deri sanayinde yer alan hammadde ve üretim kapasiteleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deri üretim proseslerinde kullanılan kimyasal maddeler

Deri İşleme Prosesi	Kimyasal
Kireçleme-kıl giderme bölümü	Ca(OH) ₂ ve Na ₂ S
Sama bölümü	(NH ₄) ₂ SO ₄
Piklaj bölümü	H ₂ SO ₄
Sepileme bölümü	Cr(III) tuzları ve bitkisel tanenler
Ağartma bölümü	NaHCO ₃ veya H ₂ SO ₄
Nötralizasyon bölümü	NaHCO ₃ , NaHCOO
Boyama bölümü	Asidik karakterde boyalar
Yağlama Bölümü	Sülfone edilmiş hayvansal karakterli yağlar, madeni yağlar
Yağ giderme bölümü	Alkitetersülfat, Alkilfeno-letersülfat ve Alkileterfosfat gibi anyonikemülgatörler

Çizelge 3.2. Deri sanayinde yer alan hammadde ve üretim kapasiteleri

İşlenti	Üretim Kapasitesi (ton*deri/gün)
Kuzu deri	16-20 ton
Zig deri (dana)	10-13 ton
Oğlak deri	6-8 ton
Kelle deri	20-25 ton
Yarım yarma deri	10-15 ton
Toplam	62-81 ton

3.1.1.Gönen Deri Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi

Deri işleme prosesinden kaynaklanan atıksular, fabrika çıkışlarında bulunan kanalizasyon sistemi ile toplanıp ortak atıksu arıtma tesisine gelmektedir. Deri sanayi atıksu arıtma tesisinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım üniteleri bulunmaktadır. Tesiste ızgaralar (kaba ve ince), kum tutucu, terfi havuzu, dengeleme havuzu, flokleştirme (yumaklaştırma), ön çökeltim havuzu, aktif çamur havuzu, son çökeltim havuzu, çamur yoğunlaştırıcı olmak üzere arıtım üniteleri bulunmaktadır.

Gönen Deri Sanayi sitesinde atıksu toplama sistemini korumak ve katı madde yükünü azaltmak amacıyla her fabrikanın kendi bağlantı kanalına ızgara konulmuştur. Mevcut dericiler sitesinde atıksuyu tek hat üzerinden arıtma tesisine gelmektedir. Gönen

Deri Sanayinde kromun geri kazanılması ekonomik açıdan olanaksız görüldüğü için geri kazanım sistemi bulunmamaktadır. Sülfür ve krom giderimi kimyasal arıtım prosesi sırasında yapılmaktadır. Biyolojik arıtma yöntemi olarak aktif çamur prosesi kullanılmaktadır. Aktif çamur sistemi, biyolojik azot giderimini ve sistemden uzaklaştırılacak fazla biyolojik çamurun stabilizasyonunu sağlayacak şekilde projelendirilmiştir. Atıksu arıtma tesisi giderim verimleri incelendiğinde (Çizelge 3.3’de) fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım sonunda %99 BOI, %97 KOI, %99 AKM ve %99 krom giderimi yapılmaktadır.

Çizelge 3.3. Deri sanayi arıtma prosesleri ve giderim verimleri

Parametre	Giriş	Fiziksela rıtım giderim verimi	Fiziksel arıtım çıkışı	Kimyasal arıtım giderim verimi	Kimyasal arıtım çıkışı	Biyolojik arıtım giderim verimi	Biyolojik arıtım çıkışı	Toplam giderim
	mg/lt	%	mg/lt	%	mg/lt	%	mg/lt	%
BOI	1720	-	1720	50	860	97	25	98-99
KOI	4230	-	4230	76	1027,5	88-89	120	97-98
AKM	1680	-	1680	99	10	-	10	99
TCr	25	-	25	99	0,25	-	0,25	99
S	10	-	10	98	0,2	-	0,2	98
YAĞ- GRES	250	50	125	90	12,5	30	8,75	96-97

3.1.2. Ham Atıksu Karakteri

Bu çalışma, deri işleme fabrikalarının bulunduğu ortak Atıksu Arıtma Tesisi çıkışından kompozit olarak alınan numunelerle yapılmıştır. Çizelge 3.4’de ham atıksu değerlerini vermektedir.

Çizelge 3.4. Deri organize sanayi ortak atıksu arıtma tesisi giriş atıksu değerleri

Parametre	Birim	En düşük	En yüksek	Ortalama
KOI	mg/lt	4160	5710	4935
BOI	mg/lt	1540	1820	1680
AKM	mg/lt	1220	1860	1450
TKN	mg/lt	150	230	190
TCr	mg/lt	18	30	24
TS	mg/lt	6	13	9,5
pH	mg/lt	8,6	9	8,8

3.1.3. İşletme Maliyetinin Belirlenmesi

Arıtma tesisinde elektrik giderimi, kimyasal madde kullanımı, amortisman giderleri, personel istihdamı v.b. harcamalar yapılarak işletme maliyeti hesaplanmaktadır. İşletmeler debileri ve kirlilik yüklerine göre katılım payı ödemek zorundadır.

Kimyasal arıtım sırasında koagülant olarak maliyeti daha uygun olduğu için demir sülfat, yine maliyeti daha düşük olduğu için pH'ı yükseltmek amacıyla kireç kullanılmaktadır. Maliyet hesapları yapılırken, 2019 yılı kimyasal madde bedeli, elektrik birim fiyatı ve bakım onarım bedeli kullanılmıştır. Deri işleme hammadmesine bağlı olarak tesise günlük 3000-4000 m³ arası atıksu gelmektedir. 3500 m³/gün giriş atıksuyu debisi için yapılan hesaplamalar neticesinde kimyasal madde kullanımları maksimum sarfiyat göz önüne alındığında;

Koagülant; 4.000 kg/gün* 0,73 TL (1 kg koagülant fiyatı) : 2.920 TL

Kireç; 4.000 kg/gün*0,4 TL (1 kg kireç fiyatı) : 1.600 TL

Anyonik polimer; 18 kg/gün*18,5 TL(1 kg anyonik polimer fiyatı) : 333 TL

Katyonik polimer; 98 kg/gün*23,2 TL (1 kg katyonik polimer fiyatı) : 2.274 TL

Toplam kimyasal madde ortalama maliyeti: 7.127 TL/gün

Bakım ve Onarım; aylık bakım ve onarım ortalama (yedek parça ve servis bakımı) maliyeti: 7.000 TL

Elektrik gideri maliyeti: ortalama 40.000 TL

Birim atıksu işletme maliyeti hesabında, günlük kimyasal madde tüketimi, enerji tüketimi ve bakım giderleri göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

Kimyasal tüketim: 7.127 TL/gün

Enerji tüketimi: 1333 TL/gün

Bakım gideri: 233 TL/gün

Toplam günlük gider: 8.693 TL/gün

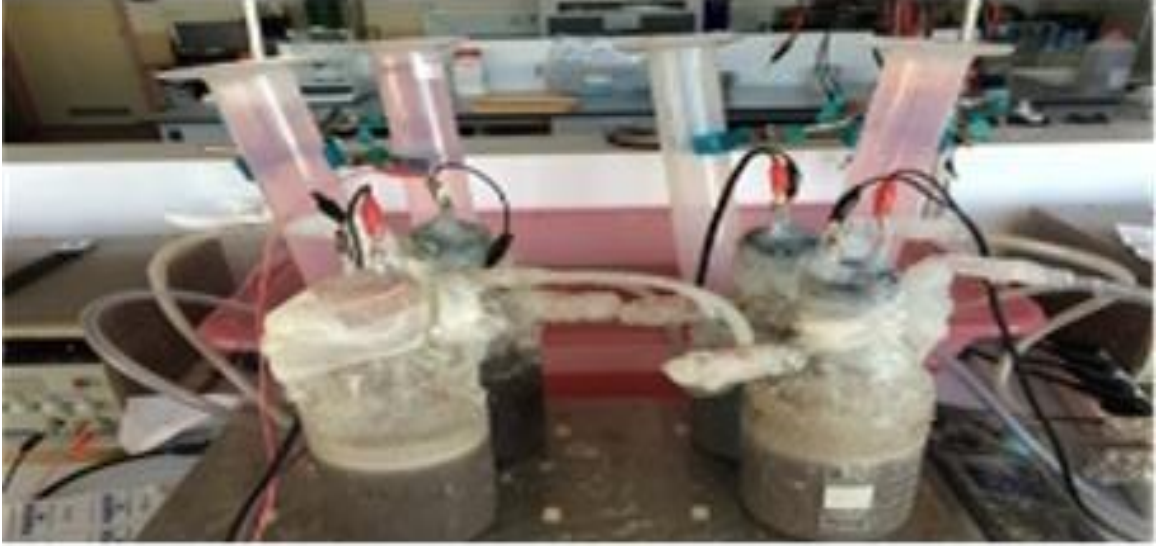
Ortalama 3500 m³ su arıtıldığı ve maksimum kimyasal madde sarfiyatı gerçekleştirildiği takdirde, 1m³ atıksu için arıtma maliyeti toplam gider/m³su günlük 2,5 TL/m³ olarak gerçekleşmektedir.

3.2. Analizler

Deri atıksuyunun karakterizasyonu ve reaktör performansının belirlenmesi için KOI ve çKOI deneyi (Std method-5220-D kapalı reflux), AKM deneyi (SM-2540-D), pH (SM 4500 H+B metodu), renk ölçümü (DR 5000 Spektrofotometre cihazında 465 nm dalga boyunda), iletkenlik (SM 2510 B metodu) analizleri yapılmıştır.

3.3. Elektroliz Prosesi

Deri atıksuyunun elektrolizi için kurulan deney düzeneği; 1 litrelik özel cam reaktör şişe ve bu şişelerin içerisine konulan 700 mL deri atıksuyu, her şişe için 2 adet alüminyum elektrot, silikon tıpa, gerilim güç kaynağı ve gaz ölçüm sisteminden oluşmaktadır. Elektrotlar kablolar vasıtasıyla doğru akım güç kaynağına bağlanmış ve üretilen hidrojen gazı boru yardımıyla birleşik kaplar prensibi ile çalışan gaz toplama sistemi ile ölçülmüştür. Alüminyum elektrotların kullanıldığı elektroliz sisteminde, alüminyum anotta çözülürken katotta hidrojen gazı açığa çıkar. Alüminyumun çözünmesiyle farklı alüminyum türleri üretilir ve alüminyum türleri koagülant olarak kirleticilerle birleşerek büyük floklar oluşturulur. Al⁺³ iyonlarının çökeltisi Al(OH)₃ olarak gerçekleşmekte ve oluşan hidrojen gazı ise su yüzeyine ilerlemektedir. Elektroliz deneylerinin yürütüldüğü sistem Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Elektroliz prosesi başka bir çalışmada detaylı olarak açıklanmıştır (Erdem, 2017).



Şekil 3.1. Elektrohidroliz prosesi deney düzeneği

BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deri endüstrisi atıksuyundan elektrohizroliz ile hidrojen eldesi ve kirlilik giderimi sağlamak için öncelikle deri sanayi atıksuyundan kompozit olarak atıksu numunesi alınmış ve karakterizasyonu yapılmıştır. Deri atıksuyu ile farklı işletme şartları altında elektrohizroliz deneyleri yürütülerek çeşitli parametreler bazında elde edilen giderim verimleri karşılaştırılmıştır.

4.1. Elektrohizroliz Prosesi

Deri atıksuyuna farklı sürelerde, farklı voltlarda, farklı pH değerlerinde, farklı NaCl ve kül miktarlarında elektrohizroliz prosesi uygulanmış ve optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Optimizasyon çalışmalarında, 700 mL deri atıksuyu numunesi kullanılmıştır. Elektrohizroliz sonrası elde edilen hidrojen gazı miktarı ve giderim verimleri incelenmiştir.

Elektrohizroliz prosesinin işletilmesinde sistemin performansını etkileyen önemli parametrelerden biri elektrot türleridir. Elektrokimyasal proseslerde kullanılan alüminyum gibi elektrotlar, atıksu içinde reakte olarak metal hidroksit birleşiklerini açığa çıkarmakta ve bu hidroksitler atıksu içindeki kirliticileri adsorbe ederek çökmesini sağlamaktadır (Akarsu, 2014).

