

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIK SUYUNUN
ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER İLE
ARITILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Çevre Müh. Mutlu Adalet YILDIZ

**Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği
Danışman: Doç. Dr. Sevil VELİ**

KOCAELİ, 2011

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIK SUYUNUN ELEKTROKİMYASAL
YÖNTEMLER İLE ARITILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Çevre Müh. Mutlu Adalet YILDIZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih: 15 Haziran 2011

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Sevil VELİ

(.....)

Üye

Prof. Dr. Anatoly DİMOGLO

(.....)

Üye

Doç. Dr. Aykan KARADEMİR

(.....)

KOCAELİ, 2011

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Su kirliliği günümüzde canlıları en çok etkileyen kirliliklerin başında gelmektedir ve hızla sanayileşen dünya da su kirliliğinin artmasına neden olmaktadır.

Buna karşın atıksudaki kirliliklerin giderimini sağlayacak arıtım teknolojilerinin de kullanım alanları günden güne genişlemektedir. İleri arıtım teknolojilerinden olan elektrokoagülasyon ve elektrooksidasyon prosesleri de kirleticilerin gideriminde sağladığı yüksek verim nedeniyle tercih edilmektedir.

Yaptığım çalışmalarda desteğini ve anlayışını benden asla eksik etmeyen ve yardımcı olmak için elinden gelenin daima fazlasını yapmaya çalışan değerli danışmanım Doç. Dr. Sevil VELİ'ye ve Çevre Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmakta olan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında moral desteğini ve yardımlarını benden esirgemeyen arkadaşlarım Yüksek Kimya Mühendisi Gül GÜNDÜZOĞLU'na ve Metalurji ve Malzeme Mühendisi Taylan BATIRER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmayı bana sonsuz emek sarfeden sevgili ailem; annem Şennur YILDIZ, babam Kürşat YILDIZ ve kardeşim Elif Gülşah YILDIZ'a armağan ediyorum.

Mutlu Adalet YILDIZ
KOCAELİ, 2011

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	v
SİMGELER	vi
ÖZET.....	vii
İNGİLİZCE ÖZET	viii
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ VE ATIKSULARI	3
2.1. Tekstil Endüstrisinin Üretim Aşamaları ve Su Kullanımı	3
2.2. Tekstil Endüstrisinin Çevresel Etkileri	5
2.2.1. Atıksu arıtımı	5
2.2.2. Solvent emisyonları.....	5
2.3. Denim Tekstil Aşamaları	5
2.4. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtım Yöntemleri.....	9
BÖLÜM 3. ELEKTROKİMYASAL ARITIM YÖNTEMLERİ.....	11
3.1. Elektrokimyasal Arıtımın Uygulama Alanları	11
3.2. Elektrokimyasal Arıtımın Avantajları ve Dezavantajları.....	12
3.3. Elektrokimyasal Arıtmada Önemli İşletme Şartları	13
3.3.1. Elektrot tipi	13
3.3.2. Elektrotların yerleşimi.....	14
3.3.3. Akım yoğunluğu	14
3.3.4. pH.....	15
3.3.5. Arıtım süresi.....	15
3.3.6. Kontrol parametreleri	15
3.4. Elektrokoagülasyon.....	16
3.4.1. Elektrokoagülasyon reaktöründe gerçekleşen reaksiyonlar	17
3.4.2. Elektrokoagülasyon reaktöründe alüminyum elektrodu kullanımı ile gerçekleşen reaksiyonlar	18
3.4.3. Elektrokoagülasyon reaktöründe demir elektrodu kullanımı ile gerçekleşen reaksiyonlar	20
3.5. Elektrooksidasyon	23
3.6. Elektroflotasyon	25
BÖLÜM 4. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	27
BÖLÜM 5. MALZEME VE YÖNTEM	31
5.1. Tesisin Tanımı	31

5.2. Deneysel Prosedür.....	34
5.2.1. Elektrokoagülasyon Düzenegi	34
5.3. Analitik Prosedür	35
5.3.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı.....	36
5.3.2. Toplam organik karbon	36
5.3.3. Renk	36
5.3.4. Bulanıklık.....	36
5.3.5. pH.....	37
5.3.6. İletkenlik	37
5.4. Kullanılan Eşitlikler	38
BÖLÜM 6. BULGULAR VE TARTIŞMA	39
6.1. Atıksu Karakterizasyonu.....	39
6.2. Elektrokoagülasyon Uygulamaları.....	39
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1: EC Reaktöründe alüminyum (Al) elektrodu kullanılması durumunda gerçekleşen reaksiyonlar.....	19
Şekil 3.2: Elektrokoagülasyonda oluşacak monomerik Al türleri.....	20
Şekil 3.3: Dimerik ve polimerl Al^{+3} hidroksi komplekslerinin yapısı.....	20
Şekil 3.4: Elektrokoagülasyon reaktöründe demir (Fe) elektrodu kullanılması durumunda gerçekleşen reaksiyonlar.....	21
Şekil 5.1: Çak Tekstil üretim akış şeması.....	32
Şekil 5.2: Çak tekstil arıtma tesisi akış şeması.....	33
Şekil 5.3: Elektrokoagülasyon deney düzeneği	34
Şekil 5.4: Hach Lange DR 5000 spektrofotometre cihazı.....	35
Şekil 5.5: Hach DRB 200 ısıtıcı cihazı.....	35
Şekil 5.6: pHmetre cihazı.....	37
Şekil 5.7: İletkenlik ölçüm cihazı.....	39
Şekil 6.1: Arıtma tesisi giriş suyunda zamana bağlı KOİ giderimi.....	43
Şekil 6.2: Kimyasal arıtma tesisi çıkış suyunda zamana bağlı KOİ giderimi.....	43
Şekil 6.3: Arıtma tesisi giriş suyunda zamana bağlı TOK giderimi.....	44
Şekil 6.4: Kimyasal arıtma tesisi çıkış suyunda zamana bağlı TOK giderimi.....	44
Şekil 6.5: Arıtma tesisi giriş suyunda zamana bağlı renk giderimi.....	45
Şekil 6.6: Kimyasal arıtma tesisi çıkış suyunda zamana bağlı renk giderimi.....	45

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1: Elektrokimyasal yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları	18
Tablo 6.1: Denim tekstil endüstrisi atıksu özellikleri.....	40
Tablo 6.2: Paslanmaz çelik elektrotlu elektrokooksidasyon ile arıtma tesisi giriş suyu arıtım sonuçları.....	41
Tablo 6.3: Paslanmaz çelik elektrotlu elektrokooksidasyon ile kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu arıtım sonuçları.....	41
Tablo 6.4: Demir elektrotlu elektrokoagülasyon ile arıtma tesisi giriş suyu arıtım sonuçları.....	42
Tablo 6.5: Demir elektrotlu elektrokoagülasyon ile kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu arıtım sonuçları.....	42
Tablo 6.6: Alüminyum elektrotlu elektrokoagülasyon ile arıtma tesisi giriş suyu arıtım sonuçları.....	43
Tablo 6.7: Alüminyum elektrotlu elektrokoagülasyon ile kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu arıtım sonuçları.....	43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

EK	:Elektrokoagülasyon
FWPCA	:Federal Su Kirliliği Kontrolü
KOİ	:Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TOK	:Toplam Organik Karbon
UOH	: Uçucu Organik Hidrokarbonlar
AKM	: Askıda Katı Madde

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNUN ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER İLE ARITILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Mutlu Adalet YILDIZ

Anahtar Kelimeler: Tekstil endüstrisi atıksuyu, elektrokoagülasyon, elektrooksidasyon, kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam organik karbon, renk.

Özet: Bu çalışmada tekstil endüstrisi atıksuyunun elektrokimyasal yöntemlerle arıtılabilirliği incelenmiştir. Elektrokoagülasyon yönteminde demir, alüminyum elektrotlar, elektrooksidasyon yönteminde ise paslanmaz çelik elektrod kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Karakterizasyonu belirlenen arıtma tesisi giriş ve çıkış suyun arıtımında KOİ, TOK, renk gibi parametreler analiz edilmiştir. Çalışmalar süresince 12,6 A ve 7,1V akım koşullarında en yüksek TOK giderim verimine %61,49 ile paslanmaz çelik elektrot kullanımı sonucunda, en yüksek renk giderim verimine ise 15 A ve 2,9V akım koşullarında %100 ile alüminyum elektrot kullanımı sonucunda ulaşılmıştır.

SURVEYING REMOVAL OF TEXTILE INDUSTRY WASTEWATER BY ELECTROCHEMICAL METHODS

Mutlu Adalet YILDIZ

Keywords: Textile industry wastewater, electrocoagulation, electrooxidation, chemical oxygen demand, total organic carbon, color.

Abstract: In this study, the removal of textile industry wastewater by electrochemical method is examined. In experimental studies; iron, and aluminium electrodes were used in electrocoagulation method and stainless steel electrode was used in electrooxidation method. After the characterisation of treatment plant input and discharge water; COD, TOC and color parameters were analysed. During the studies, the highest TOC removal efficiency (%61,49) was obtained in 12,6 A, 7,1 V current conditions by using stainless steel electrode and the highest color removal efficiency (%100) was obtained in 15 A, 2,9 V current conditions by using aluminium electrode.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlardan dolayı tekstil endüstrisinde de büyük bir gelişimin yaşandığı son 20 yılda; tekstil endüstrisinden kaynaklanan kirletici tür ve miktarları da artmaktadır.

Tekstil endüstrisi tarafından en çok kirleticiye maruz kalan alıcı ortam sudur. Üretimde kullanılan çok çeşitli kimyasal maddelerin, uygun şekilde arıtılmadan alıcı ortama karışması bu maddelerin toksik ve kanserojenik özelliklerinden dolayı ekolojik olarak büyük sorunlar yaratmaktadır.

Bunun yanında atıksuların arıtımı için fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri arıtım teknikleri olarak pek çok yöntem mevcuttur ve uygun arıtma tekniği seçilerek içerdikleri kirletici konsantrasyonları uygun seviyelere düşürülebilmektedir.

Boyar madde içeren atıksuların biyolojik arıtımı atıksulardaki organik kirleticileri gidermede yaygın olarak kullanılmasına rağmen bu metodlar toksik ve biyolojik olarak parçalanamayan organik maddeleri içeren endüstriyel atıksuların arıtımında arıtım veriminin düşük olmasından dolayı tercih edilmezken, fiziksel ve kimyasal arıtma teknikleri daha çok tercih edilmektedir. Son yıllarda ise ileri arıtım tekniklerinden olan elektrokoagülasyon ve elektrokoksidasyon prosesleri, arıtımın hızlı ilerlemesi, yüksek giderim verimi ve diğerlerine göre daha düşük olan maliyeti gibi özellikleri nedeniyle uygulamalarda geniş yer bulmaktadır.

Elektrokimyasal prosesleri bir ileri arıtım tekniğidir ve adsorpsiyon kapasitesi çok yüksek olan metal hidroksitlerin sudaki değişik kirletici parametreleri adsorbe ederek çökelti yoluyla sudan uzaklaştırma prensibine dayanmaktadır.

Bu çalışmada elektrokimyasal prosesler uygulanarak tekstil endüstrisi atıksuyunun ön arıtımı incelenecektir. Sakarya ilinde faaliyet gösteren Çak Tekstil firmasının

mevcut arıtma tesisinden alınan arıtma tesisi girişı ve kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu numunelerinde karakterizasyon çalışması yapılacaktır. Daha sonra atıksulara demir ve alüminyum elektrodlar kullanılarak elektrokoagülasyon, paslanmaz çelik elektrot kullanılarak elektrokooksidasyon prosesleri uygulanacaktır. Her bir elektrot tipi ile çalışılan atıksudan belirlenen zaman aralıklarında alınan numunelerde KOI, TOK, renk ve bulanıklık gibi parametrelerin giderim verimlerine bakılacaktır.

BÖLÜM 2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ VE ATIKSULARI

Günlük yaşamımızın her aşamasında, yatak örtüsünden, perdeye, havludan, işe giderken giydiğimiz giysilere kadar tekstil yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bu çeşitlilik tekstil endüstrisi içinde, çok çeşitli proseslerin oluşmasına neden olmuştur. Tekstil endüstrisinde yaygın olan bu proseslerin pek çoğu çevresel konuları içermektedir. (Kaynak: www.bcm.org.tr)

2.1. Tekstil Endüstrisinin Üretim Aşamaları ve Su Kullanımı

Tekstil endüstrisinde, ipliklerin yıkanması, ağartma, boyama ve son ürünlerin yıkanması gibi işlemlerin başından sonuna kadar yüksek hacimlerde su kullanılmaktadır. Ayrıca, tekstil fabrikalarında daha düşük maliyetli olan nehir, göl ve kuyu sularının da ek kaynak olarak kullanımı yaygındır. Başlangıçta kullanılan büyük miktarlardaki suyun az bir kısmı üründe yer almakta ve sonuçta üründe kullanılmayan kısım çıktı olarak büyük hacimde oluşmaktadır. Tekstilde suyun kullanıldığı başlıca ıslak prosesleri inceleyecek olursak aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır.