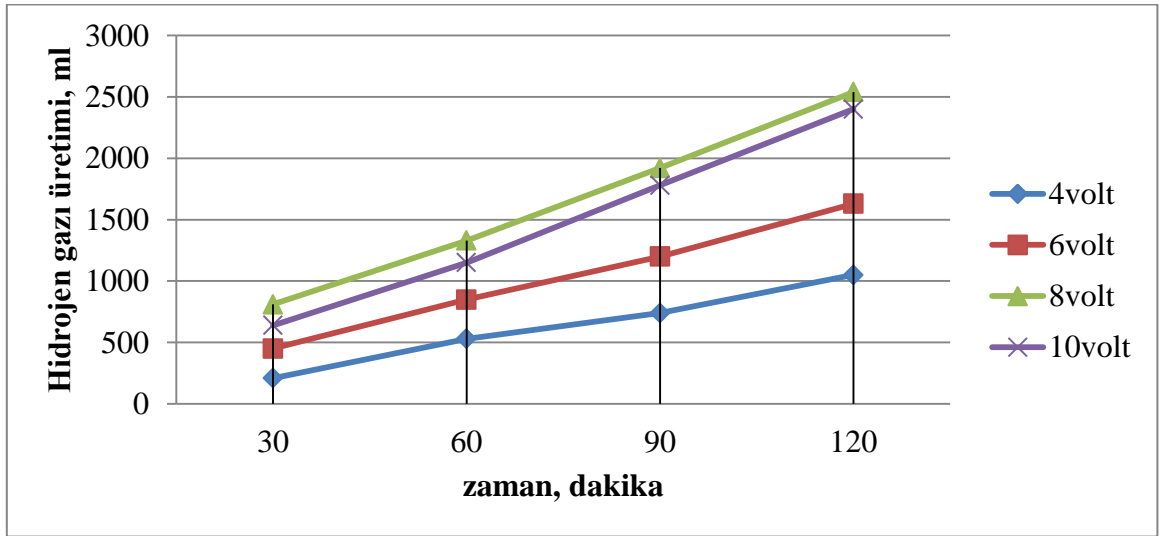
Elektrohizroliz proseslerde alüminyum, bakır, titanyum, pirinç, paslanmaz çelik vb. elektrotlar kullanılmaktadır. Yapılan elektrohizroliz çalışmalarında alüminyum elektrodunun hidrojen gazı üretiminde bakır elektroda göre daha etkili olduğu rapor edilmiştir (Yarıntepe ve ark., 2019; Kargı, 2011). Bu nedenle deri atıksuyuna uygulanacak elektrohizroliz prosesinde alüminyum elektrotlarının kullanılmasına karar verilmiştir.

4.1.1. Deri Atıksuyuna Farklı Voltlarda EH Uygulaması Sonucu Hidrojen Gazı Üretimi ve Giderim Verimleri

Bu çalışmada, elektrohizroliz süresinin ve voltajın hidrojen üretime etkisi incelenmiştir. Literatürde, farklı atıksular için farklı voltlarda ve sürelerde elektrohizroliz uygulanmış çalışmalar mevcuttur. Öncelikle 2 saat süresince 700 mL deri atıksuyu numunelerine farklı voltlarda, EH uygulanmıştır. Uygulama karıştırma hızı 400 rpm olarak seçilmiştir. EH uygulamasında hidrojen gazı üretimi değerleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Deneylerde 8 V'da 2540 mL, 10 V'da 2400 mL, 6 V'da 1630 mL ve 4 V'da ise yaklaşık 1050 mL hidrojen gazı üretimi elde edilmiştir. EH prosesi sonrasında reaktörler 24 saat

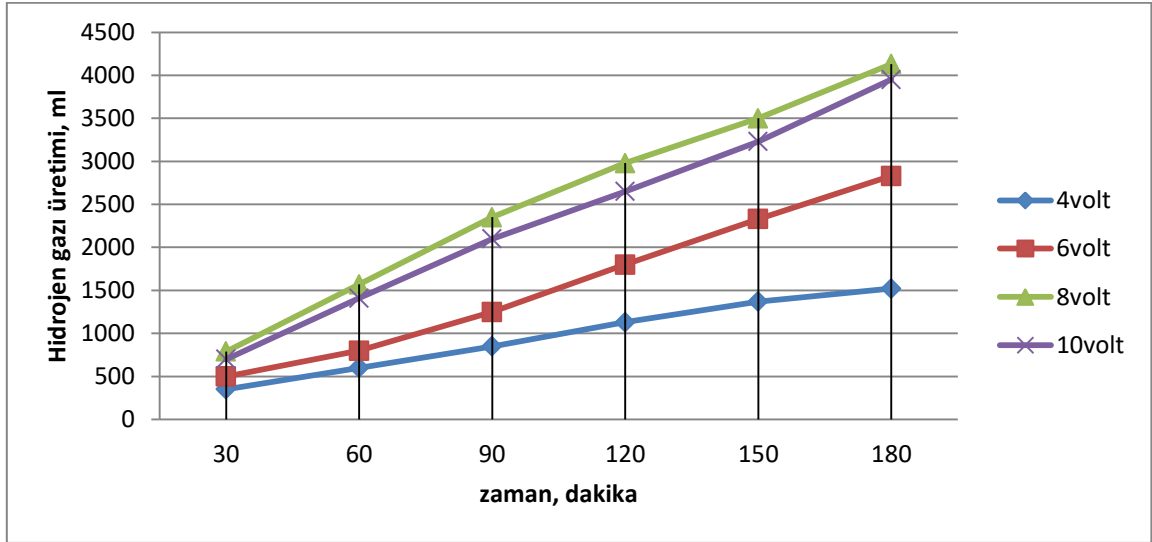
çöktürmeye bırakılmış, 24 saat sonunda numunelerde 3 ayrı faz gözlenmiştir. Orta fazdan alınan numunelerde giderim verimini belirlemek için KOİ, çKOİ, AKM ve renk parametrelerine bakılmıştır.

Proseste önemli parametrelerden biri olan reaksiyon zamanı (Coşkun ve ark., 2012) elektrotlar için enerji ve bakım maliyeti de dahil olmak üzere işletme maliyetlerini azaltmak için optimize edilmelidir. Uygulanan voltajın artışı ile daha fazla elektron ve Al (III) katyonlarının ortama salındığı rapor edilmiştir (Kargı ve Catalkaya, 2011)



Şekil 4.1. Deri atıksuyuna 2 saat süresince farklı voltlarda EH uygulandığında elde edilen hidrojen gazı miktarı, mL

2 saat süresince uygulanan EH prosesi sonunda gaz çıkışının devam etmesi üzerine, tekrar 700 mL deri atıksu numuneleri ile reaktörler hazırlanarak 3 saat EH uygulanmaya devam edilmiştir. EH uygulaması sonucunda hidrojen gazı üretimi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Deri atıksuyuna 3 saat farklı voltlarda EH uygulandığında elde edilen hidrojen gazı miktarı, mL

Sonuçlar, en fazla hidrojen üretiminin 8 V'da yaklaşık 4130 mL, 10 V'da yaklaşık 3950 mL, 6 V'da yaklaşık 2830 mL ve en düşük hidrojen gazı üretiminin ise 4 V'da yaklaşık 1520 mL olarak gerçekleştiğini göstermiştir. EH prosesi sonrasında reaktörler çökmeye bırakılmış, orta fazdan alınan numunelerle deri atıksuyunda kirleticilerin giderim verimini belirlemek için KOİ, çKOİ, AKM ve renk parametreleri ölçülmüştür.

3 saat EH uygulaması sonucunda gaz üretimi gözlenmesi nedeniyle, 4 saat süresince farklı voltlarda EH prosesi uygulanmıştır. Hidrojen gazı üretimi Şekil 4.3'de verilmiştir. En fazla hidrojen gazı üretimi 8 V'da yaklaşık 5350 mL, 10 V'da yaklaşık 5100 mL, 6 V'da yaklaşık 3250 mL ve en düşük hidrojen gazı üretimi ise 4 V'da yaklaşık 2100 mL olarak gözlenmiştir.

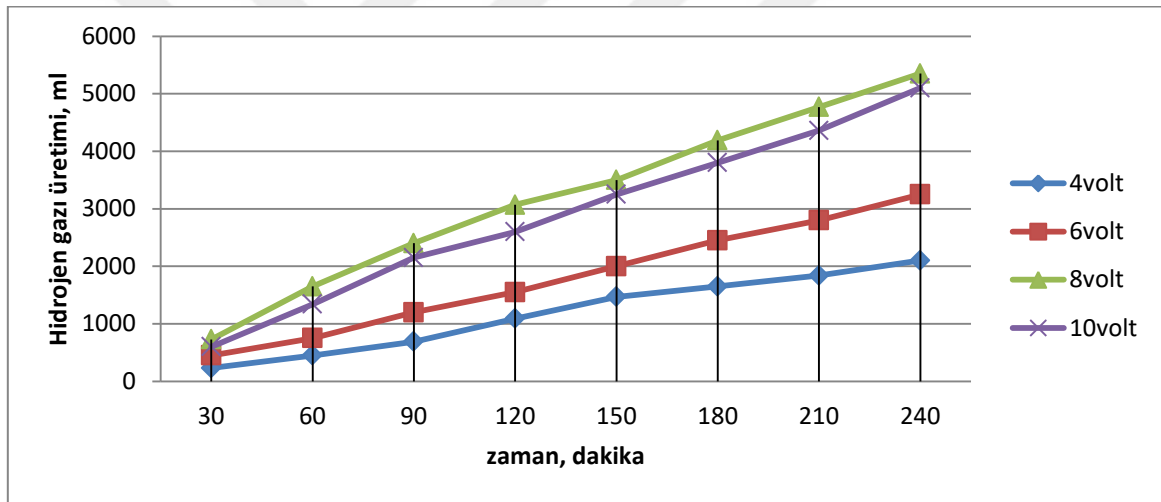
Kargı (2011), maya üretim tesisleri atıksuyuna üç farklı elektrot (alüminyum, paslanmaz çelik ve grafit) kullanarak hidrojen gazı eldesini amaçladığı çalışmada, en yüksek hidrojen üretimini alüminyum elektrot ile 8 günde 120 L olarak, en düşük hidrojen gazı üretimi ise grafit elektrod ile 4 L olarak rapor edilmiştir. Hidrojen gazı üretimi için enerji dönüşüm verimliliği (hidrojen enerjisi/elektrik enerjisi) alüminyum elektrotlar ile %74 olarak bulunmuştur.

Kargı ve Arıkan, (2013) sirke atıksuyuna uyguladıkları elektroliz prosesinde alüminyum elektrotları kullanarak 4 V geriliminde 3197 ml hidrojen gazı çıkışı ve %12 KOI giderim verimi elde edildiği rapor etmişlerdir.

Erdem (2017), zeytin karasuyuna elektrohizoliz prosesi uyguladıkları çalışmada, 12 V ve 4 saatlik EH uygulaması sonucunda en yüksek hidrojen gazı üretimi 3500 mL elde edilmiştir.

Eker (2015) EH prosesini 5 kat seyreltilmiş zeytin karasuyuna uyguladıkları proste, farklı volt denemeleri yaparak 8 saat işletme süresinde 4 V, 6 V, 8 V, 10 V doğru akım uygulamasında sırasıyla 430 ml, 447 ml, 1037 ml, 1298 ml hidrojen gazı elde edilmiştir.

Literatür araştırması ve bu tez sonucunda; EH uygulaması süresince volt arttıkça hidrojen gazı veriminin arttığı gözlenmiştir. 4 saat EH uygulaması sonucunda hidrojen gazı çıkışı gözlenmeye devam edilmiş olsada reaktör ve deney düzeneğinde taşma ve aşırı köpük oluşmuş ayrıca 8 ve 10 V gerilim güçlerinde oluşan hidrojen gazının birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir.

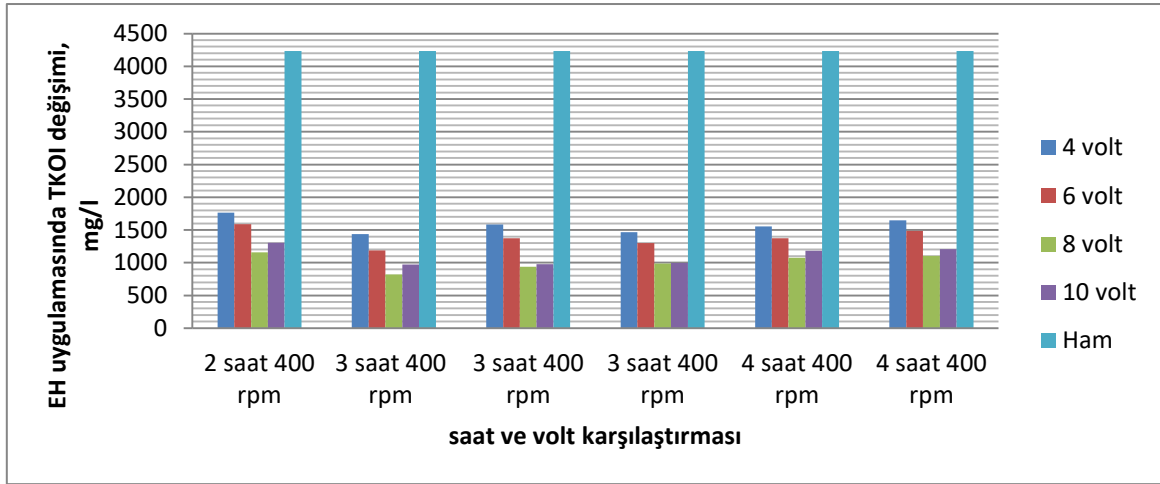


Şekil 4.3. Deri atıksuyuna farklı voltlarda 4 saat süresince EH uygulandığında elde edilen hidrojen gazı miktarı, mL

4.1.2. Farklı Voltlarda ve Farklı Sürelerde EH Prosesinin Uygulaması Sonucu tKOİ, çKOİ, AKM, Renk Değişimi

Bu çalışmada, deri atıksuyunun tKOİ konsantrasyonu yaklaşık 4231 mg/L'tir. Farklı sürelerde uygulanan EH prosesi sonucunda en yüksek verim yaklaşık %81 oranında 3 saatlik işletme süresinde 8V gerilimde elde edilmiştir. Farklı saat ve farklı voltlarda uygulanan EH sonucunda tKOİ konsantrasyonu 1763-819 mg/l arasında değişim göstermiştir. Elektrohizoliz prosesinin uygulanmasının ardından 24 saat çöktürülmeye bırakılan numunelerde sırasıyla tKOİ, çKOİ, AKM ve pH ve renk parametreleri ölçülmüş

ve giderim verimleri incelenmiştir. EH uygulaması sonucu tKOl değişimleri Şekil 4.4’de verilmiştir. Yarımtepe ve ark. (2019) evsel nitelikli atıksuya uyguladıkları EH çalışmasında, farklı volt denemelerinde (4, 6, 8 ve 10 V), 4 saat reaksiyon süresinde 8 V gerilimde %82 bulanıklık, %75 renk, %86 AKM, %84 KOI, %82 çKOI, %75 BOI, %38 yağ giderim verimleri elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Deri atıksuyuna farklı voltlarda ve farklı sürelerde EH prosesi uygulandığında tKOl değişimi

2 saat uygulanan elektrohizoliz prosesinde, tKOl konsantrasyonunda en yüksek verim yaklaşık %73 oranında 8 V EH uygulamasında gözlenmiştir. 3 saat uygulanan elektrohizoliz prosesinde, tKOl konsantrasyonunda en yüksek verim ise yaklaşık %81 oranında 8 V EH uygulamasında gözlenmiştir. 4 saat uygulanan elektrohizoliz prosesinde ise, tKOl konsantrasyonunda en yüksek verim yaklaşık %75 oranında 8 V EH uygulamasında gözlenmiştir.

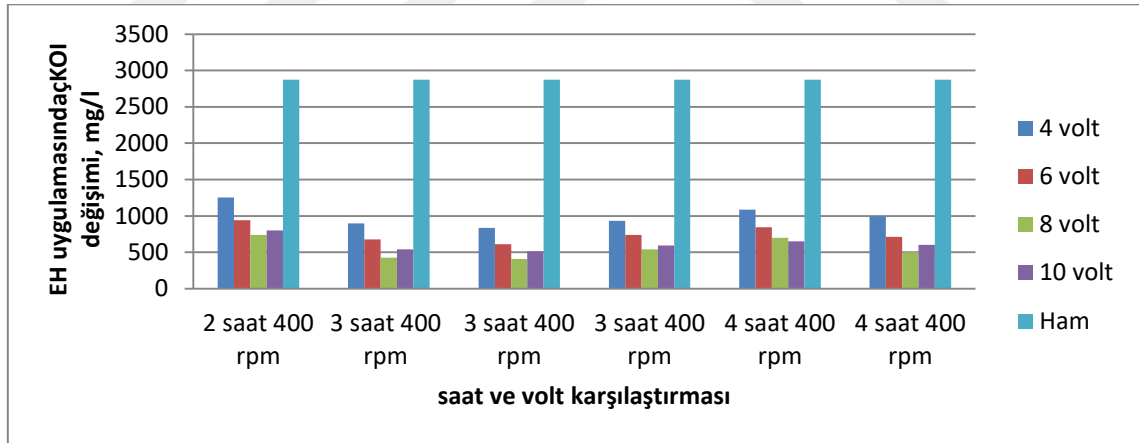
Elektrohizoliz uygulanan diğer çalışmalar incelendiğinde; Kargı ve Çatalkaya (2011a) seyreltilmiş zeytin karasuyuna 96 saat işletme süresinde ve 3 V geriliminde elektrohizoliz uyguladıklarında, en yüksek 3020 ml hidrojen gazı ve 2500 ml H₂/gKOl hidrojen verimi elde ederken, 2 V geriliminde gaz fazında %95 hidrojen miktarı, %95 enerji verimliliği ve %44 KOI giderim verimi elde etmişlerdir.

Kargı ve Çatalkaya (2011b), deponi sızıntı suyuna uyguladıkları diğer bir çalışmada ise en yüksek 4 V geriliminde 96 saat sonunda %77 KOI giderimi, 5000 ml hidrojen gazı çıkışı, 2400 ml H₂/gKOl hidrojen verimi ve 1 V geriliminde %80,6 enerji verimi elde edildiğini belirtmişlerdir.

Kargı ve ark., (2011) hidrojen gazı üretimi amacıyla atık anaerobik çamura alüminyum elektrot ile uyguladıkları elektroliz prosesinde, farklı voltajlarda (0,5-5 V) yaptıkları denemelerde, 2 V geriliminde 140 saat işletme sonucunda %84 KOİ giderimi, 2776 ml en yüksek hidrojen gazı üretimi, 96 ml H₂/gKOİ hidrojen verimi ve 686,7 ml/gün hidrojen gazı oluşumu ve %74 enerji dönüşüm verimliliği rapor edilmiştir. Ayrıca atık çamurun elektrolizinden elde edilen hidrojen gazı üretiminin yüksek enerji verimliliğine sahip hızlı ve etkili bir yöntem olduğu bulunmuştur.

Kargı ve Uzunçar (2012) peynir altı atıksuyuna alüminyum elektrotları ile uyguladıkları 158 saat elektroliz sonucunda, 5 V geriliminde 5551 ml hidrojen gazı üretimi, 3 V geriliminde ise en yüksek %22,1 KOİ giderimi elde etmişlerdir. PVC panel paslanmaz çelik reaktör ile 329 saat sonunda 13,44 V geriliminde, 83770 ml hidrojen gazı ve %43,7 KOİ giderimi; plastik PVC reaktör ile ise 11,65 V geriliminde 139 saat işletme sonunda 26473 ml hidrojen gazı ile % 21,5 KOİ giderimi elde edildiğini rapor etmişlerdir (Kargı ve Uzunçar, 2012).

Deri atıksuyuna farklı voltlarda ve farklı sürelerde EH prosesinin uygulandığında çKOİ değişiminin deri atıksu numunesiyle (ham) karşılaştırılması Şekil 4.5’de verilmiştir.

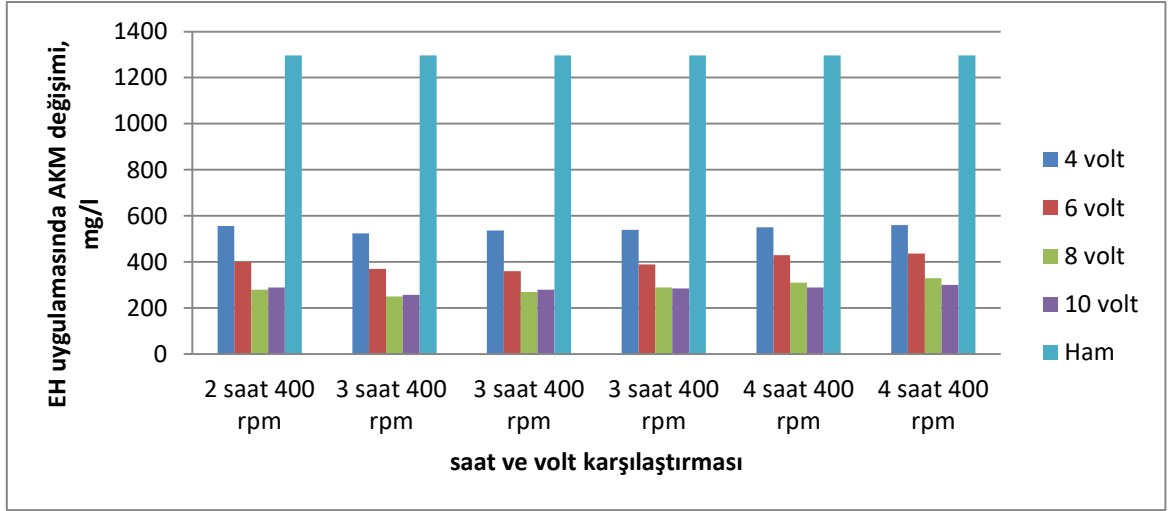


Şekil 4.5. Deri atıksuyuna farklı voltlarda ve farklı sürelerde EH prosesi uygulandığında çKOİ değişiminin ham deri atıksu numunesiyle karşılaştırılması

Ham deri atık suyuna farklı voltlarda ve farklı sürelerde EH prosesinin uygulanması sonucundaki tüm denemelerde çKOİ konsantrasyonu 1254-428 mg/L arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir. En yüksek verim tKOİ parametresinde olduğu gibi 8 V gerilimde, 3 saatlik işletme süresinde ve 400 rpm karıştırma hızında olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda 8 V geriliminde 3 ve 4 saatlik işletme süresi sonunda çKOİ giderim verimlerinin

birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. çKOİ parametresinde elde edilen verim %86 oranındadır.

Deri atıksuyunda farklı voltlarda ve farklı sürelerde EH prosesinin uygulaması sonucu AKM değişiminin ham deri atıksu numunesiyle karşılaştırılması Şekil 4.6'da verilmiştir.

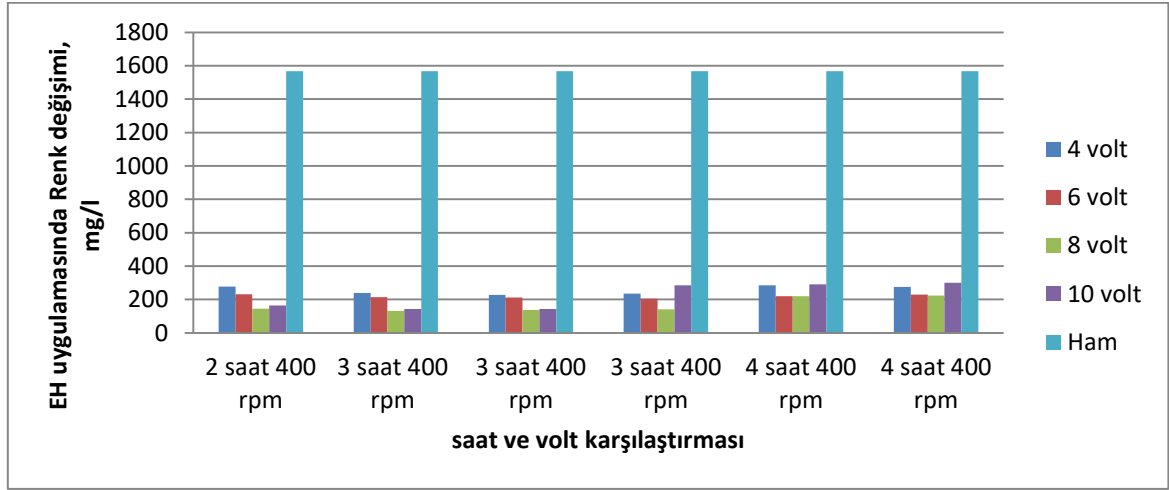


Şekil 4.6. Ham deri atıksuyuna farklı voltlarda ve farklı sürelerde EH prosesinin uygulandığında AKM değişimi

Deri atıksuyunun AKM konsantrasyonu yaklaşık 1296 mg/L olarak belirlenmiştir. Ham deri atıksuyuna farklı voltlarda ve farklı sürelerde EH prosesi uygulandığında reaktörde çıkış AKM konsantrasyonunun 250-560 mg/L arasında olduğu belirlenmiştir. En yüksek verim 8 V gerilimde, 3 saat ve 400 rpm karıştırma hızında görülmüştür. AKM parametresinde elde edilen verim 3 saat EH sonucunda %81 oranındadır.

Erdem (2017) zeytin karasuyuna uyguladıkları elektrohidroliz prosesinde belirledikleri optimum koşullar altında, (3 saat proses süresi, 12 V gerilim, Al elektrot olarak) %62 KOİ, %42 çKOİ ve %79 AKM giderim verimleri elde edilirken 3000 mL hidrojen gazı üretimi sağlanmıştır.