Yıkama

Ham elyaflar yıkanır ve böylece daha fazla işlenmenin ve boyama sırasında boyarmaddenin lifler tarafından flotteden çekilip alınmasının geliştirilmesi için kumaşın ıslanma kabiliyeti gelişir. Yıkama, banyolarda uygulanabilir ve pamuğun yıkanmasında kaynama noktasına yakın, kahverengi ve kostik bir çıkış oluşturmak için çoğunlukla yüksek sıcaklıktaki (genelde 90°C'nin üstünde) çözeltilerde sodyum hidroksit kullanılır.

Pestisit gibi, atıksu çıkışlarında problem yaratan maddelerin giderilebilmesi için, yün yapağlarında kirlilik gidermenin sağlanmasında yıkama yapılır. Permetrin

(permethrin) güveye karşı yaygın olarak kullanılan maddelerden birisidir. Belediye atıksu arıtma tesisleri için inhibe edici özelliğe sahip bu madde atıksu deşarj noktasında kirletici madde olarak yer alabilir. (Kaynak: www.bcm.org.tr)

Haşıl sökme

Dokumanın ardından kumaştan haşılların giderilmesidir. Haşıl dokuma tezgahlarında dokuma esnasında aşınmaya karşı korunma ve iplikten kılların azaltılması için ipliğe eklenen kimyasallara verilen addır. Genelde haşıllama maddeleri, nişasta, polivinil alkol ve poliakrilik içermektedir. Haşıl giderme prosesinin özelliği kullanılan haşıla bağlıdır, ama genelde bu prosesin çıkış suları yüksek sıcaklıktadır ve organik madde konsantrasyonu yüksektir.

Ağartma

Bu proste kullanılan kimyasallar, ipliklerin renginin ve pisliklerin giderilmesi amacıyla kullanılır. Başlıca kullanılan ağartma maddeleri, güçlü oksitleyici maddeler olan sodyum hipoklorit ve hidrojen peroksittir. Bu maddeler, aşırı şekilde bu proste giderilen pisliklerle birlikte çıktı olarak deşarj edilir.

Merserizasyon

Malzeme özelliklerinin geliştirilmesi için pamuklu iplik veya kumaşların işlenmesidir. Pamuklu iplik düşük sıcaklıklarda (15°C) sodyum hidroksit çözeltisine daldırılır ve daha sonra alkalinitesinin giderilmesi için çalkalanır. Kumaş ise bu proste yıkanır ve sülfirik veya hidroklorik asit kullanımıyla nötralize edilir. Böylece çıkış suyunda aşırı deşarj önlenir. (Kaynak: www.bcm.org.tr)

Boyama

Kumaş veya ipliğe gerekli renklerin verilmesi için bu proses yerine getirilir. Boyama genellikle sıcak boya çözeltilerinde uygulanır. Boyamayı izleyen proseslerde daima bazı boyar maddeler boya eriyiğinde kalacak ve bunlar çıkış suyunda yer alacaktır. Bu proste kullanılan ve ürüne karışmamış boyanın oranı % 40 seviyelerinde olacak kadar yüksek olabilir. Fakat bu oran proste gerçekleştirilecek denemeler ve dikkatli

uygulamalarla % 5 seviyelerine çekilebilir. Böylece hem maliyetten tasarruf sağlanır hem de çevresel etki azaltılabilir.

2.2. Tekstil Endüstrisinin Çevresel Etkileri

2.2.1. Atıksu arıtımı

Tekstil işletmeleri atıksularını deşarj etmeden önce, en basit şekilde arıtma uygulamak için pH seviyesini düzenleyebilirler. Deşarj edilmeden önce kabul edilebilir pH seviyesini ayarlamak için asit ve bazlar kullanılarak asidite ve alkalinite azaltılabilir.

Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında atıksu arıtma tesisleri kimyasal ve biyolojik arıtma sistemleri, kabul edilebilir seviyedeki çıkış konsantrasyonlarının sağlanması için BOİ ve KOİ gibi parametrelerin seviyelerine bağlı olarak dizayn edilmelidir. (Kaynak: www.bcm.org.tr)

2.2.2. Solvent emisyonları

Bazı tekstil finisaj işlemleri suya karşı dayanıklı kaplama yapılması işlemlerini içerir. Bu işlemde genelde tekstil materyalinin üzerine plastik veya poliüretan konur. Bu kaplama geleneksel olarak solvent bazlı olarak yapılmaktadır ve solventler sürekli kurutma fırınlarında buhar olarak ortaya çıkmaktadır. Kullanılan birçok solvent genelde uçucu organik bileşikler (UOH'ler) olarak sınıflandırılmaktadır. Atmosferde kirlilik problemlerine neden olabilen UOH'ler örneğin güneşli günlerde smog olarak adlandırılan yapay sis oluşumuna katkıda bulunabilirler. Smog insan sağlığını, tarım ürünlerini ve bina malzemelerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

2.3. Denim Tekstil Aşamaları

Jean,kesim,dikim,yıkama,durulama,kurutma,ütü aşamalarından geçtikten sonra paketlenmeye hazır hale gelir. Bu işlemler içinde en önemlilerin biri yıkama ,kumaşa farklı renk ve etkiler vermeye yarar. Elde etmek istenen etkiye göre ,jean,ön yıkamadan sonra çeşitli işlemlerden geçirilir.

Yıkama

Kumaş önce dokuma ve konfeksiyon için gerekli maddelerden arındırılır. Ardından "ponza taşları" ile istenen renk elde edilene dek yıkanır. Bu taşın kumaş üzerinde aşındırıcı ve boyanın tekrar kumaşa yapışmasını engelleyici etkisi bulunmaktadır. Bunu izleyen aşamada kimyasallar arttırılır ve renk buz mavisine dönüşür. Ayrıca "rodeo"adı verilen aşamada kumaşa özel kabinlerde yapılacak püskürtmeyle belirli bölgelerin ağartılması sağlanır.

Denim kumaşa uygulanan yıkama çeşitleri aşağıdaki gibidir.

Enzim yıkama

Enzimler bir nevi proteindir, son yıllarda tekstil sektöründe kullanılmaya başlanmıştır, nişastayı ve selülozu parçalama özelliğinden dolayı yıkama sektöründe ön plana çıkmıştır. Ürünlerin zemin rengi, değişik tür ve sıcaklığa göre kullanılan enzimlerle yakalanmaya çalışılır.

Taş yıkama

Taşı adı verilen volkanik doğal taşlarla yapılan yıkama şeklidir. Mamulün inceliğine ve kalınlığına veya istenen efektin azlığına veya çokluğuna göre değişik boyutlarda taşlar kullanılabilir. Taşla beraber enzim kullanılarak daha kısa zamanda mamule zarar vermeden belirgin bir efekte ulaşılabilir. Bu işleme ek olarak ağartma veya silikon yumuşatma işlemleri de yapılabilir.

Enzim süper taş yıkama

Pomza taşı ve enzimler kullanılarak uygulanan yıkama türüdür.

Buz yıkama

Denim mamullerinin çok açık tonda mavi renge indirgenmesi işlemidir. Bu işlemde potasyum permanganat veya sodyum hipoklorit kullanılır.

Biliç yıkama

Buz yıkamada uygulanan yöntemle koyu tonda mavi rengin yakalanması işlemidir.

Kar yıkama

Pomza taşının permanganat içerisinde bekletilip sadece bu taş ile mamulün makinede işlem görmesidir.

Ağartma

Tekstil mamulünün (özellikle denim) renginin soldurulması işlemidir. Pamuklu mamullerde etkin olmaktadır. Bu bir nevi indirgeme reaksiyonudur. Potasyum permanganat veya sodyum hipoklorit kullanılarak bu işlem yapılmaktadır. İndirgen kimyasal maddelerin kapiler özellikteki pomza taşma emdirilmesi sonrasında sadece taş ve mamulün bir yıkama makinesinde işleme tabi tutulmasıdır.

Silikon yıkama

Silikon yağı adı ile bilinen makro veya mikro emülsiyonlar halinde kullanılan yumuşatıcılarla yapılan yumuşatma işlemidir.

Fashion işlemleri

Sprey - Fırça kimyasal

Ön yıkaması yapılmış veya yıkama sürecinden geçip kurutulmuş denim ürünlere uygulanan beyazlatma işlemidir. Ürünler şişme robotlara giydirilerek kumaş yüzeyinde oluşabilecek izler önlenmeye çalışılır. Şişme robotlara giydirilen ürünlere istenilen efekte göre uygun oranda potasyum permanganat uygulanır.

Bu uygulama boya tabancasıyla yapılırsa "sprey kimyasal" fırça ile uygulanırsa "fırça kimyasal" denilir.

Lokal bıyık

Yıkama işlemi bitirilmiş; kurutulmuş ürünlere potasyum permanganat ve tint boyalarla bölgesel olarak uygulanan bıyık şeklidir.

Lokal tint

Yıkama işlemi bitirilmiş; kurutulmuş ürünlere potasyum permanganat ve tint boyalarla bölgesel olarak uygulanan boyama işlemidir.

Zımpara

Denim ürünlere kullanılmış görünümü sağlamak ve yıpratarak değişik efektler elde etmek için, değişik niteliklerde zımparalarıyla denim ürün üzerinde uygulanan yıpratma işlemine denir. Bu uygulama denim mamul ham halde iken yapılır.

Bıyık

Denim ürünlerde istenilen bölgeye zımparasıyla uygulanan düz veya dalgalı, uzun ya da kısa çizgilere denir. Bu uygulama denim mamul ham halde iken yapılır.

Eskitme

Denim ürünlerde istenilen bölgeye uygulanan ve uygulandığı bölgeyi kullanımdan dolayı yıpranmış görünümü vermeyi sağlayan işlemdir. Pantolonlarda genellikle paçalarda, cep ağızlarında bu uygulama gerçekleştirilmektedir. Bu uygulama denim mamul ham halde iken veya yıkama sonrası yapılır.

Destroy (Yıpratma)

Denim ürünlerde istenilen bölgeye uygulanan aşırı yıpratma veya yırtma uygulamasına denir. Bu uygulama denim mamul ham halde iken veya yıkama sonrası yapılır.

Krinkıl

Ürün üzerinde istenilen bölgeye istenen özellikteki kırıştırma efektinin özel kimyasallarla yüksek sıcaklıktaki fırında fikse edilerek uygulanması işlemine denir. Uygulama sonrası üründe kırışıklık - krinkıl efekti elde edilir. Ürün tekrar yıkansa dahi bu efekt kaybolmaz.

Ütü izi

Bu uygulama denim mamul ham halde iken yapılır. Ütü izi bırakılmış efekti elde edilmiş olur.

Reçine

Bu uygulama denim mamul ham halde iken yapılır. Ürün şişme robotlara alınıp üzerine reçine ve fikse ettirici diğer kimyasallar uygulanır. Yüksek sıcaklıktaki fırında belirli bir müddet bekletilip reçine sıvısının kumaşa fikse edilmesi sağlanır. Bu uygulamadaki amaç ürün zemininde elde edilecek parlaklık efektini yakalamak, kumaşın daha ağır ve kaygan olmasını sağlamaktır.

Dokuma mamullerinin yıkanması

Yukarıda adı geçen tüm yıkamalar denim mamullerde uygulanmaktadır. Özellikle renkli gabardin mamullerde ağartma buz yıkama ve rodeo yıkamalar kullanılmaz. Dokuma mamullerin yıkanmasında özellikle kumaş konstrüksiyonu, dokuma ipliği tipi, dikiş ipliği tipleri temel kriterlerdir. (Çak Tekstil Üretim Raporu, 2011)

2.4. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtım Yöntemleri

Tekstil endüstrisi atıksuları içerdikleri çok çeşitli kimyasallardan ve özellikle boyarmaddelerden dolayı arıtılması zor olan endüstriyel atıksulardır. Değişik organik madde, ağır metal, çözünmüş tuzlar, renk, bulanıklık içeren ve değişen pH'larda dış ortama verilen bu sular, birinci derece arıtma ihtiyacı duyulan atıksulardır. Arıtmada en önemli sorun atıksuların içerdiği boyarmaddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Atıksularda renk giderimi yapılmadan alıcı ortamlara verilen bu atıksular önemli çevre problemlerine neden olmaktadır. Bunlardan en önemlisi estetik ve toksik etkilerdir. Ülkemizde Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde, deşarj standartlarında renkle ilgili parametre olmamasından dolayı, bu atıksuların arıtımında daha çok KOI, BOI ve AKM giderimi amaçlanmaktadır. Buna karşın ABD ve Avrupa Birliği ülkelerinde renkle ilgili kesin deşarj sınırlamaları getirilmesinden dolayı son yıllarda tekstil atıksularının arıtılmasında bütün arıtma teknolojileri renk giderimi üzerine yoğunlaşmıştır (Bakır, 2006).

Tekstil endüstrisi atıksularından boyar maddelerin uzaklaştırılmasında çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en önemlileri aşağıda kısaca açıklanmaya çalışılmıştır.

Fiziksel arıtım yöntemleri

- Adsorbsiyon
- Membran Sistemleri
- Koagulasyon-Flokülasyon

Kimyasal arıtım yöntemleri

- Ozonlama
- Kimyasal Oksidasyon
- Kimyasal İndirgeme
- Elektrokimyasal Yöntem

Atıksuların daha ileri düzeyde arıtılması amacı ile kullanılan fizikokimyasal yöntemler arasında;

- Adsorpsiyon
 - İyon Değişirme
 - Ekstraksiyon
 - Ters Ozmoz
 - Elektrokimyasal Arıtım
- sayılabilir.