Deri atıksuyunda farklı voltlarda ve farklı sürelerde EH prosesinin uygulaması sonucu renk değişiminin ham deri atıksu numunesiyle karşılaştırılması Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Ham deri atıksuyuna farklı voltlarda, farklı sürelerde EH prosesi uygulandığında renk değişimi

Bu çalışmada, deri atıksuyu renk konsantrasyonu yaklaşık 1567 Pt-Co'dır. Ham deri atıksuyuna farklı voltlarda ve farklı sürelerde EH prosesi sonucunda renk konsantrasyonu 285-132 Pt-Co arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek verim 8 V gerilimde, 3 saatlik işletme süresinde tespit edilmiştir. Renk parametresinde elde edilen verim 3 saat EH sonucunda %91,6 oranındadır. Sonuçlar, elektrohidroliz işleminin deri atıksuyundan renk gideriminde alternatif olarak kullanılabilirliğini göstermektedir

Öz ve Eker (2019) zeytin karasuyuna uyguladıkları elektrohidroliz prosesi sonucunda optimum reaksiyon süresi ve voltajı sırasıyla 8 saat ve 8 V olarak belirlenmiştir. 8 saat çalışma süresinin sonunda 1037 ml hidrojen gazı elde edilirken, bu koşullar altında, %73 KOI, %84 AKM, %91 renk ve %75 fenol giderim verimi rapor edilmiştir. Eker (2015) alüminyum elektrotların kullanıldığı EH prosesini 5 kat seyreltilmiş zeytin karasuyuna farklı volt ve farklı işletme sürelerinde denemişler; 4 V, 6 V, 8 V ve 10 V geriliminde sırasıyla %48, %75, %93, %93 renk giderim verimi elde edilmiştir. Eker ve Kargı (2010) endüstriyel atıksu organiklerine PVC paneller ile uyguladıkları elektrohidroliz prosesinde paslanmaz çelik elektrotları kullanılmış, TOC içeriği 4800 mg/l'den 4200 mg/L'ye düşürülmüş ve yaklaşık %12,5 TOC giderilmiştir. Çokay (2018) gıda atıklarına uyguladıkları elektrohidroliz prosesinde, 5 V geriliminde 75 saat işletme süresinde %20 katı içerik değerleri ile en yüksek hidrojen gazı içeriği (%99), en yüksek kümülatif hidrojen gazı oluşumu (7000 mL) ve toplam organik karbon giderimi (%33) elde edilmiştir. Sonuçlar, gıda atıklarının elektrohidroliz ile H₂ gaz üretimi için iyi bir kaynak oluşturduğunu göstermiştir. Gıda atıklarının elektrohidrolizi ile üretilen hidrojen

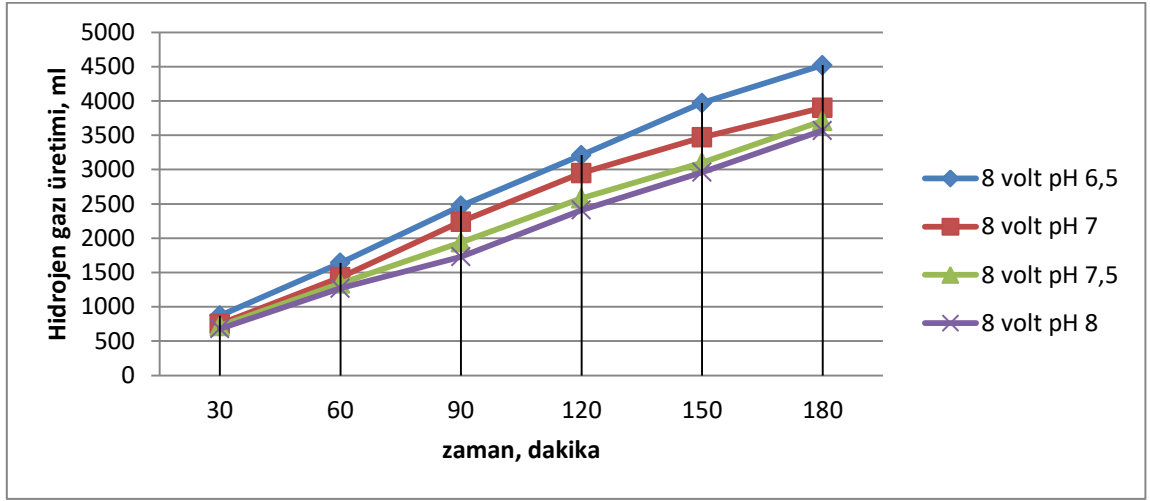
gazı, yüksek çürümesi nedeniyle yakıt hücrelerinde doğrudan kullanılabilir. Çokay ve Gürler (2019) metal kaplama atıksuyuna uyguladıkları elektroliz prosesinde, krom kaplama atıksuları için 4 V geriliminde %99 hidrojen gazı yüzdesi, bakır ve nikel metal kaplama atıksuları için 4 V'da %50 H₂'dir. Kümülatif hidrojen gazı hacmi tüm metal kaplama atıksuları için 4 V geriliminde elde edilmiştir. En fazla krom kaplama atıksuyunda 4000 ml hidrojen gazı, 985 ml/gün hidrojen gazı oluşum oranı, %99 hidrojen gazı rapor edilmiştir.

Ham deri atıksuyuna EH'da uygulanan farklı gerilim değerlerinde elde edilen kirletici giderim verimleri karşılaştırıldığında, 8 V'un en iyi sonuçları verdiği görülmüş ve optimum volt olarak belirlenmiştir. Optimum volt kullanılarak ham deri atıksuyuna farklı pH değerlerinde EH uygulanmıştır.

4.1.3. Deri Atıksuyuna 8 V'da ve Farklı pH Değerlerinde EH Uygulaması Sonucu Hidrojen Gazı Üretimi ve Giderim Verimleri

Literatürde, elektroliz prosesi ile evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımı üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında pH'nın sistem sürecinin performansını etkileyen önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Araştırmalar asidik koşullarda uygulanan elektrolizin diğer pH ortamlarına göre kirletici gideriminde daha iyi verim elde edildiğini göstermektedir. Alüminyum hidroksit çözünürlük diyagramı incelendiğinde, alüminyum hidroksit çöktürülmesinin pH 6 civarında optimum olarak bildirildiği görülmüştür (Hanefi ve ark., 2010). pH'nın uygun olduğu koşullarda yüksek KOI ve çKOI giderim verimi elde edilmektedir (Adhoum ve Monser, 2004).

Literatür çalışmaları incelendiğinde farklı atıksularda uygulanan elektroliz prosesinde pH'nın asidik koşullarda daha iyi kirletici giderimi sağladığı görüldüğünden (Tuna ve ark., 2009), deri atıksuyuna farklı saatlerde (1, 2 ve 3 saat) ve farklı pH değerlerinde (6,5-7-7,5-8) EH uygulanmıştır. Optimum değer olarak seçilen 8 V'da EH uygulaması ile 3 saat işletme sürecinin sonunda hidrojen gazı üretimi Şekil 4.8'de verilmiştir. 3 saatin sonunda elde en fazla hidrojen gazı pH 6,5'da yaklaşık 4520 mL, pH 7'de yaklaşık 3900 mL, pH 7,5'da yaklaşık 3710 ml ve en düşük hidrojen gazı üretimi ise pH 8'de yaklaşık 3570 ml olarak gözlenmiştir.

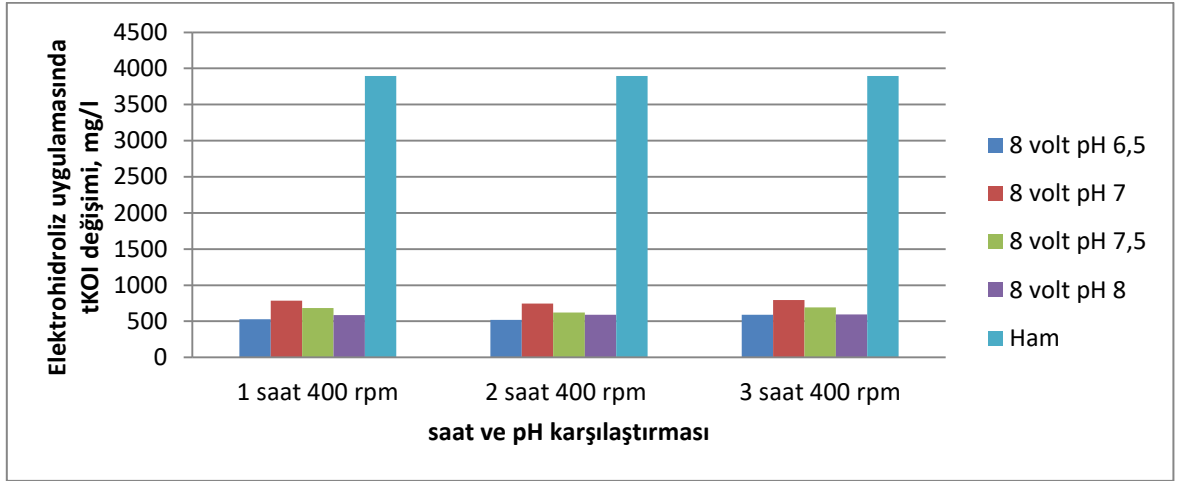


Şekil 4.8. Deri atıksuyuna farklı pH değerlerinde EH uygulandığında hidrojen gazı miktarı, mL

Ham deri atıksuyunun pH aralığı 7.5-8.5 civarında olup, pH değişimi olmadan EH uygulanması ile 3 saatin sonunda 8 V geriliminde yaklaşık 4130 mL hidrojen gazı üretimi olmuşken (Şekil 4.2), pH değeri 6.5’da EH uygulandığında 8 volt geriliminde 3 saatin sonunda yaklaşık olarak 4520 mL hidrojen gazı üretimi gözlenmiştir. 3 saatlik elektrohizoliz sırasında fazla köpük oluşumu ve reaktörden taşma gözlenmiş ve 4 saat EH uygulamasına gerek görülmemiştir. Bu çalışmada deri atıksuyuna uygulanan EH prosesi sonucunda pH değeri düşürüldüğünde gaz üretiminin daha fazla olduğu görülmüştür.

4.1.4. Farklı Voltlarda ve Farklı pH Değerlerinde EH Prosesinin Uygulanması Sonucu tKOI, çKOI, AKM, Renk Değişimi ve Giderim Verimleri

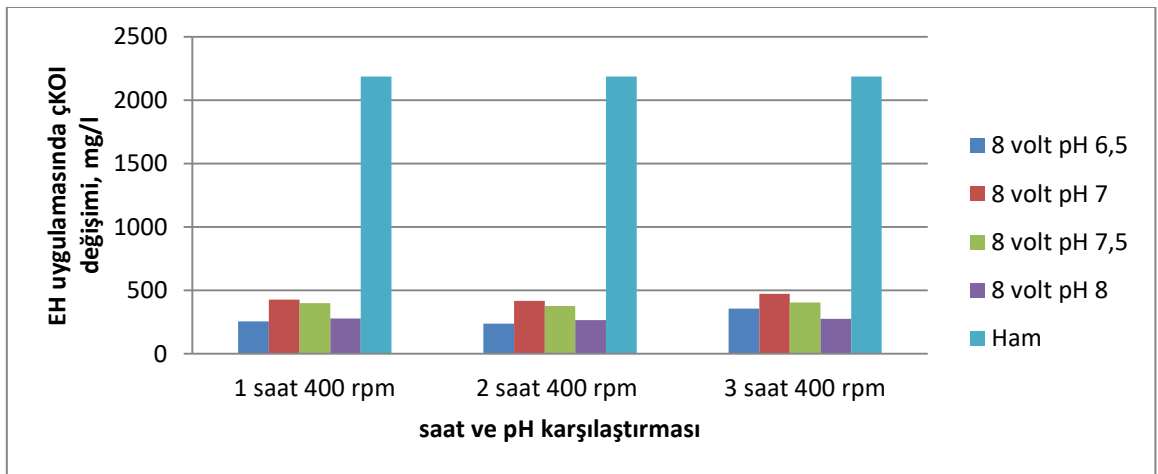
Deri atıksu numunelerine 8 volt geriliminde farklı pH değerlerinde elektrohizoliz prosesinin uygulanmasının ardından 24 saat çöktürülmeye bırakılan deney tüplerine, sırasıyla tKOI, çKOI, AKM ve pH ve renk parametreleri ölçülmüştür. EH prosesinin uygulaması sonucu tKOI değişiminin deri atıksu numunesiyle karşılaştırılması Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. Deri atıksuyuna farklı pH değerlerinde ve farklı sürelerde EH prosesinin uygulandığında tKOİ değişimi

Bu çalışmada, deri atıksuyuna 8 V ve farklı pH değerlerinde uygulanan elektrohidroliz sonucunda giriş tKOİ konsantrasyonu 3894 mg/l'den 529 mg/l'ye düşmüştür. En yüksek verim yaklaşık %86,6 oranında pH 6,5'da 8 V gerilimde, 2 saatlik işletme süresinde ve 400 rpm karıştırma hızında elde edilmiştir.

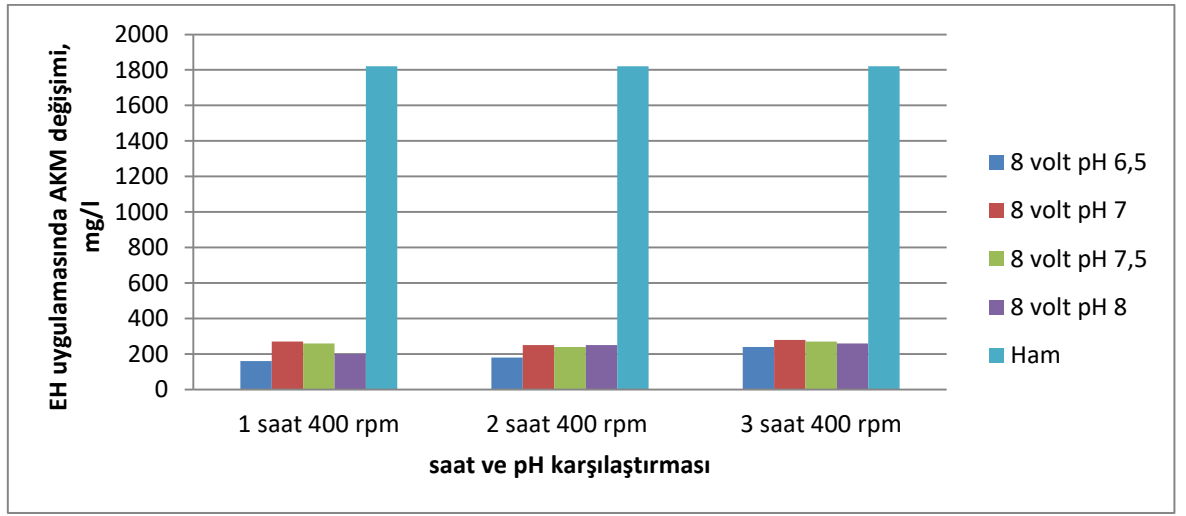
Giderim verimlerine bakıldığında 8 V gerilimde, pH 6,5 değerinde 1 saatin sonunda giderilen KOİ konsantrasyonunun, 2 saatin sonunda giderilen KOİ konsantrasyonuna yakın olduğu görülmüştür. Deri atıksuyunda 8 V geriliminde ve farklı sürelerde EH prosesinin uygulaması sonucu çKOİ değişiminin deri atıksu numunesiyle karşılaştırılması Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Deri atıksuyuna farklı pH değerlerinde ve farklı sürelerde EH prosesinin uygulandığında çKOİ değişimi

Deri atıksuyuna 8 V ve farklı pH değerlerinde uygulanan elektrohidroliz sonucunda giriş çKOI konsantrasyonu 2185 mg/l'den 238 mg/l'ye düşmüştür. En yüksek verim EH uygulamasında yaklaşık %89,1 oranında pH 6,5'da 8 V gerilimde, 2 saatlik işletme süresinde ve 400 rpm karıştırma hızında elde edilmiştir. Giderim verimlerine bakıldığında 8 V geriliminde, pH 6,5'da 1 saatin sonunda giderilen çKOI konsantrasyonunun, 2 saatin sonunda giderilen çKOI konsantrasyonuna yakın olduğu görülmüştür.

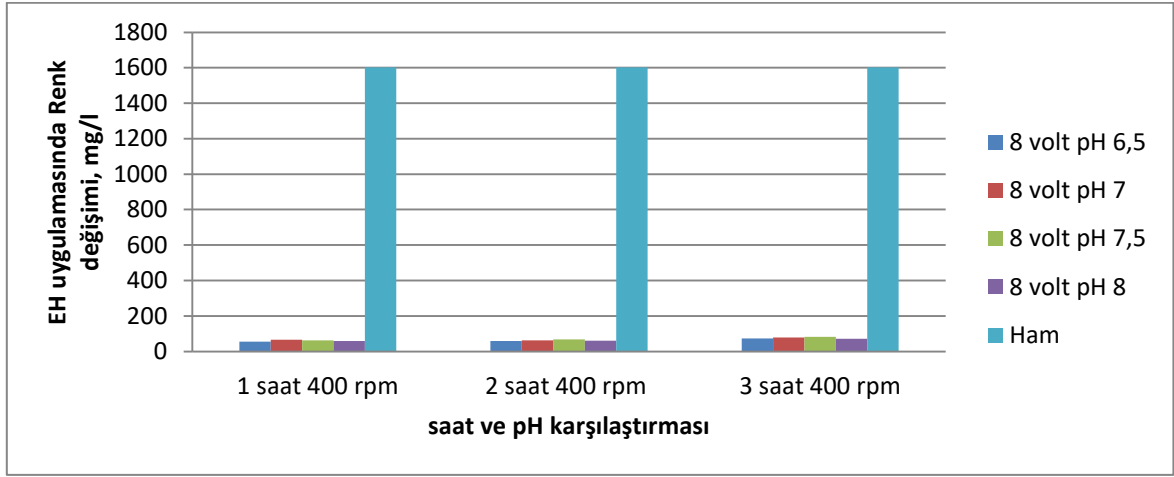
Deri atıksuyunda 8 V geriliminde ve farklı sürelerde EH prosesinin uygulaması sonucu çKOI değişiminin deri atıksu numunesiyle karşılaştırılması Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Deri atıksuyuna farklı pH değerlerinde ve farklı sürelerde EH prosesi uygulandığında AKM değişimi

Bu çalışmada, deri atıksuyuna 8 V ve farklı pH'larda uygulanan elektrohidroliz sonucunda giriş AKM konsantrasyonu 1820 mg/l'den 160 mg/l'ye düşmüştür. En yüksek verim yaklaşık %91,2 oranında pH 6,5'da 8 V gerilimde, 1 saat ve 400 rpm karıştırma hızında EH uygulamasında elde edilmiştir. Giderim verimlerine bakıldığında 8 volt, pH 6,5'da 1 saatin sonunda giderilen AKM konsantrasyonunun, 2 saatin sonunda giderilen AKM konsantrasyonuna yakın olduğu görülmüştür.

Deri atıksuyunda 8 volt geriliminde ve farklı sürelerde EH prosesi uygulandığında renk değişiminin ham deri atıksu numunesiyle karşılaştırılması Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Deri atıksuyuna farklı pH değerlerinde ve farklı sürelerde EH prosesi uygulandığında renk değişimi

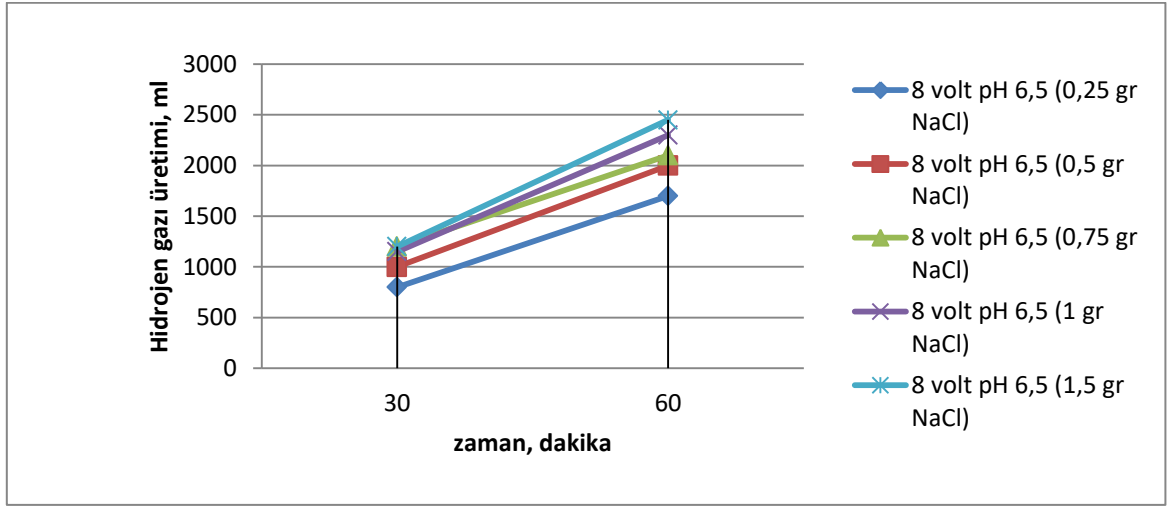
Bu çalışmada, deri atıksuyuna 8 V ve farklı pH değerlerinde uygulanan elektrohidroliz sonucunda giriş renk konsantrasyonu 1603 mg/l'den 56 mg/l'ye düşmüştür. En yüksek verim 8 Volt, pH 6,5'da 1 saat EH sonucunda yaklaşık %96,5 olarak elde edilmiştir.

Giderim verimlerine bakıldığında 8 volt, pH 6,5 'da 1 saatin sonunda giderilen renk değerinin, 2 saatin sonunda giderilen renk değerine yakın olduğu görülmüştür.

4.1.5. Deri Atıksuyuna 8 V Gerilim pH 6,5 Değerinde Farklı Miktarda NaCl İlavesi İle EH Uygulaması Sonucu Hidrojen Gazı Üretimi ve Giderim Verimleri

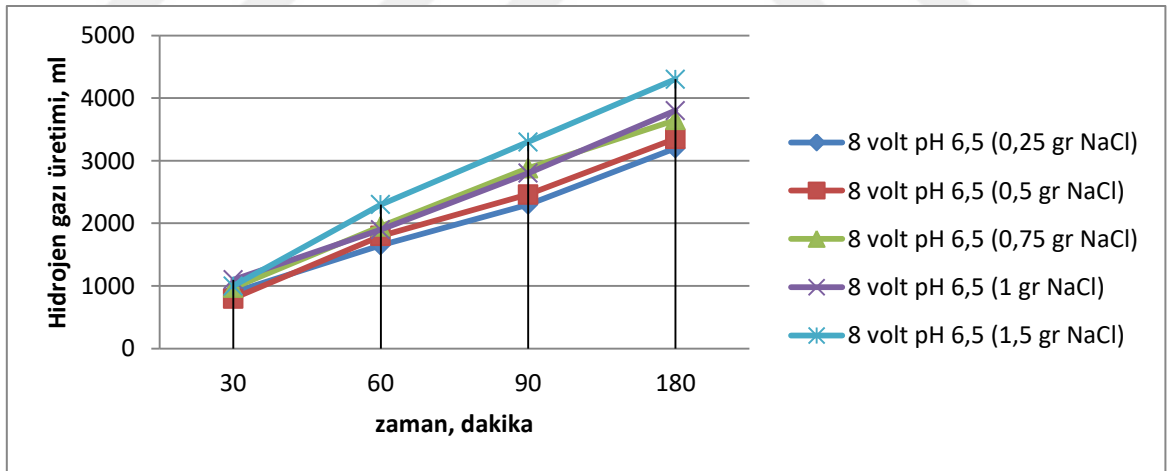
4.1.5.1. Farklı Miktarda NaCl İlavesi İle EH Uygulaması

Deri atıksuyuna elektrohidroliz uygulaması sırasında optimum pH ve optimum volt geriliminin belirlenmesinin ardından bu çalışmada, atıksuya tuz (NaCl) ilave edilerek tuzun deri atıksuyu iletkenliğini arttırması amaçlanmış olup, hidrojen gazı çıkışına olan etkisi incelenmiştir. 1 ve 2 saat süresince 700 mL deri atıksuyu numunelerine pH 6,5 değerlerinde farklı miktarda NaCl ilavesi ile EH uygulanmıştır. Yapılan çalışmalarda optimum olarak seçilen 8 volt gerilimi pH 6,5'da EH uygulandığında hidrojen gazı üretimi Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Deri atıksuyuna 8 V geriliminde pH 6.5’da 1 saat EH uygulaması NaCl denemesinde hidrojen gazı üretimi, mL

Bu çalışmada 1 saat sonunda en yüksek hidrojen gazı üretimi 1,5 gr NaCl eklendiğinde yaklaşık 2450 ml, 1 gr NaCl eklendiğinde yaklaşık 2300 ml, 0,75 gr NaCl eklendiğinde yaklaşık 2100 ml, 0,5 gr NaCl eklendiğinde yaklaşık 2000 ml ve 0,25 gr NaCl eklendiğinde yaklaşık 1700 ml olarak gözlenmiştir.