Biyolojik arıtım yöntemleri

- Biyodegradasyon
- Biyobirikim
- Biyosorpsiyon

Şeklindedir. (Bakır, 2006)

BÖLÜM 3. ELEKTROKİMYASAL ARITIM YÖNTEMLERİ

Elektrokimyasal arıtım başlıca 3 yöntemden oluşmaktadır. Bu sistemler tek tek çalışabildiği gibi bazı sistemlerde birkaç elektrokimyasal proses aynı anda, kombine şekilde kullanılabilir.

Örneğin elektrokoagülasyon prosesi esnasında doğal olarak oluşan gaz çıkışı ile kısmen bir elektroflotasyon da gerçekleşmektedir. Bu da elektrokimyasal arıtım yöntemlerinde kısa sürede etkin bir arıtım veriminin oluşmasına imkan vermektedir. Elektrokimyasal yöntemler, arıtımın yanı sıra metal geri kazanımında da son yıllarda kullanılmaya başlamıştır. (İlhan ve diğ., 2007)

Elektrokimyasal arıtım türleri aşağıda sıralandığı şekildedir.

- Elektrokoagülasyon
- Elektrooksidasyon
- Elektroflotasyon

3.1. Elektrokimyasal Arıtımın Uygulama Alanları

Elektrokimyasal arıtım yöntemleri basit ve verimli bir yöntem olarak birçok su ve atıksu arıtımında kullanılmaktadır.

Elektrokimyasal arıtım yöntemleri içme suyu arıtımı, evsel atıksu, tekstil atıksuları, restaurant atıksuları, boyalı atıksular, mezbaha atıksuları, süt endüstrisi atıksuları, sızıntı suları, kağıt endüstrisi atıksuları, deterjan atıksuları ve maden atıksuları gibi bir çok alanda uygulanmaktadır. Elektrokimyasal arıtım yöntemleri, deflorinasyon,

ağır metal giderimi, yağ giderimi, organik madde giderimi, askıda katı madde giderimi, renk giderimi, nitrat giderimi, fenol giderimi, arsenik giderimi, poliaromatik organik kirlilik, lignin ve organik kirliliğin gideriminde yaygın olarak kullanılabilmektedir. (İlhan ve diğ., 2007)

3.2. Elektrokimyasal Arıtımın Avantajları ve Dezavantajları

Elektrokimyasal arıtım yöntemlerinin diğer arıtım yöntemlerine oranla bazı önemli avantajları vardır. Bu avantajlar genel olarak aşağıda verilmiştir;

Avantajları:

- Basit araç gereç gerekmektedir. Ayrıca basit işletme parametreleri ile iyi bir verim elde edilebilmektedir.
- Atık suların elektrokimyasal arıtım yöntemleriyle arıtılmasıyla iyi derecede renk ve koku giderim sağlanır.
- Elektrokimyasal arıtım yöntemleriyle birçok kirletici bir arada giderilebilir. Yani alternatif proseslerde belli kontaminantları gidermede birkaç proses ardarda kullanılabilir. Ancak elektrokimyasal proseslerde bu kirleticiler tek bir prosesle giderebilmektedir.
- Elektrokimyasal arıtım prosesleri düşük bakım maliyeti ve iş gücü gerektirir.
- Düşük enerji ihtiyacından dolayı gereken enerji kolayca karşılanabilir.
- Yüksek sıcaklıklar proses için herhangi bir problem oluşturmamaktadır,
- Daha az kimyasal madde kullanılır,
- Elektrokoagülasyonun flok formları kimyasal floklara benzemesine rağmen elektrokoagülasyon flokları daha büyük olur ve daha kararlıdır. Ayrıca bu floklar filtrasyonla daha kolay ayrışabilirler.
- Elektrokoagülasyon sonucu oluşan çamur formu çoğunlukla metal hidroksitler şeklindedir.
- Elektrokoagülasyon sonucu oluşan toplam çözünmüş katıların içeriği kimyasal arıtıma oranla daha düşüktür. Eğer bir su yeniden kullanılacaksa toplam çözünmüş katının az olması maliyetin daha az olmasına tercih edilmelidir.

- Elektrokoagülasyon prosesi küçük kolloidal partiküllere karşı kimyasal arıtıma oranla daha etkilidir.
- Elektrokoagülasyon prosesinde kimyasal madde kullanılmazken, çöktürme işlemi nötralizasyon esasına göre olmaktadır. Yüksek kirletici konsantrasyonlarında kimyasal madde ilavesi yapılabilmektedir.
- Elektroflotasyonda gaz kabarcıkları elektroliz süresince kirleticileri taşıyarak daha küçük kirletici konsantrasyonlarını bile flotasyon mekanizmasıyla giderebilmektedir.
- Elektroflotasyonda kabarcık sayısının ve boyutunu kontrol etmek için bir parametre olarak akım yoğunluğu kontrol edilir.
- Özellikle elektrooksidasyon sonucu oluşan anodik klor, dezenfektan gibi davranır.

Dezavantajları

- Elektrot, atık su içindeki çözünmüş maddelerin oksidasyonu sonucu oksitlenebilir.
- Birçok yerde elektrik maliyeti yüksektir (Ancak kullanılması gereken enerji çok düşük olduğundan yüksek bir maliyet oluşturmaz).
- Atıksudaki süspanse maddelerin yüksek iletkenliğe sahip olması istenir.
- Bazı çalışmalarda çözünebilir maddeler hidroksit şeklinde çökebilir.

3.3. Elektrokimyasal Arıtımda Önemli İşletme Şartları

Elektrokimyasal arıtım verimi, yüksek oranda sulu ortamın kimyasına, özellikle iletkenliğine bağlıdır. Ayrıca pH ve partikül büyüklüğü de önemli parametreler arasındadır. Bununla birlikte elektrot tipi, reaksiyon süresi, etkin elektrot yüzey alanı gibi parametreler de göz ardı edilmemelidir. (İlhan ve diğ., 2007)

3.3.1. Elektrot tipi

Elektrokoagülasyonda sonuca etkileyen en önemli parametrelerin başında şüphesiz elektrot tipi seçimi gelir. Elektrokimyasal arıtım türünü belirlediği gibi kirletici giderim verimini de doğrudan etkiler. Farklı prosesler için farklı oluşumlar gerçekleştiği için elektrot tipi büyük önem taşımaktadır. Örneğin, elektrokoagülasyon yöntemi için seçilen elektrot türleri akım ile birlikte ortamda çözünürken, elektrooksidasyon prosesinde OH^- radikalleri oluşturup herhangi bir

çözünme söz konusu olmamaktadır. Elektrokoagülasyon yöntemi için demir ve alüminyum elektrotlar yaygın şekilde kullanılırken elektrooksidasyonda bu elektrotların yerini, titan, platin, rutenyum vb. elektrotlar almaktadır. Farklı atıksular için farklı elektrot tipleri daha verimli sonuçlar verebilir. (İlhan ve diğ., 2007)

3.3.2. Elektrotların yerleşimi

Elektrot tipi seçiminin yanı sıra elektrotların reaktör içerisinde yerleşimi de büyük önem taşımaktadır. Monopolar ve bipolar elektrotlar kullanılarak seri ya da paralel şekilde bağlanmak suretiyle farklı giderim verimleri sağlanabilmektedir. Genel olarak düşünüldüğünde bir anot ve bir katottan oluşmasına rağmen elektrotlar çok farklı şekilde yerleştirilebilir. Daneshvar, sentetik boya içerikli bir sudan renk gideriminde elektrotların yerleşimi üzerinde bir optimizasyon yapmıştır. Çalışmada seri ve paralel elektrotlardan klasik elektrokimyasal hücreye oranla daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda monopolar elektrotlardan bipolar elektrotlara oranla daha iyi verimler elde edildiği, seri bağlı elektrot tiplerinden de paralel bağlı elektrotlara oranla daha etkin verim sağlandığı belirlenmiştir.

3.3.3. Akım yoğunluğu

Elektrokimyasal arıtımda önemli işletme şartlarından biri de akım yoğunluğudur. Akım yoğunluğunun optimizasyonu elektrokimyasal arıtım yöntemi için çok önemlidir. Gerekenden fazla akım yoğunluğu uygulandığında maliyet artışı oluşabileceği gibi eğer elektrokoagülasyon yöntemi uygulanıyor ise akım yoğunluğuna paralel olarak çamur oluşumu da artacaktır. Ayrıca arıtım çalışmalarında akım yoğunluğu ile arıtım süresi yakından ilişkilidir. Yüksek akım yoğunluğu uygulandığında daha kısa süreli bir arıtım gerçekleşmektedir. Sızıntı suyu ile ilgili olarak yapılan bir çalışmada 2V ile 15 V arasında çeşitli elektriksel gerilimler uygulanarak KOİ giderim verimleri belirlenmiştir. Sonuçlara göre artan elektriksel gerilim kuvvetiyle eş sürelerde daha yüksek KOİ giderim verimleri elde edilmiştir .

3.3.4. pH

pH, ortamda oluşan elektrolitik reaksiyonları direkt olarak etkilediği için büyük öneme sahiptir. Gerek elektrooksidasyon için hidroksil radikallerinin oluşumu ve gerekse elektrokoagülasyon için metal hidroksitlerin oluşumunda pH birinci dereceden etkilidir. Belli pH değerleri dışında koagülantlar oluşmayacağı gibi hidroksil radikallerinin oluşum yüzdesi de büyük oranda azalacaktır. Ayrıca prosesler sonucunda pH'nın değişimi de söz konusudur. Elektrooksidasyonun baskın olduğu durumlarda pH giderek düşerken elektrokoagülasyon uygulamalarında pH'nın giderek arttığı gözlenmektedir. Giderim verimleri başlangıç pH'ına bağlı olduğu kadar son durumdaki pH değerlerine de bağlıdır.

3.3.5. Arıtım süresi

Arıtım süresi tüm arıtım proseslerinde olduğu gibi elektrokimyasal arıtım uygulamalarında da önemlidir. Yapılacak çalışmalarda, arıtım süresinin optimizasyonu gerekir. Aksi takdirde gerekenden az bir arıtım süresi uygulandığında ihtiyaç duyulan verim sağlanamayabileceği gibi uzun süreli arıtmalar ise gerek maliyet açısından ve gerekse çamur ve köpük oluşumu bakımından uygun değildir. Ayrıca her tip atıksuyun arıtım süresi çok farklı olabilir. Yapılan bir çalışma da bir battaniye fabrikası atıksuyundan organik kirliliğin giderimi ve renk giderimi açısından çeşitli işletme şartlarının etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. İletkenliği yeterli olmadığı için NaCl ilave edilen bu çalışmada sonuç olarak 5 dakikalık bir arıtım süresinde 60-80A/m² akım yoğunluğunda %75'lik bir KOİ giderimi ve %99'luk bir renk giderimi elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmada 5 dakikada iyi bir verim elde edilebilirken zeytin yağı endüstrisi atıksuyu ile ilgili yapılan başka bir çalışmada ise 240 dakikalık bir arıtım süresi sonunda bile %40'ın üstünde bir KOİ giderim verimi gözlenememiştir. Bu da farklı atıksu tiplerinde arıtım performansının ne ölçüde değişebildiğinin önemli bir göstergesidir.

3.3.6. Kontrol parametreleri

Tüm bu işletme parametrelerinin yanı sıra suyun iletkenliği, pH'nın değişimi, sıcaklık ve oksidasyon redüksiyon potansiyeli kontrol parametreleri olarak önemlidir.

Bu parametrelerin incelenmesiyle proses hakkında daha detaylı bilgiler elde edilebilmektedir. (İlhan ve diğ.,2007)

3.4. Elektrokoagülasyon

En yaygın olarak kullanılan elektrokimyasal proses elektrokoagülasyondur. Bir elektrokimyasal proste en önemli şartlardan biri elektrot cinsidir. Elektrokoagülasyonda yaygın olarak alüminyum (Al^{+3}) ve demir (Fe^{+3} , Fe^{+2}) elektrotlar kullanılmaktadır. Bu elektrotların prosesin işletme aşamasında suyla reaksiyona girerek $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_2$ ve $Fe(OH)_3$ gibi metal hidroksitler oluşturmaktadır. Sistemde arıtım metal hidroksitlerin oluşmasıyla başlamaktadır. Adsorpsiyon kapasitesi çok yüksek olan metal hidroksitlerin sudaki değişik kirletici parametreleri adsorbe ederek çökelti yoluyla sudan uzaklaştırma prensibine dayanan bu arıtım metodu günümüzde birçok yerde kullanım alanı bulmaktadır. Bu işlem esnasında elektrotlarda oluşan elektrokimyasal işlemler sonucu sudan çok küçük gaz kabarcıkları çıkmaya başlar. Bu gaz kabarcıklarının da elektroflotasyonun temelini oluşturduğunu düşünürsek bazı kirleticilerde elektrokoagülasyon esnasında elektroflotasyon yöntemiyle sudan uzaklaştırılacağı söylenebilir. Belirli ölçüde elektroflotasyon da oluştuğundan dolayı kirletici giderim verimi yüksektir. Bu verim çeşitli işletme şartlarının optimizasyonu ile daha da arttırılabilir.

Elektrokoagülasyonda genellikle 3 temel işlem söz konusudur.

- a) Elektrotların yüzeyinde oluşan elektrolitik reaksiyonlar
- b) Sıvı fazda koagülantların (metalik iyonların) oluşumu
- c) Çözünebilir ya da koloidal kirleticilerin adsorpsiyon, koagülant, sedimentasyon veya flotasyon mekanizmaları ile giderilmesi.

Elektrokoagülasyonla emülsifiye maddeler, askıda katı maddeler ve kolloidal maddeler kararlı hale getirilir. Bu yüzden elektriksel uygulamalarda elektrotlarla partiküller uygun şekilde temas ettirildiğinde partiküller nötralize olmakta ve farklı partiküller kombine olarak büyük floklar oluşturmaktadır.

Genellikle elektrokoagülasyon prosesinde alüminyum ya da demir elektrotlar kullanılmaktadır. Bunun nedeni metalik iyonların adsorpsiyon kapasitesi yüksek olduğu için iyi bir koagülant olmasından kaynaklanmaktadır. Dağınık haldeki partiküllerin elektrokoagülasyon prosesiyle sudan arındırılabilen ve kararlı çamur elde edilebilmektedir. Yapılan bir çalışmada, elektrokoagülasyonla hızlandırılmış bir şekilde flok oluşumu sağlandığından dolayı, elektrokoagülasyonun kimyasal arıtıma alternatif olarak gösterilebileceği sonucu çıkmıştır.

Elektrokoagülasyon yöntemi geleneksel koagülasyona benzemekle birlikte elektrokoagülasyonun birçok avantajı vardır.

- a) Elektrokoagülasyon küçük koloidal partiküllerin kararlı hale getirilip giderilmesinde konvansiyonel koagülasyona oranla daha etkilidir.
- b) Elektrokoagülasyonda daha az ve daha kararlı çamur oluşmaktadır.
- c) Elektrokoagülasyon ekipmanlarının kullanımı ve işletmesi kolaydır.
- d) Elektrokoagülasyonda kimyasal madde eklenmesine gerek yoktur. Bu yüzden işletme ve bakımı daha kolaydır.

Gerek etkin verim ve gerekse kolay işletme şartları nedeniyle elektrokimyasal arıtım yöntemleri içerisinde en yaygın kullanım alanı bulan yöntem elektrokoagülasyondur.

3.4.1. Elektrokoagülasyon reaktöründe gerçekleşen reaksiyonlar

EC reaktöründe elektrotlara DC güç kaynağı ile akım verildiğinde anot elektrot elektron vererek yükseltgenir, katot elektrot ise elektron alarak indirgenir. EC reaktöründe anot ve katotta gerçekleşen elektrokimyasal yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları Tablo 3.1’de özetlenmiştir.(İlhan ve diğ., 2007)

Tablo 3.1: Elektrokimyasal yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları (Eyvaz, 2005)

Anot Reaksiyonları	Katot Reaksiyonları
Anotta yükseltgenme (elektron verir)	Katotta indirgenme (elektron alır)
Anodik çözünme $Al_{(k)} \rightarrow Al^{+3} + 3e^-$	Katodik birikme $Cu^{+2} + 2e^- \rightarrow Cu$
Anyonlar anotta toplanır	Kasyonlar katotta toplanır
Anolit bölge oluşur	Katolit bölge oluşur
Anotta oksijen $2H_2O \rightarrow O_2\uparrow + 4H^+ + 4e^-$	Katotta hidrojen $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2\uparrow + 2OH^-$
Klor var ise anotta klor $2Cl^- - 2e^- \rightarrow Cl_2\uparrow$	Gazın indirgenmesi $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

3.4.2. Elektrokoagülasyon reaktöründe alüminyum elektrodu kullanımı ile gerçekleşen reaksiyonlar

EC prosesinde, Al elektrotları kullanılması ile Al anotta çözünür (3.1) ve katotta da hidrojen gazı açığa çıkar (3.2). Al'in çözünmesi sırasında anotta farklı Al türleri üretilir. Al türleri, büyük boyutta floklar oluşturmak için koagülant olarak kirlenmelerle birleşir.

Al anotlarının oksidasyonla suda elektrolitik olarak çözünmesi sulu Al^{+3} türleri oluşturur.

Anotta



Katotta

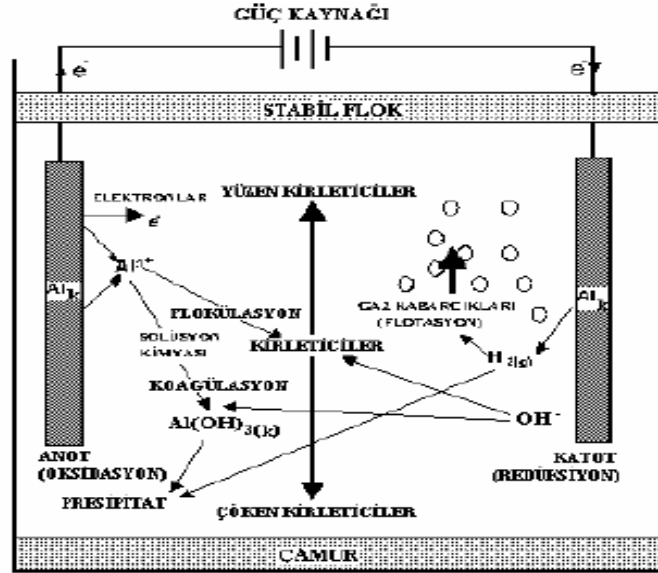


Hidroliz sırasında oluşan H_2 gazı su yüzeyine doğru yüzer ve bundan dolayı da flotasyon prosesini hızlandırır. Al^{+3} iyonlarının katı $Al(OH)_3$ presipitatu oluşum reaksiyonu 3.3'te görülmektedir.



Al elektrotların kullanıldığı EC prosesinde koagülant üretim mekanizması kimyasal koagülasyondaki mekanizmaya benzemektedir. Her iki proseste de Al^{+3} 'ün hidrolizi

ve bunun sonunda çeşitli alüminyum hidroksit polimer kompleks ve çöktürleri meydana gelmektedir (Solak, 2007).



Şekil 3.1: EC Reaktöründe alüminyum (Al) elektrodu kullanılması durumunda gerçekleşen reaksiyonlar (Solak, 2007)

Alüminyum anodun düşük pH'da elektrolitik olarak çözünmesi (uygun pH değerlerinde önce $\text{Al}(\text{OH})_3$ 'e dönüşen ve son olarak da aşağıdaki reaksiyonları (3.4-3.6) izleyerek $\text{Al}_n(\text{OH})_{3n}$ 'e polimerleşen, Al^{+3} ve $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ gibi katyonik monomerik yapıları oluşturur.

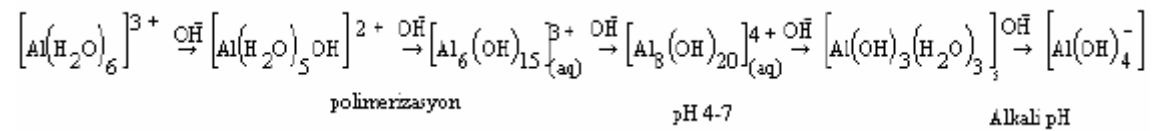


Katotta suyun indirgenmesi sonrası hidrojen oluşumu ve hidroksit birikmesi sonucu pH artmaktadır (3.7).

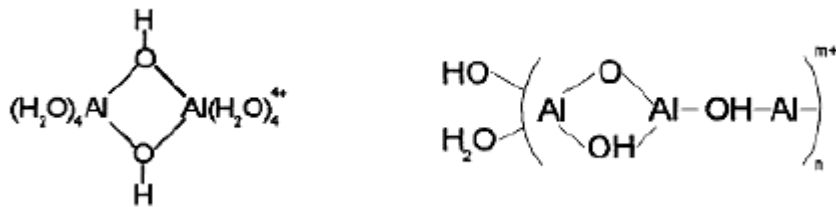


Bununla birlikte, sulu ortamın pH değerine bağlı olarak reaksiyon sonucu Al(OH)^{+2} , $\text{Al}_2(\text{OH})^{+4}_2$, ve Al(OH)^-_4 gibi diğer bazı Al türleri de görülebilir.

Al^{+3} iyonlarının hidrolizi ile $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{+3}$, $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}^{+2}$, $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4\text{OH}^{+2}$ ve hidroliz ürünleri $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^{+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^{+4}$, $\text{Al}(\text{OH})_4^{-}$, $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{+3}$, $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{+4}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{+4}$, $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{+7}$, $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{+5}$ gibi monomerik ve polimerik bileşikleri de oluşabilir. (Rebhun ve Lurie, 1993; Mollah vd., 2004). Şekil 3.2’de monomerik Al türleri, Şekil 3.3’te dimerik ve polimerik Al^{+3} hidroks komplekslerinin yapıları görülmektedir.



Şekil 3.2: Elektrokoagülasyonda oluşacak monomerik Al türleri (Solak, 2007)

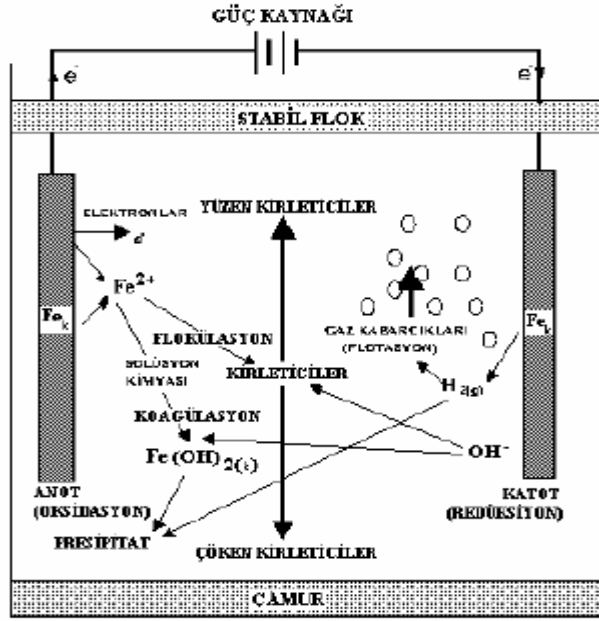


Şekil 3.3: Dimerik ve polimerik Al^{+3} hidroks komplekslerinin yapıları (Solak, 2007)

Jel gibi bir yapıda olan yüklü hidroks katyonik kompleksler, kirleticileri yük nötralizasyonu sağlaması ile adsorpsiyon ve presipitatta yakalayarak etkili bir şekilde giderebilirler (Solak, 2007).

3.4.3. Elektrokoagulasyon reaktöründe demir elektrodu kullanımı ile gerçekleşen reaksiyonlar

Demir elektrodu kullanılması durumunda EC hücresinde meydana gelen prosesler Şekil 3.4'te görülmektedir.



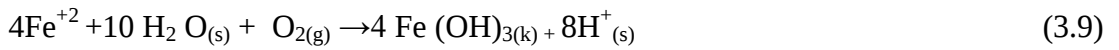
Şekil 3.4: Elektrokoagülasyon reaktöründe demir (Fe) elektrodu kullanılması durumunda gerçekleşen reaksiyonlar (Solak, 2007).

Elektrolitik sistemde demirin oksidasyonu sonucu, demir hidroksit, $Fe(OH)_n$ ($n=2$ veya 3 olabilir) üretilir (Solak 2007).

$Fe(OH)_n$ 'nin üretimi için iki mekanizma (3.8-3.15) ileri sürülmüştür.

1. Mekanizma

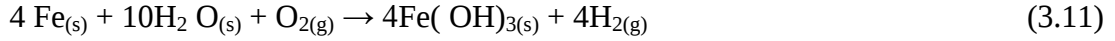
Anot



Katot



Sonuçta



2. Mekanizma

Anot



Katot



Sonuçta

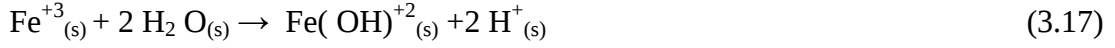


Yine demir elektrodun elektrokimyasal oksidasyonu ile üretilen demir iyonları, su ortamının pH değerine bağlı olarak $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{+3}$, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{+2}$, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^{+1}$, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_3$ ve $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4$ gibi monomerik iyonları, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ve polimerik hidroksi kompleksleri oluşturabilir (Solak, 2007).

Redoks reaksiyonun sonucu üretilen H_2 çözünmüş organikleri veya herhangi askıda maddeleri flotasyon ile giderir. Bu yüzden Fe^{+3} iyonları hidratlamaya uğrayabilir ve solüsyon pH'sına bağlı olarak, asidik koşullar altında $\text{Fe}(\text{OH})^{+2}$, $\text{Fe}(\text{OH})_2^{+1}$ ve $\text{Fe}(\text{OH})_3$ bileşikleri oluşturabilir (3.16-3.18) (Solak, 2007).

Reaksiyonlar şu şekilde gerçekleşir.