Şekil 4.14. Deri atıksuyuna 8 V geriliminde pH 6.5’da 2 saat EH uygulaması sonucu farklı NaCl konsantrasyonları eklendiğinde hidrojen gazı üretimi, mL

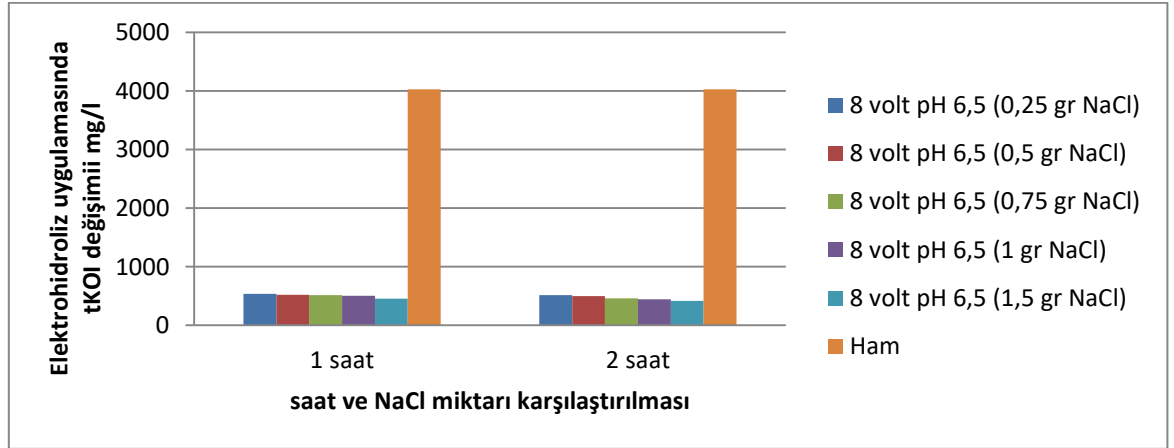
Bu çalışmada 2 saat sonunda en yüksek hidrojen gazı üretimi 1,5 gr NaCl eklendiğinde yaklaşık 4300 ml, 1 gr NaCl eklendiğinde yaklaşık 3800 ml, 0,75 gr NaCl eklendiğinde yaklaşık 3650 ml, 0,5 gr NaCl eklendiğinde yaklaşık 3350 ml, 0,25 gr NaCl eklendiğinde yaklaşık 3200 ml olarak gözlenmiştir. Deri atıksuyu numunelerine 8 V

geriliminde ve pH 6,5’da uygulanan elektrohidroliz sonucunda en fazla gaz çıkışı 2 saat işletme süresinde ve 1,5 gr NaCl eklendiğinde gözlenmiştir. 8 volt geriliminde pH 6,5’da tuz ilavesiz 2 saat işletme süresince yaklaşık 3210 ml (Şekil 4.8’de) hidrojen gazı çıkışı gözlenmişken, aynı işletme koşullarında 1.5 gr NaCl ilavesi ile yaklaşık 4300 ml gaz çıkışı gözlenmiştir. Tuz ilavesinin deri atıksuyunda hidrojen oluşumunu arttırdığı görülmüştür.

Arıkan (2012) sirke fermantasyonu atıksuyuna alüminyum yonga ve tuz ilavesiyle EH uyguladıkları çalışmada, 1 g/l Al yonga + 1 g/l tuz ilavesi ile, 2877 ml en yüksek kümülatif hidrojen üretimi, 1660 ml H₂/g KOİ hidrojen verimi elde edildiği rapor edilmiştir. En yüksek hidrojen gazı konsantrasyonu (%99) ham atıksu ve 1 g/l alüminyum yonga ilavesi ile olurken, en yüksek enerji dönüşüm verimi ise 1g/l alüminyum yonga ilavesi ile %37,8 olarak rapor edilmiştir.

4.1.5.2. pH 6.5 Değerinde Farklı Miktarda NaCl İlavesi İle 8 Volt Geriliminde EH Prosesinin Uygulaması Sonucu TKOI, ÇKOİ, AKM, Renk Giderim Verimleri

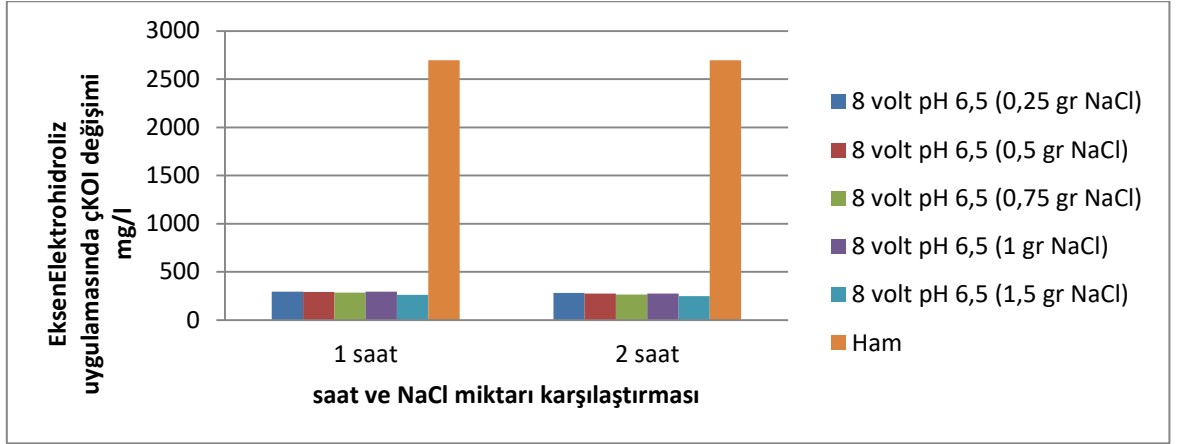
Deri atıksu numunelerine 8 V geriliminde pH 6,5’da NaCl ilavesi ile elektrohidroliz prosesi sonrasında 24 saat çöktürmeye bırakılan deney tüplerine, sırasıyla tKOİ, çKOİ, AKM, pH, renk parametreleri ölçülmüş ve giderim verimleri incelenmiştir. Parametrelerdeki değişim Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.15 .Deri atıksuyuna 8 V geriliminde pH 6,5’da NaCl denemesinde EH prosesinin uygulaması sonucu tKOI değişimi

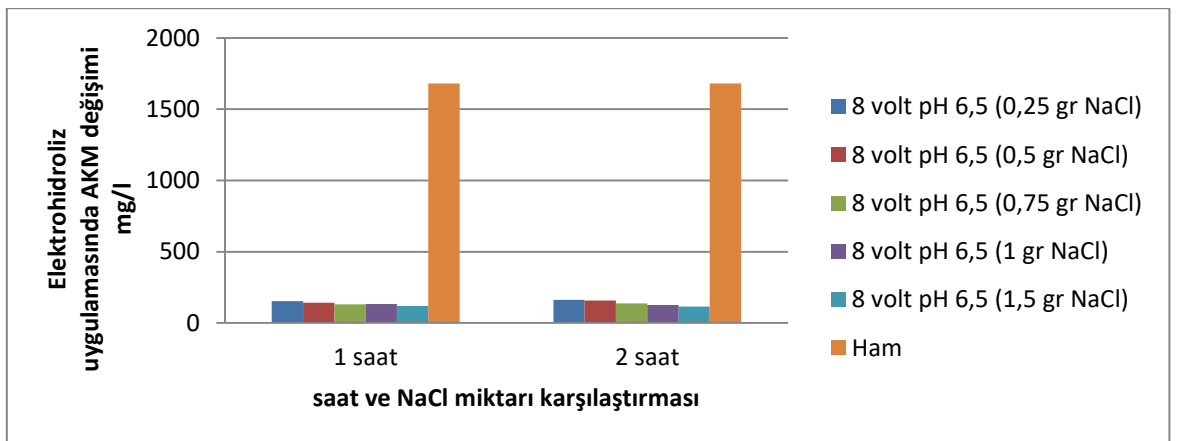
Bu çalışmada, belirlenen optimum şartlara ilaveten NaCl eklemesi yapılarak, 8 V geriliminde 400 rpm karıştırma hızında 1 ve 2 saat süreyle elektrohidroliz uygulanmıştır. KOI giderim verimi incelendiğinde; en yüksek verim 1,5 gr NaCl ilavesinde

gerçekleşmiştir. Giderim verimlerine bakıldığında tKOI giderme veriminin 1,5 gr NaCl ilavesinde 2 saatin sonunda yaklaşık %90 oranında olduğu görülmüştür. Tuz ilavesi olmadan aynı koşullarda %84,8 tKOI giderim verimi gözlenmiştir. Erdem (2017) zeytin karasuyuna farklı miktarlarda NaCl eklemesi ile uyguladıkları EH prosesinde, 0,5 NaCl-12 V gerilimde yaklaşık 3300 mL hidrojen gazı çıkışı ve en yüksek KOI giderim verimini 12 V geriliminde 0,75 mg NaCl ilavesi ile olduğu rapor etmişlerdir.



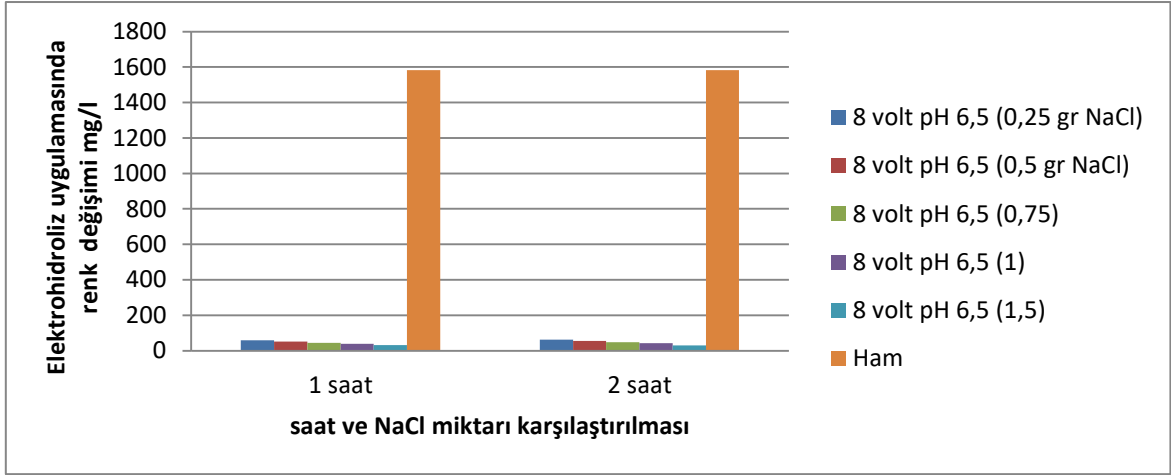
Şekil 4.16. Deri atıksuyuna 8 V geriliminde pH 6,5’da NaCl denemesinde EH prosesinin uygulaması sonucu çKOI giderim verimi

Giderim verimlerine bakıldığında çKOI konsantrasyonunun 1,5 gr NaCl ilavesinde 2 saatin sonunda yaklaşık % 91 oranında olduğu görülmüştür. pH 6,5’da 8 volt geriliminde tuz ilavesi yapılmadan 2 saat sonunda yaklaşık % 87,9 çKOI giderimi gözlenmiştir.



Şeki 4.17. Deri atıksuyuna 8 V geriliminde pH 6,5’da NaCl denemesinde EH prosesi uygulandığında AKM giderim verimi

AKM giderim verimi incelendiğinde; en yüksek verim 1,5 gr NaCl ilavesinde gerçekleşmiştir. Giderim verimlerine bakıldığında AKM konsantrasyonunun 1,5 gr NaCl ilavesinde 2 saatin sonunda yaklaşık % 93 oranında olduğu görülmüştür. Tuz ilavesi olmadan aynı koşullarda yapılan elektrohidroliz prosesinde 2 saat sonunda yaklaşık %86,3 oranında AKM giderim verimi gözlenmiştir.



Şekil 4.18. Deri atıksuyuna 8 V geriliminde pH 6.5’da EH prosesinde farklı NaCl konsantrasyonları eklendiğinde renk giderim verimi

Renk giderim verimi incelendiğinde; en yüksek verim 1,5 gr NaCl ilavesinde 8 volt geriliminde %98,1 oranında gerçekleşmiştir. Deri endüstrisi için SKKY Tablo 12’de esas alınacak standart parametreler doğrultusunda bu tez çalışması sonucunda elde edilen giderim parametreleri Çizelge 4.1’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1. Su kirliliği kontrol yönetmeliği ile EH prosesinde elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Parametre	Birim	Deri endüstrisi için SKKY Tablo12 Kompozit Numune 2Saatlik	8 volt geriliminde pH 6,5 1.5 gr NaCl ilavesi	Deri Sanayi Atıksu Deşarj
KOİ	(mg/L)	300	416	120
AKM	(mg/L)	125	126	10
Renk	(Pt-Co)	280	30	27

Tablodan da görülebileceği üzere özellikle AKM ve renk için belirlenen deşarj limitlerini EH prosesi 2 saat gibi kısa bir sürede sağlayabilmektedir. Ancak KOİ giderim veriminin arttırılabilmesi için ek bazı modifikasyonlar yapılmalıdır.