Alkali koşullar altında, $\text{Fe}(\text{OH})_6^-$ ve $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ iyonları görülebilir.

Polimerik Fe^{+3} ve Al^{+3} hidrokso kompleksleri ile ağır metalin adsorpsiyon ve absorpsiyonu geniş bir şekilde belirtilmiştir (Solak, 2007).

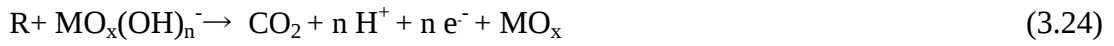
Flokülasyon maddesi olarak kullanılacak Fe^{+3} , Al^{+3} 'e göre Al^{+3} 'ün bazı toksik etkilerinden dolayı daha çok tercih edilen elektrottur (Solak, 2007)

3.5. Elektrooksidasyon

Organik molekülerin elektrooksidasyonunda, elektrot metalinin katalitik etkisi önemlidir. Organik maddeler elektrooksidasyon yöntemiyle parçalanarak ortamdan uzaklaştırılabilir ya da bir başka organik maddeye dönüşmesi söz konusu olabilir.

Tüm oksidasyon tepkimeleri elektron kaybı ile olur. Elektrooksidasyonda elektrokimyasal olarak yürütülen bir oksidasyon tepkimesidir.

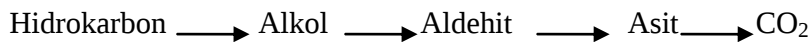
Birçok organik maddenin elektrooksidasyonu değişik şekillerde gerçekleşebilir. Bunlardan ilk akla geleni organik molekülün metal yüzeyinde adsorbsiyonu ve doğrudan elektron transferinin gerçekleşmesi ile maddenin başka ürünlere dönüşmesidir. Elektrooksidasyon ürünleri son basamak olan H_2O ve CO_2 olabileceği gibi ara kademelerde oluşan değişik ürünler ya da radikaller de olabilir. Bu durumda, kararlı ara ürünlerin oluşması elektrooksidasyonun son basamağa kadar gitmeyeceğini gösterir. Ara ürün olarak radikaller oluşursa bu radikallerin elektrooksidasyonu homojen sıvı fazda sürdürmesi mümkündür. Metal yüzeyinde gerçekleşen elektrooksidasyon reaksiyonları genel olarak şu şekilde gerçekleşmektedir:



Elektrooksidasyonun gerçekleşmesini sağlayacak ikinci bir yol ise organik molekülün dışında bazı iyon ya da moleküllerin elektrokimyasal tepkimeye katılması ve bu tepkime sonucu oluşan radikallerin oksidasyonu sürdürmesidir.

Bu durumda organik maddenin oksidasyonu metal yüzeyindeki elektrokimyasal tepkimeden sonra ama dolaylı olarak elektrokimyasal tepkimenin devamı şeklinde çözümlerde gerçekleşecektir. Böyle bir oksidasyonu doğrudan elektrooksidasyon olarak adlandırmak yerinde bir tanım olmayabilir. Olay bir kimyasal oksidasyon olup elektrokimyasal bir tepkimenin devamı niteliğindedir. Asıl tepkimenin (organik maddenin oksidasyonu) kimyasal basamakta yürüdüğü çok basamaklı bir elektrokimyasal tepkime mekanizması söz konusudur. Bundan dolayı olay elektrooksidasyon olarak kabul edilmektedir.

Diğer taraftan oksidasyon doğrudan organik molekülün anoda adsorplanıp okside oluyorsa anodik oksidasyon olarak adlandırılır. Bir alifatik hidrokarbonun anodik yükseltgenmesindeki basamaklar şöyledir.



İstenilen basamaktaki ürünü iyi bir verimle elde etmek için şartları iyi saptamak gerekir. Günümüzde elektrooksidasyon ve redüksiyonla birçok organik ve inorganik sentez gerçekleştirilmektedir. (Avcu, 2010)

3.6. Elektroflotasyon

Atıksu arıtımında kullanım alanı bulan bir diğer elektrokimyasal arıtım yöntemi ise elektroflotasyondur. Elektroflotasyon, çözülmüş ve çok küçük partiküler haldeki süspansiyon maddelerin (1g/L'ye kadar) bulunduğu sıvı fazdan elektrik akımı geçirilerek kirleticilerin atıksulardan köpük şeklindeki bir faza dönüştürerek ayrıştırır (Turan ve diğ., 2003). Genellikle tek başına değil de bir diğer elektrokimyasal prosesle birlikte kullanılan bu yöntem; prosesin gereği elektrotlardan açığa çıkan gaz kabarcıkların kirleticileri adsorbe ederek yüzeye çıkarması sonucu kirliliğin giderilmesi esasına dayanır. Elektrokoagülasyon prosesi esnasında da gerçekleşen bu proses, literatürde bilinen flotasyona benzemektedir. Yalnızca, proses gereği olarak eklenmesi gereken gaz, elektroflotasyonda belli ölçüde kendiliğinden oluşmaktadır. Elektroflotasyonda elektrotlarda oluşan reaksiyonlar (3.26) ve (3.27) reaksiyonlarında görülmektedir.



Elektroflotasyonda oluşan gaz kabarcıklarının boyutları çok küçük olmasına rağmen çok yüksek dispersiyona sahiptir. Bu proseste gaz kabarcıklarının rolü çok büyüktür. Bu nedenle gaz kabarcıklarının optimum yoğunluğunu belirlemek amacıyla etkili olan parametreler üzerinde optimizasyon çalışmaları yapılması gerekir. Elektrotun cinsi ve yüzey alanı en önemli parametre olmakla birlikte, akım yoğunluğu ve reaktör tipi de çok önemlidir. Genel olarak elektroflotasyon prosesinin işletme şartlarının optimizasyonunda ise akım, elektrot tipi, pH ve sıcaklık gibi parametreler değiştirilerek sistem için optimum işletme şartlarının belirlenmesi gerekir.

Atıksulardan elektroflotasyon yöntemiyle giderilen kirleticiler daha çok yağ ve emülsiyonlar gibi düşük yoğunluklu maddeler olabildiği gibi askıda katı maddeler de olabilmekte ve özellikle bazı tesislerde problem oluşturan giderilemeyen KOİ 'nin bir kısmı da bu yöntemle giderilebilmektedir. Bu gibi yararlı özelliklerinden dolayı elektroflotasyon çeşitli sanayilerde kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak metal kaplama, tekstil, boya ve kimya sanayileri verilebilir. (Karadağ, 2009)

BÖLÜM 4. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Hanay ve Hasar, (2007) tarafından yapılan çalışmada bir tekstil endüstrisi atıksuyunun Fenton oksidasyon prosesi ile renk giderim verimini arttırmak amacıyla Fe^{+2} ve H_2O_2 konsantrasyonu pH, reaksiyon süresi ve sıcaklık gibi bazı parametrelerin optimum değerleri araştırılmıştır.

Buna göre en iyi renk giderimi Fe^{+2} : H_2O_2 molar oranı 1:100 olarak tutulduğunda 60 mg/l Fe^{+2} 'nin uygulanan en yüksek H_2O_2 konsantrasyonundan 8.53 mM'nın pH=2 değerinin 4 saatlik bir reaksiyon süresinin ve 10°C sıcaklığın en iyi giderimi sağladığı bulunmuştur.

Birgül ve Solmaz, (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, Bursa ilinde faaliyet gösteren bir tekstil endüstrisi atıksuları üzerinde kimyasal arıtma ve ileri oksidasyon yöntemleri uygulanarak KOİ ve renk giderim verimleri araştırılmıştır. Fabrikanın mevcut atıksu arıtma tesisi dengeleme tankından alınan numuneler koagülasyon, Fenton, Fenton-like ve ozonlama deneylerine tabi tutulmuştur.

Deneysel çalışmalar sonucunda KOİ ve renk parametreleri için en iyi giderim verimleri Fenton prosesi ve ozonlama prosesi ile elde edilmiştir. Fenton prosesinde KOİ ve renk giderim verimleri sırasıyla %52 ve %96 iken ozonlama prosesinde KOİ ve renk giderim verimleri sırasıyla %51 ve %98 olarak belirlenmiştir.

Orkun ve Kuleyin, (2007) tarafından yapılan bir çalışmada Kristal Viyole boyar maddesinin sulu ortamda elektrokoagülasyon yöntemi kullanılarak giderimi çalışılmıştır. Demir elektrotların kullanıldığı çalışmada; zaman, pH, iletkenlik ve akım yoğunluğunun renk giderimi üzerine etkileri incelenmiştir.

Renk giderim veriminin zamanla arttığı belirlenmiştir. İlk 30 saniyede %55,9 olan giderim verimi 3 dakika sonunda %96,9 değerine ulaşmıştır. pH için 4-8 aralığında

çalışılmış, ilk 1 dakikada en iyi verim pH 6'da alınmasına karşılık, 3 dakika sonunda tüm pH değerlerinde yaklaşık aynı verim değeri olan %97'lere ulaşılmıştır. İletkenlik 2-5 mS arasında çalışılmış ve iletkenlik artışı ile giderim veriminde artış gözlenmiştir. 5mA/cm² akım yoğunluğu uygulamasında %79,9 olan giderim verimi 15mA/cm²'de %96,9 değerine ulaşmıştır. Çalışma sonucunda kristal viyole boyar maddesi içeren atıksuların arıtımında demir elektrot içeren elektrokoagülasyon prosesinin uygulanabileceği görüşüne varılmıştır.

İlhan ve diğ., (2007) tarafından yapılan bir çalışmada elektrokimyasal arıtım yöntemleri kullanılarak; zamana bağlı kirlilik konsantrasyon değişim potansiyeli yüksek, arıtımı zor olan sızıntı sularının arıtılabilirliği araştırılmıştır.

Bu çalışmada elektrokimyasal yöntemlerden en çok kullanılan elektrokoagülasyon yöntemiyle farklı elektrot tipleri ve farklı sürelerde elde edilen kirletici giderim verimleri belirlenmiştir. Yapılan incelemede kirletici parametre olarak KOİ ve NH₃-N seçilmiştir. Analizler neticesinde ortalama KOİ derişimi 12800 mg/l olan orta yaşlı bir sızıntı suyundan 30 dakikalık bir süre zarfında %14,6 oranında NH₃-N giderimi ve %59,4 oranında KOİ giderimi elde edilmiştir.

Eyvaz ve diğ., (2006) tarafından yapılan bir çalışmada bir tekstil atıksuyunun elektrokoagülasyon arıtılmasının sonuçları incelenmiştir. Demir ve alüminyum elektrotlar; monopolar paralel, monopolar seri ve bipolar seri bağlantı şekli ile kullanılmıştır.

Arıtma verimliliğinin ölçülmesinde KOİ ve türbidite giderimleri dikkate alınmıştır. KOİ gideriminde her iki elektrot materyalinde asidik ortam daha iyi olup; demir elektrot için bipolar seri bağlantı şekli etkili olurken; alüminyum elektrotlarda ise her üç bağlantı şekli için birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Türbidite gideriminde optimum pH'ın elektrot materyaline bağlı olduğu, alüminyum elektrotlar için asidik ortamın, demir elektrotlar için ise nötral ortamın daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Genel olarak yüksek akım yoğunluklarının yüksek KOİ ve yüksek türbidite giderim verimleri sağladığı görülmüştür. Düşük akım yoğunluğunda (30 Am⁻²) demir elektrotlarda sadece monopolar paralel sistemden verim alınmıştır. Alüminyum

elektrotlarda ise, KOİ giderimi bağlantı şekline göre değişirken, turbidite giderimi bağlantı şeklinden oldukça bağımsızdır. Diğer yandan elektrokoagülasyon prosesi alüminyum elektrotlarla daha hızlı ilerlediğinden; her üç bağlantı için de 5 dakikalık bir süre etkili olurken, demir elektrotlarda ise; seri bağlantı sistemleri ile en az 10 dakikalık bir işlem süresine ihtiyaç duyulurken, monopolar paralel bağlantı şekli ise daha fazla işlem süresi gerektirmektedir.

Solak, (2007) tarafından yapılan çalışmada alüminyum ve demir elektrotların kullanıldığı elektrokoagülasyon prosesi ile mermer işleme atıksuyunda askıda katı madde ve bulanıklık giderim verimleri araştırılmıştır.

pH değerinin 9, akım yoğunluğunun yaklaşık 15 A/m^2 , elektroliz süresinin 2 dakika olduğu optimum şartlarda paralel-seri bağlı monopolar alüminyum elektrotların kullanıldığı elektrokoagülasyon prosesi ile %100 askıda katı madde giderilmiştir. Paralel-seri monopolar demir elektrotların kullanıldığı elektrokoagülasyon prosesinde giderim verimleri sırasıyla %99,86, %99,94 olarak bulunmuştur. Her iki bağlantı türünde monopolar demir elektrotlar için optimum pH değeri 8, elektroliz süresi 2 dakika ve akım yoğunluğu paralel-seri bağlı türler için sırasıyla $10\text{-}20 \text{ A/m}^2$ olarak belirlenmiştir.

Veli ve diğ., (2008) tarafından yapılan çalışmada, evsel katı atık sızıntı suyundan (L1, L2) kimyasal ve elektrokoagülasyon (EC) prosesleri kullanılarak kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam organik karbon (TOK) ve renk giderimi üzerine çalışılmıştır. Alüminyum ve demir elektrotların kullanıldığı reaktörde KOİ, TOK ve renk giderim verimleri hesaplanmıştır. En iyi giderim veriminin KOİ parametresinde elde edildiği çalışmada; Fe^{+2} için L1 çözeltisinde %87 olan giderim verimi L2 çözeltisi için %90, Al^{+3} için L1 çözeltisinde %77 olan giderim verimi L2 çözeltisi için %88 olarak hesaplanmıştır. Yüksek oranda renk giderim veriminin elde edildiği çalışmada Fe^{+2} için L1'de %86, L2'de yaklaşık %99 olarak hesaplanmıştır.

Sızıntı suyundan kimyasal koagülantlar ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) kullanılarak sağlanan giderim Fe^{+2} ve Al^{+3} kullanılan elektrokimyasal arıtmadan daha düşüktür.

Sonuçta sızıntı suyunun arıtımında elektrokoagülasyon prosesi alternatif bir arıtım teknolojisi olarak tercih edilebilir.

Doneshvar ve diğ., (2006) tarafından yapılan bir çalışmada C.I. Basic Red 46 (BR46) ve C.I. Basic Blue 3 (BB3) içeren çözeltiler kullanılmıştır. En iyi giderim verimine ulaşabilmek için akım yoğunluğu, pH, elektroliz süresi, renk ve iletkenlik parametreleri çalışılmıştır.

Yapılan çalışmalarda her iki boya çözeltisi için akım yoğunluğu 60-80 A/m², elektroliz süresi 5 dakika ve pH 5,5-8,5 aralığında çalışılmıştır. Sonuç olarak yüksek bir renk giderim verimi elde edilebilmesi için boya konsantrasyonunun 80 mg/l'den az, optimum iletkenliğin 8 mS/cm olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Doneshvar ve diğ., (2003) tarafından yapılan bir çalışmada elektrokoagülasyon prosesi ile orange II boyar madde giderimi çalışılmıştır. Giderim veriminin incelenmesinde de parametre olarak pH, boya konsantrasyonu, elektrot uzaklıkları, akım yoğunluğu ve su sıcaklığı incelenmiştir.

Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre 200 ppm orange II çözeltisinde %98 oranında boya giderimi , %84 oranında KOİ giderimi sağlanmıştır. Çalışmada optimum akım yoğunluğunun ise 34,62 A/m² olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 5. MALZEME VE YÖNTEM

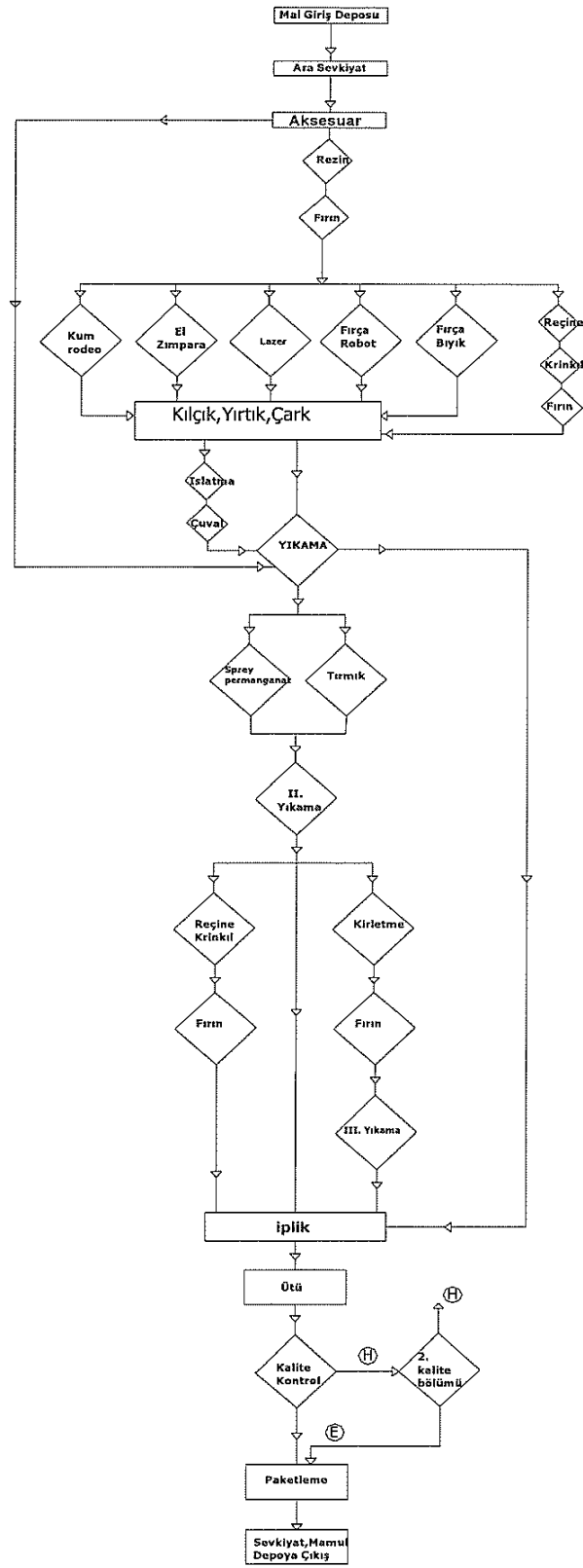
5.1. Tesisin Tanımı

Bu çalışmada, Sakarya ilinde faaliyet gösteren Çak Tekstil firmasının mevcut arıtma tesisinden numuneler alınmıştır.

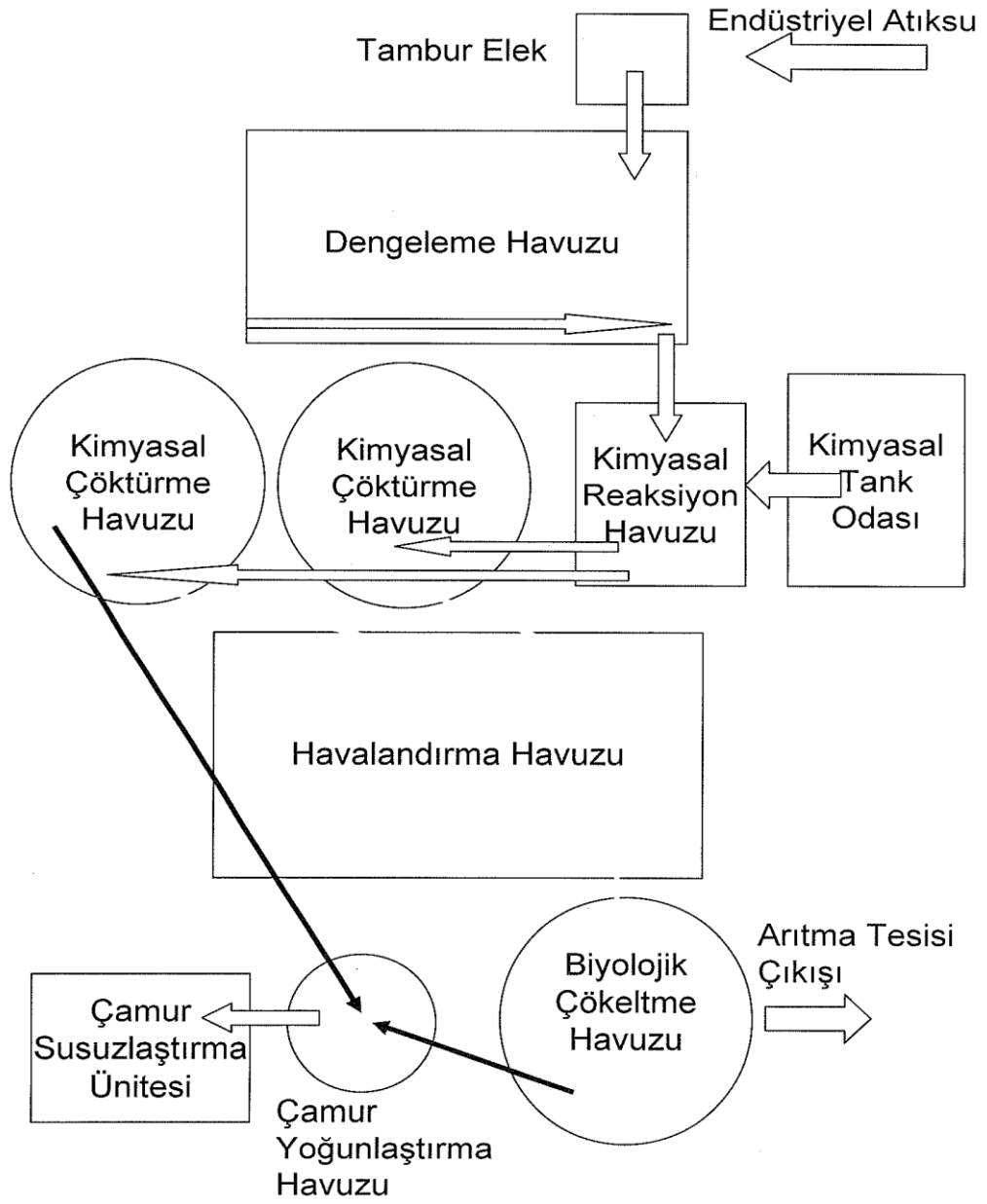
Çak Tekstil 1948 yılında Eskişehir’de Çak Konfeksiyon ünvanı ile kurulan Çak Şirketler Grubudur. Bugün; tekstil, kimya, ithalat ve ihracat sektörlerinde başarıyla faaliyet gösteren 14 şirketten oluşmaktadır.

Çak Tekstil 150.000 m²’lik bir alanda gelişmiş yıkama teknikleri ve kalitesiyle yıllık ortalama 17.000.000 adet üretim gerçekleştirerek Türkiye’de öncü konuma gelmiştir. Uyguladığı ve hedeflediği projeler kaliteyi arttırmaya yönelik olup en son teknoloji kullanılmaktadır. Tesisin üretim süreci Şekil 5.1’de verilmiştir.

Firmaya ait arıtma tesisi fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma olarak üç kademedен oluşmaktadır. Ancak ilk etapta yapılan karakterizasyon analizleri sonucunda biyolojik arıtmadan çıkan atıksuyun karakterizasyon parametreleri oldukça düşük olduğundan; KOİ ve renk değerlerinin en yüksek olduğu arıtma tesisine giriş ve kimyasal arıtma çıkış kısımlarından alınan numuneler ile çalışmaya devam edilmiştir. Firmaya ait arıtma tesisi ve atıksu numunelerinin alındığı bölümler Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.1: Çak Tekstil üretim akış şeması

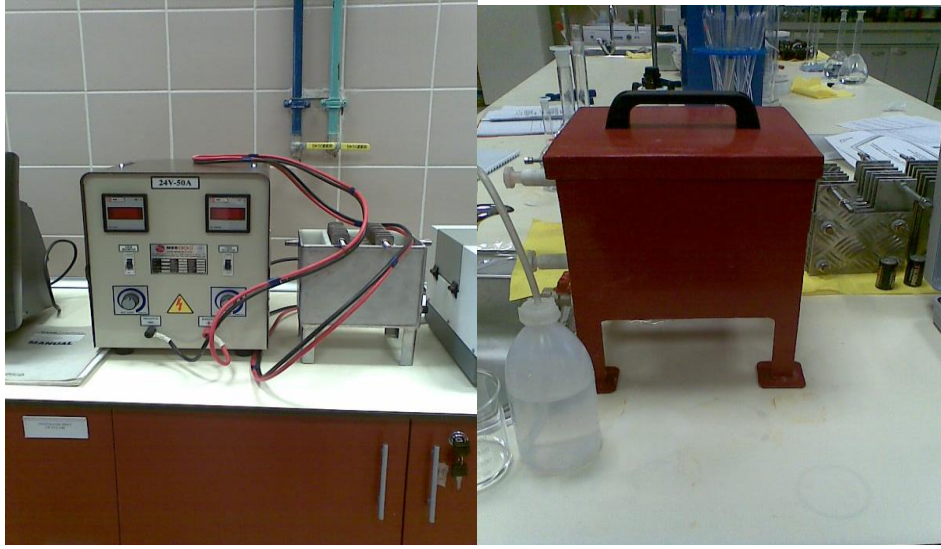


Şekil 5.2: Çak Tekstil arıtma tesisi akış şeması

5.2.Deneysel Prosedür

5.2.1. Elektrokoagülasyon düzeneği

Tüm çalışmalar MERSAN MR-12 (24V-50A) güç kaynağı ve elektrokimyasal reaktörde gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal yöntemlerden elektrokoagülasyon yönteminde demir ve alüminyum, elektrooksidasyon yönteminde ise paslanmaz çelik olmak üzere toplam 3 adet elektrot kullanılarak yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3: Elektrokoagülasyon deney düzeneği

Elektrokoagülasyon yöntemi için kullanılan Fe elektrotlu (yumuşak ve kolay çözülen saç demir) reaktörün hacmi yaklaşık 2 L'dir. Reaktörde karşılıklı 7 adet Fe elektrot bulunmaktadır. Elektrotların boyutları; 14 cm x 17 cm'dir. Reaktör 12,8V ve 10,6A akım şartları altında çalıştırılmıştır.