4.1.6. Elektrohroliz Maliyet Analizi

Deri atıksuyuna uygulanan elektrohroliz prosesinde, işletme maliyeti hesaplanırken, uygulanan proses sonucunda tüketilen enerji ve elektrot maliyeti hesaplanmıştır. Evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuların arıtılmasında çeşitli arıtım metotları seçilirken ilk yatırım ve işletme maliyeti göz önünde bulundurulmalıdır. İşletme maliyetleri, arıtımda kullanılacak kimyasal maddeler, elektrik, personel giderleri, çamurun bertarafı, personel, bakım ve amortisman vb. giderleri kapsamaktadır.

Elektrohroliz çalışmasında maliyet hesabı yapılırken, tüketilen enerji ve elektrot maliyeti dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Çalışma sırasında yürütülen deneylerin hepsinde literatür araştırılması sırasında en uygun verimi sağlayan ve düşük maliyeti olan alüminyum elektrotlar kullanılmıştır.

Farklı volt (4-6-8-10V) ve farklı süre (1-2-3-4 saat) denemeleri sonucunda optimum belirlenen koşullar için maliyet analizi yapılmıştır. Elektrohroliz maliyet analizinde sisteme verilen elektrik enerjisi aşağıdaki denklem (4.1) ile hesaplanmıştır. Uygulama sırasında 1 L'lik reaktör içine 700 ml deri atıksuyu konulmuştur. Farklı volt ve farklı süre denemelerinde 8 volt ve 3 saat (10800 sn) EH süresinde kirletici giderim veriminin yüksek olması nedeniyle maliyet analizi bu koşullar için yapılmıştır. Amper ortalama 1,5 A olarak alınmıştır.

$$E_{\text{enerji}} = (V * I * t)$$

Denklem 4.1

Ee: Elektrohroliz prosesindeki enerji tüketimi (J),

V: Sisteme uygulanan doğru akım voltajı, Volt,

I: Elektrolitten geçen akım yoğunluğu, Amper,

T: Uygulanan voltajın süresi, saniye, v: reaktör hacmi (ml)

$$E_{\text{enerji}} = (8 * 1,5 * 10800) = 129600 \text{ Joule (Ws)}$$

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J (Ws)}$$

$$129600 \text{ J} = 36 \text{ Wh}$$

Elektrohidroliz prosesi süresince kullanılan elektrik enerjisi Denklem 4.1. kullanılarak 36 Wh olarak hesaplanmıştır. 1kWh (1000 Wh) elektrik 0,5375 TL olduğundan; EH prosesinde 700 ml atıksu için elektrik enerjisi maliyeti 0,019 TL dir.

Elektrohidroliz sırasında 1L'lik reaktörde 700 ml atıksu bulunduğundan; 1 L atıksu için:

$$0,019 \text{ TL}/0,7 \text{ L} = 0,027 \text{ TL/L'dir.}$$

Üretilen hidrojen gazı miktarı ise ideal gaz yasasına göre hesaplanmıştır.

$$P * V_{H_2} = (m/MA) * R * T \quad \text{Denklem 4.2}$$

P = Basınç, (1 atm),

V_{H_2} = kümülatif hidrojen gazı hacmi, L,

m = kümülatif hidrojenin gazının kütlesi, gram,

MA = Hidrojen gazının mol ağırlığı, g/mol,

R = Gaz sabiti, (0,082 L*atm/mol*K),

T = Mutlak sıcaklık, Kelvin

Hidrojen gazının kütleli hesabı ideal gaz denklemi ile 1 atm basınç ve 25 °C sıcaklık koşulları altında hesaplanmıştır.

8 volt ve 3 saat elektrohidroliz sonucu oluşan gaz miktarı 4130 ml'dir.

$$P * V_{H_2} = (m/MA) * R * T$$

$$1 \text{ atm} * 4,13 \text{ L} = (m/2) * 0,082 * 298$$

$$M=0,34 \text{ g.}$$

1 gram hidrojenen elde edilebilecek elektrik enerjisi 122 kJ olarak kabul edilerek (Tuna ve ark., 2009)

$$EH_2 = m * (122 \text{ kJ/g})$$

Denklem 4.3

EH₂ = Üretilen hidrojen gazının enerji eşdeğeri, kJ,

m = Hidrojen gazının kütlesi, gram

$$EH_2 = 0,34 * 122 = 41,5 \text{ kJ}$$

$$41,5 \text{ kJ} = 11,5 \text{ Wh}$$

Elektrohidroliz prosesi süresince üretilen hidrojen gazı miktarının enerji eşdeğeri ise 41,5 kJ olarak bulunmuştur.

$$\text{Enerji verimliliği} = EH_2 / E_{\text{enerji}}$$

$$= 11,5 \text{ Wh} / 36 \text{ Wh} = 0,32 - \%32$$

Bu tez çalışmasında deri atıksuyuna uygulanan 8 V geriliminde 3 saat elektrohidroliz süresinde enerji verimi %32 olarak bulunmuştur. 8 V geriliminde pH 6,5'da en fazla gaz çıkışı 3 saat işletme süresi sonunda 4520 ml'dir. Bu koşullar için yukarıdaki denklemler kullanılarak enerji verimi %35 olarak hesaplanmıştır. Tez çalışmasında, tuzun EH prosesine olan katkısı incelendiğinde 1 ve 2 saat EH uygulanması sonucu en yüksek hidrojen gazı 2 saat sonunda 1,5 gr NaCl ilavesi ile 4300 ml'dir. Bu koşullar ile enerji verimi hesaplandığında, %50 olarak bulunmuştur. Arıkan (2012) sirke fermentasyonu atıksuyundan elektrohidrolizle hidrojen gazı üretimi araştırdıkları çalışmada farklı elektrot türlerinde (alüminyum, bakır, paslanmaz çelik) enerji veriminin elektrot türüne bağlı olarak değiştiğini rapor etmişler, % 21,33 alüminyum elektrot, % 6,65 bakır ve % 6,54 paslanmaz çelik elektrot ile enerji verimi gözlenmiştir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Deri endüstrisi atıksularına uygulanan arıtmalara alternatif olarak yeni teknolojilerin denenmesi, atıksuyun daha verimli arıtımı için oldukça önemlidir. Bu tez kapsamında; kompleks bir atıksu olan deri atıksuyundaki kirleticilerin gideriminde elektrohizoliz prosesinin etkinliği test edilmiştir. Çalışmada elektrohizoliz prosesi sonrası deri atıksu karakterizasyonundaki değişim ve hidrojen gazı üretim kapasitesi araştırılmıştır. Optimizasyon çalışmalarında farklı voltlarda, farklı pH değerlerinde, atıksuya ilave edilen farklı miktarda tuzun hidrojen gazına etkisi incelenmiştir. Çalışmada optimum olarak belirlenen 8 volt geriliminde 3 saat işletme süresinde en yüksek %81 KOI, %86 çKOI, %81 AKM %92 Renk giderim verimi elde edilmiştir. Farklı pH değerleri test edildiğinde, en yüksek hidrojen gazı üretimi 3 saat uygulama sonrasında pH 6,5’da 4520 ml olarak gözlenmiştir. pH 6,5’da 2 saat sonunda sırasıyla %86,6 KOI ve pH 6,5’da 1 saat sonunda %91,2 AKM giderimi elde edilmiştir. Atıksuya eklenen tuzun katkısı incelendiğinde en yüksek hidrojen gazı üretimi 8 volt gerilimi ve pH 6,5 değerinde 1,5 gr NaCl eklenmesi sonucunda 2 saat işletme süresinde 4300 ml olarak gözlenmiştir. Giderim verimlerine bakıldığında tKOI konsantrasyonunun hidrojen gazı üretimiyle doğru orantılı olarak yaklaşık %89,7 tKOI, %90,7 çKOI, % 93,2 AKM ve % 98 renk giderim verimi elde edilmiştir. Sonuçlar, deri atıksuyunda kirletici konsantrasyonlarının önemli derecede azaldığını, deri sanayi atıksu arıtma tesisi deşarj limitlerine yakın olduğu görülmüştür. Yapılacak modifikasyonlar ile giderim verimini artırmak mümkün olabilir. Elektrohizoliz sonuçları bu prosesin deri atıksuyundaki kirleticilerin gideriminde kullanılabileceğini, özellikle renk parametresinde etkin olduğunu göstermiştir.

Gelecekteki çalışmalar için bazı öneriler aşağıda listelenmiştir:

-Sistemin performansının artırılması amacıyla farklı sistemde reaktör tasarımı yapılabilir. Farklı elektrot türleri veya plaka elektrotlar kullanılabilir ve bu elektrotların performansları karşılaştırılabilir.

-Elektrohizoliz maliyetini azaltmak amacıyla elektrik kaynağı olarak farklı enerji sistemleri, rüzgar enerjisi ve güneş panelleri kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Açıkel S.M., 2015. Deri Atıksularından Kromun ve Basit Asit Boyar Maddesinin Hidrojel Membranlarla Adsorpsiyonunun Araştırılması, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Adhoum N., Monser L., 2004. Decolourization and Removal of Phenolic Compounds From Olive Mill Wastewater by Electrocoagulation. Chem. Eng. Process. Process Intensif. 43, 1281e1287.
- Akarsu C., 2014. Elektrokoagülasyon Prosesi ile Endüstriyel Atıksu Arıtımı, Akademik platform, Isites 2014 Karabük-Türkiye
- Alexander K., 1990. Cleaner Technologies in the Tanning Industry. British Leather Confederation. Northampton, England.
- Argun H., Dao S., 2016. Hydrogen Gas Production from Waste Peach Pulp by Dark Fermentation and Electrohydrolysis, International Journal of Hydrogen Energy 4111568 -11576.
- Arıkan S., 2012, Atıksulardan Elektrolizle Hidrojen Gazı Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Türkiye.
- Aslan A., 2014. Improved Dyeing Properties of Chrome-Tanned Leathers and Parameters of the Waste Water Using Chitosan Formate, Ekoloji 23, 91:75- 82pp.
- Ateş E., Orhon D., Tünay O., 1997. Characterization of Tannery Wastewaters for Pretreatment Selected Case Studies, Wat. Sci. Tech., Vol.36, No.2-3, 217-223.
- Ayoub G.M., Hamzeh A., Semerjian L., 2011. Post Treatment of Tannery Wastewater Using Lime/Bittern Coagulation and Activated Carbon Adsorption. Desalination, 273, Pp 359–65.
- Bailey D.G., Tunick M.H., Friedman A.A., Rest G.D., 1984. "Aneorobic Treatment of Tannery Waste", Proceedings Ind., Waste Conf., Cilt 38, S. 673-682.
- Bitlisli B.O., 1999. Yağ Alma Flottellerindeki Doğal Yağların Deri Yağlamada Kullanılabilirliği Üzerinde Araştırmalar. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Türkiye.

- Budiman P.M., Wu T.Y., Ramanan R.N., Md Jahim J., 2017. Reusing Colored Industrial Wastewaters In A Photofermentation for Enhancing Biohydrogen Production by Using Ultrasound Stimulated Rhodobacter Sphaeroides. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 15870e15881.
- Cassano A., Molinari R., Romano M., Drioli E., 2001. Treatment of Aqueous Effluent of the Leather Industry by Membrane Processes. A Review. *J.* 181:111–26.
- Cassano A., Drioli E., Molinari R., Bertolutti C. 1996. Quality Improvement of Recycled Operation by Membrane Processes. *Desalination*. Vol. 108:193-203.
- Çokay E., 2018. Hydrogen Gas Production From Food Wastes by Electrohydrolysis Using a Statical Design Approach. *Int. J. Hydrogen Energy* 43 (23), 10555e10561.
- Çokay E., Gürler Y., 2019. Effects of Metals in Wastewater on Hydrogen Gas Production Using Electrohydrolysis, *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Coskun T., İlhan F., Demir N.M., Debik E., Kurt U., 2012. Optimization of Energy Costs in the Pretreatment of Olive Mill Wastewaters by Electrocoagulation. *Environ. Technol.* 33, 801e807.
- Deghles A., Kurt U., 2015. Treatment of Raw Tannery Wastewater by Electrocoagulation Technique: Optimization of Effecti ve Parameters Using Taguchi Method, *Desalination and Water Treatment*.
- Deghles A., Kurt U., 2016. ‘‘Treatment of Tannery Wastewater by a Hybrid Electrocoagulation / Electrodialysis Process’’, *Chemical Engineering and Processing* Vol. 104, Pp.43-50.
- Deghles A., Kurt U., 2017. Hydrogen Gas Production from Tannery Wastewater by Electrocoagulation of a Continuous Mode with Simultaneous Pollutants Removal, *IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)* e-ISSN: 2278-5736. Volume 10, Issue 3 Ver. I, PP 40-50.
- Doğruel S., Germirli Babuna F., 2006. Deri Endüstrisi Atıksuyu İçin Biyolojik Arıtma Sırasında Ozonlamanın Optimizasyonu. *İtü dergisi/E Su Kirlenmesi Kontrolü*, 16, 1-3, 91- 102.

- Durmaz U., Çiner F., 2017. Treatability of Tannery Wastewater by Electrocoagulation Process, Periodicals of Engineering and Natural Sciences ISSN 2303-4521 Vol.5, No.2, pp. 245250.
- Eker A.C.U., 2015. Zeytin Karasuyunun Ardışık Kesikle Anaerobik Reaktörler ile Arıtılabilirliğinde Uygun Ön Arıtım Metodunun Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Türkiye.
- EL-Tayieb., M.M., El- Shafei M., Mahmoud M.S., 2013. The Role of Alginate as Polymeric Material in Treatment of Tannery Wastewater, International Journal of Science and Technology, 2(2):218-224pp.
- Eker S., Kargı F., 2010. Hydrogen Gas Production From Electrohydrolysis of Industrial Wastewater Organics by Using Photovoltaic Cells (PVC). Int. J. Hydrogen Energy 35, 12761-12766.
- Erdem S., 2017. Zeytin Karasuyundan Asidifikasyon ve Elektrohizoliz Prosesleri ile Yan Ürün Eldesi, Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Türkiye.
- Fabiani C., Ruscio F., Spadoni M., Pizzichini M., 1996. Chromium(III) Salts Recovery Process from Tannery Wastewaters. Desalination. 108:183-1
- Garcia-Pena E.I., Nino-Navarro C., Chairez I., Torres-Bustillos L., Ramirez-Mu Noz J., Salgado-Manjarrez E., 2018. Performance Intensification of a Stirred Bioreactor for Fermentative Biohydrogen Production. Prep. Biochem. Biotechnol. 48:64e74.
- Gürsoy-Haksevenler B.H., Arslan-Alaton İ., 2012 Karasuyun Koagülasyon, Elektrokoagülasyon ve Fenton Prosesleri ile Kimyasal Arıtılabilirliği, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı, 34469 Maslak, İstanbul.
- Gisi S.D., Galasso M., Feoa G.D., 2009. Treatment of Tannery Wastewater through the Combination of a Conventional Activated Sludge Process and Reverse Osmosis With A Plane Membrane. Desalination, 249, 337-342.
- Gtz., 2002. Treatment of Tannery Wastewater, Naturgerechte Technologien, Bau- Und Wirtschaftsberatung (Tbw) GmbH.

- Guo Z.R., G Zhang., Fang J., Duo X. 2005. Enhanced Chromium Recovery from Tanning Wastewater. *Journal of Cleaner Production*. 14:75-79.
- Gupta S., Babu B.V., 2009. Removal of Toxic Metal Cr(VI) from Aqueous Solutions Using Sawdust as Adsorbant: Equilibrium, Kinetics and Regeneration Studies, *Chemical Engineering Journal*, 150:352-65pp.
- Hanafi F., Assobhei O., Mountadar M., 2010. Detoxification and Discoloration of Moroccan Olive Mill Wastewater by Electrocoagulation. *J. Hazard Mater.* 174, 807-812.
- Kargi F., 2011. Comparison of Different Electrodes in Hydrogen Gas Production from Electrohydrolysis of Wastewater Organics Using Photovoltaic Cells (PVC), *International Journal of Hydrogen Energy* 36: 3450- 3456.
- Kargi F., Catalkaya E C., 2011a. Hydrogen Gas Production From Olive Mill Wastewater by Electrohydrolysis With Simultaneous COD Removal. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, 3457-64.
- Kargi F., Catalkaya E. C., 2011b. Electrohydrolysis of Landfill Leachate Organics for Hydrogen Gas Production and COD Removal. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, 3457-64.
- Kargi F., Catalkaya E. C., Uzuncar S., 2011. Hydrogen Gas Production from Waste Anaerobic Sludge by Electrohydrolysis: Effects of Applied DC Voltage. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, 2049-56.
- Kargi F., Uzunçar S., 2012. Simultaneous Hydrogen Gas Formation and COD Removal from Cheese Whey Wastewater by Electrohydrolysis. *Int. J. Hydrogen Energy* 37, 11656-11665.
- Kargi F., Arıkan S., 2013. Improved Hydrogen Gas Production in Electrohydrolysis of Vinegar Fermentation Wastewater by Scrap Aluminum and Salt Addition. *Int. J. Hydrogen Energy* 38, 4389-4396.
- Kabdaşlı I., Tünay O., 1992. *Deri Endüstrisinde Arıtma Uygulamaları, İTÜ 3. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu.*

- Kalender A., 1981. “Deri Sanayi Sıvı Atıklarının Aktif Çamur Metodu ile Tasfiyesinin Kinetiği Üzerine Bir Araştırma”, Doktora Tezi, İ.T.Ü.
- Karabay S., 2008. Waste Management in Leather Industry, M.Sc.Thesis, Dokuz Eylül Üniversitesi, Turkey.
- Kestioğlu K., 2000. Bursa Deri Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi Etüt-Fizibilite Raporu, Bursa.
- Kurt U., Apaydin O., Gonullu M. T. 2007. Reduction of Cod in Wastewater from Anorganized Tannery Industrial Region by Electrofenton Process, Journal of Hazardous Materials, 143,33-40.
- Lefebvre O., Vasudevan N., Torrijosa M., Thanasekaran K., Moletta R., 2006. Anaerobic Digestion of Tannery Soak Liquor With an Aerobic Post-Treatment. WaterRes 40:1492–500.
- Lofrano G., Meriç S., Zengin G.E., Orhon D., 2013. Chemical and Biological Treatment Technologies for Leather Tannery Chemicals and Wastewaters: A Review, Science of the Total Environment, 461–462:265– 281pp.
- Ludvik J., 2000. The Scope for Decreasing Pollution Load in Leather Processing, Unıdo.
- Macchi G., Pagano M., Santari M., Tiravanti G., 1991.“A Bench Scale Study on Chromium Recovery from Tannery Sludge”, Water Research, Cilt 25, Sayı: 8, S. 1019-1026.
- Mollah M. Y. A., Schennach R., Parga J. R., Cocke D. L., 2001. Electrocoagulation (EC), Scienceand Applications, Journal of Hazardous Materials , Vol.34, Number 3, Pp. 29-41.
- Munz G., De Angelis D., Gori R., Mori G., Casarci M., Lubello C., 2009. The Role of Tannins in Conventional Angogated Membrane Treatment of Tannery Wastewater, Journal of Hazardous Materials, 164:733-9 pp.
- Nriagu J. D., Nieboer E.,1988.Advances in Environmental Science and Technology, 20.
- Oz N.A., Eker A.C.U., 2019. Simultaneous Hydrogen Production and Pollutant Removal

- from Olive Mill Wastewaters Using Electrohydrolysis Process, *Chemosphere* 232 .296-303.
- Özcan S., Yılmaz M. T., Bayar S., 2014. Erzurum Şeker Fabrikası Atıksularının Elektrokoagülasyon Prosesi ile Arıtılmasında Akım Yoğunluğu ve Karıştırma Hızının Etkisi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (4), 57–65.
- Özyonar F., Karagözoğlu B., 2012. Elektrokoagülasyon Prosesi ile Tekstil Sanayi Atıksuyunun Arıtımı, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 28:1, P. 29-37.
- Pouet M.F., Grasmick A., 1995. Urban Wastewater Treatment by Electrocoagulation and Flotation, *Water Sci. Technol.*, 31, 275-283.
- Preethi V., Parama Kalyani Ks., Iyappan K., Srinivasakannan C., Balasubramaniam Nn., Vedaraman N., 2009. Ozonation of Tannery Effluent for Removal of COD and Color. *J Hazardmater* 166:150–4.
- Ramteke P.W., S. Awasthi., T. Srinath., B. Joseph., 2010. Efficiency Assessment of Common Effluent Treatment Plant (Cetp) Treating Tannery Effluents. *Environ. Monitor. Assessment*, 10.1007/S10661-009-1156-6.
- Santosa S.J., Siswanta D., Sudiono S., Ratna., 2008. Utarianingrum. Chitin–Humic Acid Hybrid as Adsorbant for Cr (III) in Effluent of Tannery Wastewater Treatment, *Applied Surface Science*, 254:7846-50pp.
- Sekaran G., K. Chitra, M. Mariappan., K.V. Raghavan, 1996. Removal of Sulphide in Anaerobically Treated Tannery Wastewater by Wet Air Oxidation. *J. Environ. Sci. Health A.*, 31: 579-598.
- Sekoai P.T., Ayeni A.O., Daramola M.O., 2017. Parametric Optimization of Biohydrogen Production from Potato Waste and Scale-Up Study Using Immobilized Anaerobic Mixed Sludge. *Waste Biomass Valorization* 1-13.
- Schrank S.G., Jose H.J., Moreira R.F.P.M., Schröder H.Fr., 2005. Applicability of Fenton and H₂O₂/Uv Reactions in the Treatment of Tannery Wastewaters, *Chemosphere*, 60, 644-655.

- Schrank S.G., Bieling U., Jose H.J., Moreira R.F.P.M., Schroder H.Fr., 2009. Generation of Endocrine Disruptor Compounds During Ozone Treatment of Tannery Wastewater Confirmed by Biological Effect Analysis and Substance Specific Analysis, *Water Science and Technology*, 59:31-8pp.
- Sundarapandiyan S., Chandrasekar R., Ramanaiah B., Krishnan S., Saravanan P., 2010. Electrochemical Oxidation and Reuse of Tannery Saline Wastewater. *J Hazard Mater* 180:197–203.
- Tadesse I., Isoaho S. A., Green F. B., Puhakka J.A., 2006. Lime Enhanced Chromium Removal in Advanced Integrated Wastewater Pond System, *Bioresource Technology*, 97, 529-534.
- Talinli İ., 1994. Pretreatment of Tannery Wastewaters, *Wat. Sci. Tech.*, 29(9), 175-178
- Thanikaivelan P., Rao J.R., Nair B.U., Ramasami T., ve ark., 2005: Recent Trends in Leather Making: Processes, Problems and Pathways, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 35:37–79.
- Topbaş M. T., Brohi A. R., Karaman M. R., 1998. Çevre Kirliliği. T.C. Çevre Bakanlığı Yayınları, Ankara, Türkiye.
- Toprak R., Girgin İ., 1999. Aktifleştirilmiş Klinoptilolit ile Deri Sanayi Atık Sularından Kromun Giderilmesi.
- Tunay O., Kabdaslı I., Orhon D., Ates E., 1995. Characterization and Pollution Profile of Leather Tanning Industry in Turkey. *Water Sci Technol* 32:1–9.
- Tuna E., Kargı F., Argun H., 2009. Hydrogen Gas Production by Electrohydrolysis of Volatile Fatty Acid (VFA) Containing Dark Fermentation Effluent. *Int J Hydrogen Energy* 34:262-9.
- Yarıntepe C. C., Türen B., Oz N.A., 2019. Hydrogen Production from Municipal Wastewaters Via Electrohydrolysis Process, *Chemosphere* 231 168-172

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hande KÜÇÜKPELVAN

Doğum Yeri : Bandırma

Doğum Tarihi : 15.03.1990

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü- Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Yayınlar

2017 Deri Atıksuyunun Arıtım Metotları, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2017:3,1, 59-96

İŞ DENEYİMİ

2019 Ocak-Halen Balıkesir Su ve Kanalizasyon İdaresi, Balıkesir-Gönen Atıksu Arıtma Tesisi, Çevre Mühendisi

2017-2019 Aralık-Ocak İmt Müh. İnş. Ltd. Şti- İmtek Beton Boru Ele. İml. İnş.San. ve Tic. Ltd. Şti, Balıkesir-Gönen Atıksu Arıtma Tesisi, Çevre Mühendisliği

2015-2017 Mart-Ağustos Gönen Deri İhtisas ve Karma Organize Sanayi Bölgesi, Çevre Mühendisi

2013-2015 Eylül-Mart Gönen Deri Sanayici ve İş Adamları Derneği, Atıksu Arıtma Tesisi, Çevre Mühendisi

2012 Haziran-Ağustos Bandırma Organize Sanayi Bölgesi, İşletme Stajyer

2012 Haziran-Temmuz Gönen Belediyesi, İşletme Stajyer

2011 Haziran-Eylül The Dannon Company, Laboratuvar Stajyer

İLETİŞİM

E-posta Adresi : handekucukpelvan@gmail.com