Elektrokoagülasyon yöntemi için kullanılan Al elektrodun boyutları ise 14 cm x 16,5 cm'dir. Reaktörde karşılıklı 7 adet Al elektrot bulunmaktadır. Reaktör 2,9V ve 15 A akım şartları altında çalıştırılmıştır.

Elektrooksidasyon prosesinde ise paslanmaz çelik elektrot kullanılarak deneysel çalışmalar yürütülmüştür.

Deney düzeneğine 1,5 lt atıksu numunesi ilave edilerek güç kaynağı elektrotlara bağlanmış, farklı akımlarda 0-30 dakikalarda numuneler alınmış,15'er dakika çöktürülerek süzölmüş ve KOİ, TOK, renk gibi parametreler analiz edilmiştir.

5.3. Analitik Prosedür

Deneyisel çalışmalarda belirlenen parametreler Hach Lange DR 5000 spektrofotometresi kullanılarak ölçölmüştür. Isıtıcı olarak Hach marka DRB 200 ısıtıcı kullanılmıştır. Spektrofotometre cihazı ve ısıtıcı Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.4: Hach Lange DR 5000 spektrofotometre cihazı



Şekil 5.5.: Hach DRB 200 ısıtıcı cihazı

5.3.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı

Kimyasal Oksijen İhtiyacı analizleri için Lange LCK 514 kiti kullanılmıştır. LCK 514 kiti 100-2000 mg/l KOİ ölçüm aralığı için kullanılmıştır. Kitler birkaç defa çalkalandıktan sonra Şekil 6.5'te verilen ısıtıcıda 148°C'de 2 saat ısıtılmış, oda sıcaklığına geldikten sonra da Şekil 5.4'te verilen spektrofotometrede ölçüm yapılmıştır.

5.3.2. Toplam organik karbon

Toplam Organik Karbon değişikliklerinin incelenmesi için TOK analizleri gerçekleştirilmiştir. Organik maddelerin toplam organik karbon azalışı spektrofotometrik yöntem ile tayin edilmiştir. Bu çalışma için Lange LCK 381 küvet testleri kullanılmıştır. LCK 381 küvet testleri 60-735 mg/l TOK ölçüm aralığı için kullanılmıştır. Toplam organik karbon sırasıyla oksidasyon ve asitlendirme ile karbondioksit (CO_2) dönüştürülür. CO_2 bir membran vasıtası ile sindirim küvetinden geçerek indikatör küvetine geçer. İndikatörün rengindeki değişim fotometrik olarak ölçülür. Toplam organik karbon ise toplam karbon ve toplam inorganik karbon arasındaki farktan belirlenmiştir.

5.3.3. Renk

Renk tayini çalışmalarında su ve atıksu analizleri için standart metotlara göre uyarlanmış Platinyum –Kobalt standart metodu kullanılmıştır. 25 ml deiyonize su ve atıksu membran filtreden süzülerek 455 nm'de spektrofotometrik ölçümlerle tespit edilmiştir.

5.3.4. Bulanıklık

Bulanıklık tayininde, su ve atıklar için FWPCA kimyasal metotlarına göre uyarlanmış adsorptometrik yöntem kullanılmıştır. 25 ml deiyonize su şahit olarak kullanılmış ve 25 ml atıksu numunesi de 450 nm'de spektrofotometrede ölçülerek tayin edilmiştir.

5.3.5. pH

Atıksu numunelerinin pH ölçümlerinde HANNA/pH 211 pH metre kullanılmıştır. pH metre ölçüm cihazı Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.6: pHmetre cihazı

5.3.6. İletkenlik

Atıksu numunelerinin iletkenlik ölçümlerinde Lavibond Con 200 marka iletkenlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. İletkenlik ölçüm cihazı Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7: İletkenlik ölçüm cihazı

5.4. Kullanılan Eşitlikler

Akım Yoğunluğu: Akım yoğunluğu toplam alandan geçen akımdır. Aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$J = I / A \quad (5.1)$$

Burada;

J : akım yoğunluğu mA/cm²,

I : Akım şiddeti mAmper,

A: Aktif anotyüzey alanı, cm²' dir.

%Verim : Kütlesel olarak sistemin verimidir.

$$\%R = (C_0 - C / C_0) \cdot 100 \quad (5.2)$$

Burada;

C₀ : Giriş konsantrasyonu, mg/L

C : Çıkış konsantrasyonu, mg/L

BÖLÜM 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Atıksu Karakterizasyonu

Denim üretimi yapan tekstil fabrikasından, arıtma tesisi girişi ve kimyasal arıtma çıkışı olmak üzere iki noktadan atıksu alınmıştır. Alınan atıksu numunelerinde karakterizasyon çalışmaları yapılmış ve sonuçları Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1: Denim tekstil endüstrisi atıksu özellikleri

	pH	Sıcaklık (°C)	İletkenlik (µS)	Renk (PtCo)	Bulanıklık (NTU)	KOİ (mg/l)	TOK (mg/l)
ATG	5.04	22,7	1028	1512	115	1615	398
KAÇ	7.06	22,6	1573	407	14,5	1553	211

6.2. Elektrokoagülasyon Uygulamaları

Denim tekstil endüstrisi proses suyundan alınan arıtma tesisi giriş suyu ve kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu numunelerine elektrokoagülasyon (demir elektrot ve alüminyum elektrotlar) ve elektrooksidasyon (paslanmaz çelik elektrot) prosesleri uygulanarak; KOİ ,TOK ve renk parametrelerinin giderimleri incelenmiştir.

Paslanmaz çelik elektrot kullanılarak gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları arıtma tesisi giriş suyu için Tablo 6.2’de, kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu için ise Tablo 6.3’te verilmiştir.

Tablo 6.2: Paslanmaz çelik elektrotlu elektrokooksidasyon ile arıtma tesisi giriş suyu arıtım sonuçları

Süre (dk)	KOİ (mg/l)	TOK (mg/l)	pH	renk (PtCo)	iletkenlik (µS)
0	1966	361	5.06	1441	1020
1	1455	321	5.77	1057	975
5	1490	301	6.97	771	855
10	1476	257	9.21	541	534
15	1438	177	9.37	540	716
20	1402	151	9.50	471	279
30	1413	139	9.55	368	380

Tablo 6.2’de yapılan çalışmanın reaksiyon koşulları; reaktör hacmi 1,5 lt, akımı 12,6 A, voltu ise 7,1V olacak şekilde gerçekleşmiştir.

Tablo 6.3: Paslanmaz çelik elektrotlu elektrokooksidasyon ile kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu arıtım sonuçları

Süre (dk)	KOİ (mg/l)	TOK (mg/l)	pH	renk (PtCo)	iletkenlik (µS)
0	1485	117	7.12	437	1351
1	1454	87,8	7.50	463	1327
5	1469	84,7	8.46	354	1313
10	1410	69,8	8.96	216	1003
15	1465	66,3	9.26	154	849
20	1474	61,9	9.40	163	306
30	1437	63,2	9.36	102	263

Tablo 6.3’de yapılan çalışmanın reaksiyon koşulları; reaktör hacmi 1,5 lt, akımı 12,6 A, voltu 12V olacak şekilde gerçekleşmiştir.

Paslanmaz çelik elektrot kullanılarak arıtma tesisi giriş suyu üzerinde yapılan çalışmalarda KOİ, TOK ve renk giderim verimleri sırasıyla %28,13, %61,49 ve %74,46 kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu üzerinde yapılan çalışmalarda KOİ, TOK ve renk giderim verimleri sırasıyla %3,23, %45,98 ve %76,66 olarak belirlenmiştir.

Demir elektrot kullanılarak gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları arıtma tesisi giriş suyu için Tablo 6.4’te, kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu için ise Tablo 6.5’te verilmiştir.

Tablo 6.4: Demir elektrotlu elektrokoagülasyon ile arıtma tesisi giriş suyu arıtım sonuçları

Süre (dk)	KOİ (mg/l)	TOK (mg/l)	pH	renk (PtCo)	iletkenlik (µS)
0	1280	397	5.01	2701	902
1	1200	365	5.34	2102	856
5	1062	313	5.62	1430	835
10	998	289	6.12	1671	763
15	1035	305	5.99	2736	417
20	1022	302	6.01	2881	731
30	1002	294	6.35	4137	780

Tablo 6.4’de yapılan çalışmanın reaksiyon koşulları; reaktör hacmi 1,5 lt, akımı 10,6 A, voltu 12,8V olacak şekilde gerçekleşmiştir

Tablo 6.5: Demir elektrotlu elektrokoagülasyon ile kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu arıtım sonuçları

Süre (dk)	KOİ (mg/l)	TOK (mg/l)	pH	renk (PtCo)	iletkenlik (µS)
0	198	75,2	7.94	340	1455
1	178	74,7	8.68	231	1360
5	178	71	9.54	200	1218
10	152	62,6	10.05	344	1231
15	140	60	10.01	372	1228
20	139	58,6	8.05	1048	1237
30	132	58	8.16	676	1221

Tablo 6.5’te yapılan çalışmanın reaksiyon koşulları; reaktör hacmi 1,5 lt, akımı 10,6 A, voltu 9,2V olacak şekilde gerçekleşmiştir

Demir elektrot kullanılarak arıtma tesisi giriş suyu üzerinde yapılan çalışmalarda KOİ, TOK ve renk giderim verimleri sırasıyla %21,72, %25,94 ve 0, kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu üzerinde yapılan çalışmalarda KOİ, TOK ve renk giderim verimleri sırasıyla %33,3, %22,87 ve 0 olarak belirlenmiştir.

Alüminyum elektrot kullanılarak gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları arıtma tesisi giriş suyu için Tablo 6.6’da, kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu için ise Tablo 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.6: Alüminyum elektrotlu elektrokoagülasyon ile arıtma tesisi giriş suyu arıtım sonuçları

Süre (dk)	KOİ (mg/l)	TOK (mg/l)	pH	renk (PtCo)	iletkenlik (µS)
1	840	215	7,18	100	7250
5	728	187	8,16	33	7040
10	660	184	9,09	25	6920
20	653	176	9,77	14	6940
30	640	122	9,91	5	7140

Tablo 6.6’da yapılan çalışmanın reaksiyon koşulları; reaktör hacmi 1,5 lt, akımı 15 A, voltu 2,9V ve son voltu 2,6V olacak şekilde gerçekleşmiştir

Tablo 6.7: Alüminyum elektrotlu elektrokoagülasyon ile kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu arıtım sonuçları

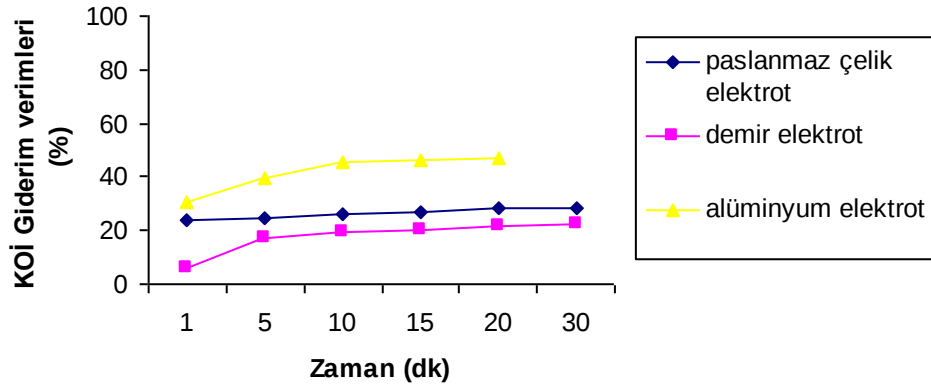
Süre (dk)	KOİ (mg/l)	TOK (mg/l)	pH	renk (PtCo)	iletkenlik (µS)
1	272	79,6	7,4	5	7620
5	230	60,7	7,82	0	7520
10	233	58,2	9,24	0	7520
20	253	55,8	9,93	0	7500
30	232	54,3	9,79	0	7500

Tablo 6.7’de yapılan çalışmanın reaksiyon koşulları; reaktör hacmi 1,5 lt, akımı 15 A, voltu 3,2V olacak şekilde gerçekleşmiştir

Alüminyum elektrot kullanılarak arıtma tesisi giriş suyu üzerinde yapılan çalışmalarda KOİ, TOK ve renk giderim verimleri sırasıyla %47,15, %65,34 ve %100, kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu üzerinde yapılan çalışmalarda KOİ, TOK ve renk giderim verimleri sırasıyla %12,45, %42,84 ve %100 olarak belirlenmiştir.

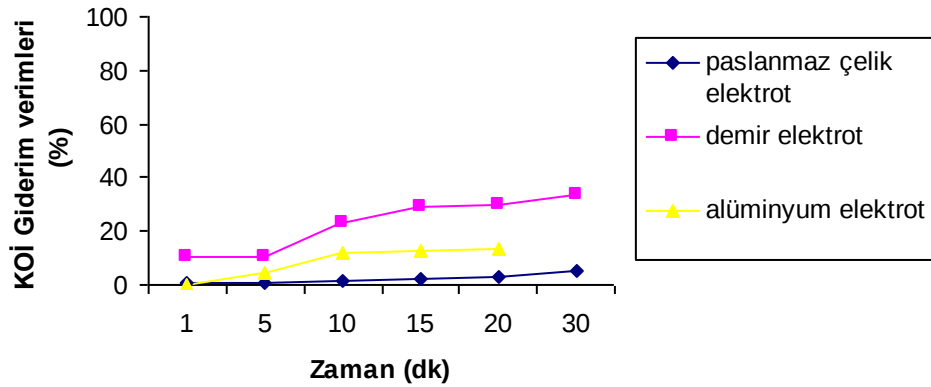
Arıtma tesisi giriş ve kimyasal arıtma tesisi çıkış sularında paslanmaz çelik, demir ve alüminyum elektrotlar kullanılarak yapılan deneyde zamana karşı hesaplanan KOİ giderim verimleri arıtma tesisi giriş suyu için Şekil 6.1’de, kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu için ise Şekil 6.2’de verilmiştir.

Arıtma tesisi giriş suyu



Şekil 6.1: Arıtma tesisi giriş suyuunda zamana bağlı KOİ giderimi

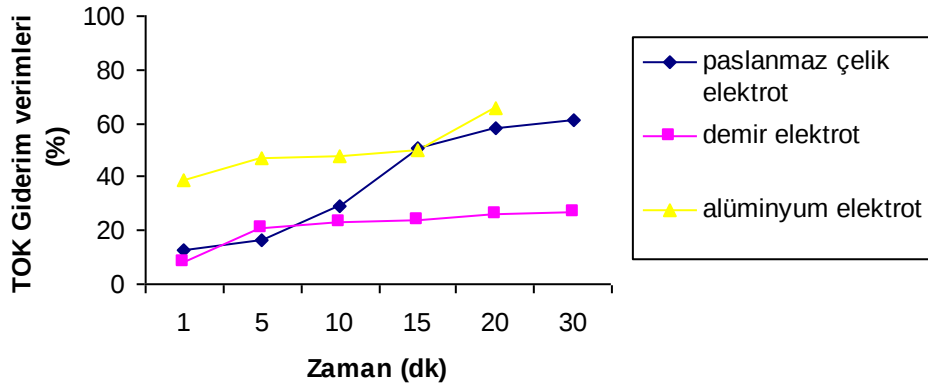
Kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu



Şekil 6.2: Kimyasal arıtma tesisi çıkış suyuunda zamana bağlı KOİ giderimi

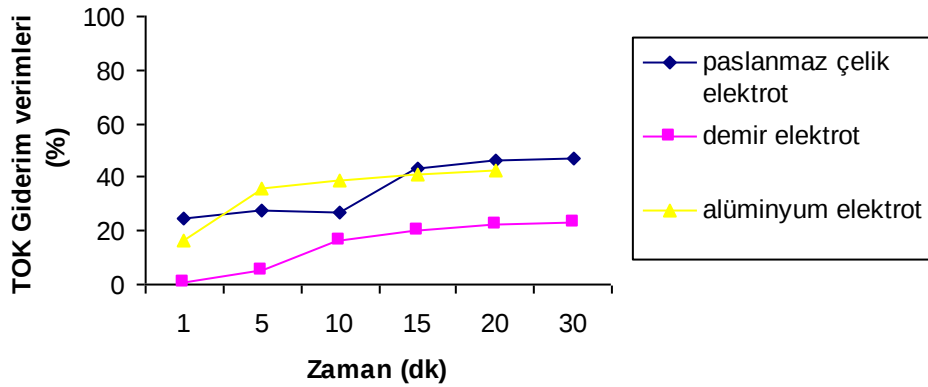
Arıtma tesisi giriş ve kimyasal arıtma tesisi çıkış sularında yapılan deneyde paslanmaz çelik, demir ve alüminyum elektrotlar kullanılarak yapılan elektrokoagülasyon deneyinde zamana karşı hesaplanan TOK giderim verimleri arıtma tesisi giriş suyu için Şekil 6.3’de, kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu için ise Şekil 6.4’te verilmiştir.

Arıtma tesisi giriş suyu



Şekil 6.3: Arıtma tesisi giriş suyunda zamana bağlı TOK giderimi

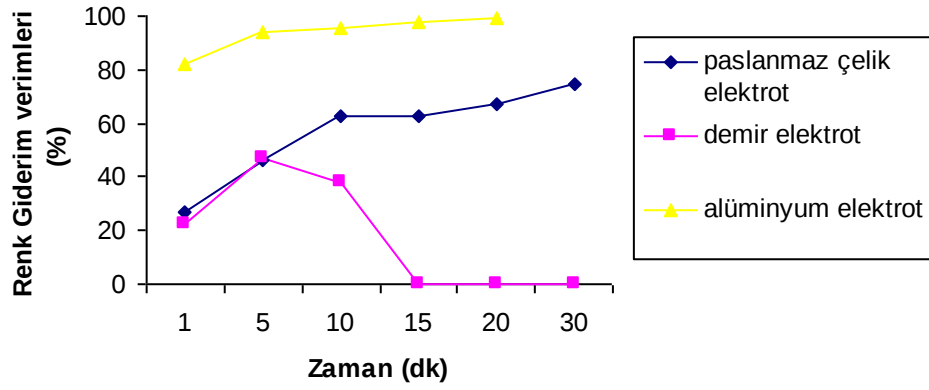
Kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu



Şekil 6.4: Kimyasal arıtma tesisi çıkış suyunda zamana bağlı TOK giderimi

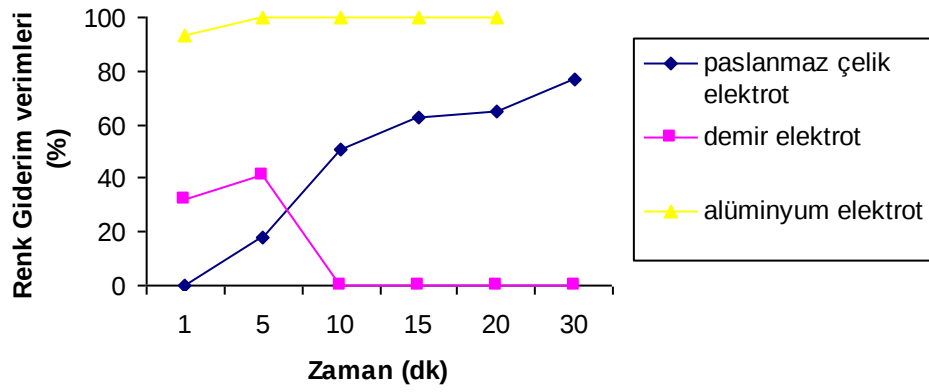
Arıtma tesisi giriş ve kimyasal arıtma tesisi çıkış sularında paslanmaz çelik, demir ve alüminyum elektrotlar kullanılarak yapılan elektrokoagülasyon deneyinde zamana karşı hesaplanan renk giderim verimleri arıtma tesisi giriş suyu için Şekil 6.5'te, kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu için ise Şekil 6.6'da verilmiştir.

Arıtma tesisi giriş suyu



Şekil 6.5: Arıtma tesisi giriş suyunda zamana bağlı renk giderimi

Kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu



Şekil 6.6: Kimyasal arıtma tesisi çıkış suyunda zamana bağlı renk giderimi

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elektrot materyali olarak paslanmaz çelik, demir ve alüminyum elektrotlar kullanılarak denim tekstil endüstrisi atıksuyunun elektrokoagülasyon ve elektrooksidasyon yöntemi ile arıtılabilirliği incelenmiştir.

Demir ve alüminyum elektrotların kullanıldığı Elektrokoagülasyon, paslanmaz çelik elektrodun kullanıldığı elektrooksidasyon düzeneğinde zamana bağlı olarak KOİ, TOK ve renk giderim verimi üzerine elektrotların etkisi incelenmiştir.

Çalışmada reaksiyon süresi maksimum 30 dakika olup 1, 5, 10, 20 ve 30. dakikalarda numuneler alınmış ve parametreler analiz edilmiştir.

Çalışmalar süresince en yüksek TOK giderim verimine %61,49 ile paslanmaz çelik elektrot kullanımı, en yüksek renk giderim verimine %100 ile alüminyum elektrot kullanımı sonucunda ulaşılmıştır.

Arıtma tesisi giriş ve kimyasal arıtma tesisi çıkış suyu numunelerine uygulanan elektrokoagülasyon elektrooksidasyon sonucunda atıksuların pH'ında artış olduğu gözlenmiştir.

Tüm bu çalışmaların sonucunda tekstil endüstrisi atıksuyunun elektrokoagülasyon ve elektrooksidasyon yöntemi ile arıtımında; KOİ ve TOK gideriminde iyi bir verim elde edilemezken renk gideriminde oldukça yüksek giderim verimlerine ulaşılmıştır.

Ayrıca kullanılan demir, paslanmaz çelik ve alüminyum elektrotlar arasında en iyi giderim verimlerine alüminyum elektrot kullanılarak ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Avcu, F., “Atıksulardaki Fenolün Elektrooksidasyon ile Arıtılması için Elektroaktif Elektrot Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, (2010)
- Bakır, M., “ Kalsiyum Alginattan İmmobilize Edilen Termofilic Bacillus sp. ile Boya Giderimi ”, Yüksek Lisans Tezi, **Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2006).
- Birgöl, A., Akal Solmaz, S. K., “ Tekstil Endüstrisi Atıksuları Üzerinde İleri Oksidasyon ve Kimyasal Arıtma Prosesleri Kullanılarak KOİ ve Renk Gideriminin Araştırılması ”, **Ekoloji** 15, 62, 72-80, (2007).,
- Daneshvar, N., Oladegoregoza, A., Djofarzodeh, N., “ Decolorization of Basic Dye Solutions by Electrocoagulation: An Investigation of the Effect of Operational Parameters ”, **Journal of Hazardous Materials**, 129, 1-3, 116-122, (2006).
- Daneshvar, N., Ashassi-Sarkhabi, H., Tizpar, A., “ Decolorization of Orange II by Electrocoagulation Method ”, **Separation and Purification Technology**, 31, 2, 153-162, (2003).
- Eyvaz, M., Bayramoğlu, M., Kobya, M., “ Tekstil Endüstrisi Atıksularının Elektrokoagülasyon ile Arıtılması: Teknik ve Ekonomik Değerlendirme ”, **İTÜ Dergisi / e Su Kirlenmesi Kontrolü**, 16, 1-3, 55-65, (2006).
- Hanay, Ö., Hasar, H., “ Fenton Oksidasyon Prosesi ile Tekstil Atıksuyunda Renk Giderimi”, **Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 19(4), 505-509, (2007).
- İlhan, F., Kurt, U., Apaydın, Ö., Arslankaya, E., Gönüllü, M.T., “ Elektrokimyasal Arıtım ve Uygulamaları: Katı Atık Sızıntı Suyu Çalışması ”, **TÜRKAY AB Sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetiminde Çevre Sorunları Sempozyumu**, (2007).
- Karadağ, E. K., “Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Karışım Halindeki Tekstil Boyar Maddelerinin Renk Giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, (2009).
- Kocaer, F. O., Alkan, U., “ Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri”, **Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 7,1, (2002).

Orkun, O.M., Kuleyin, A., “ Elektrokoagülasyon Yöntemi Kullanılarak Kristal Viyole Boyar Maddesinin Gideriminin İncelenmesi ”, **7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Yaşam-Çevre-Teknoloji**, İzmir, 24-27 Ekim (2007).

Öztürk, T., Veli, S., Dimoglo, A., Yıldız, M.A., “Demir Elektrotlu Reaktörde KOİ, Fosfat, Renk ve Bulanıklık Giderimi”, **9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi**, 22-25 Haziran, 7/401, Ankara, (2010).

Turan, N., Altaş, L., Büyükgüngör, H., “Siyanür Gideriminde İleri Arıtım Yöntemleri”, **5. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi**, Ankara, 1-4 Ekim (2003).

Solak, M., “ Elektrokoagülasyon Prosesi ile Mermer Atıksularının Arıtılması ”, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, (2007).

Veli, S., Öztürk, T., Dimoglo A., Öncel, S., Ayberk, S., “İzaydaş Depo Alanı Sızıntı Suyunun Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Arıtımı”, **3. Ulusal Katı Atık Kongresi**, Dokuz Eylül Üniversitesi, 25-27 Mayıs, 39-46, İzmir, (2005).

Veli, S., Öztürk, T., Dimoglo A., “Treatment of Municipal Solid Wastes Leachate by Means of Chemical- and Electro-Coagulation”, **Seperation and Purification Technology**, 61,82-88 (2008)

Çak Tekstil Sanayi ve Ticaret A.Ş. Üretim Raporu (2011)

Tekstil Sanayinde Anahtar Çevresel Konular
<http://www.bcm.org.tr/pdf/tekstil%20sanayiinde%20cevresel%20konular.pdf>.
(Ziyaret Tarihi: 07.02.2011)

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Kocaeli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2003 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden 2007 yılında Çevre Mühendisi olarak mezun oldu. 2008 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2007 yılından bu yana özel sektörde Çevre Mühendisi olarak çalışmaktadır.