



**TEKSTİL BOYA BANYO SULARININ
ELEKTROOKSİDASYON YÖNTEMİ İLE ARITIMININ
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RABİA YILDIRIM

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
AĞUSTOS - 2022**

**TEKSTİL BOYA BANYO SULARININ
ELEKTROOKSİDASYON YÖNTEMİ İLE ARITIMININ
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**RABİA YILDIRIM
ORCID ID: 0000-0001-8694-6005**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. NADİR DİZGE
ORCID ID: 0000-0002-7805-9315**

**İKİNCİ DANIŞMAN
PROF. DR. BÜLENT KESKİNLER
ORCID ID: 0000-0002-1992-0232**

**MERSİN
AĞUSTOS - 2022**

ÖZET

TEKSTİL BOYA BANYO SULARININ ELEKTROOKSİDAYSON YÖNTEMİ İLE ARITIMININ ARAŞTIRILMASI

Bu tez çalışmasında, tekstil endüstrisinde pamuklu/viskon boyama yapan boya banyosu atıksularının arıtımında ve tuzlu su geri kazanımında elektrooksidasyon (EO), aktif karbon (AK) ve nanofiltrasyon (NF) membran kombine prosesi kullanılmıştır. Geliştirilen proseste maksimum kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve renk parametrelerinin giderilmesinin yanı sıra maksimum iletkenlik geri kazanımı temel hedef olup prosesin işletme şartları laboratuvar ölçekli sistemlerde optimize edilmiştir. Laboratuvar ölçekli sistemden elde edilen sonuçlara göre pilot ölçekli tesis yapılmıştır. Geliştirilen pilot ölçekli sistem elektrooksidasyon, aktif karbon kolonu ve tuz geçirimsizliği yüksek nanofiltrasyon (NF) membrandan oluşmuştur. Elektrooksidasyon sisteminde yüksek verimde KOİ ve renk giderildikten sonra EO sisteminde arıtılmayan KOİ'nin bir kısmı NF membran ile giderilmiştir. EO prosesinde oluşan aktif klorun NF membrana zarar vermesini önlemek için EO'dan çıkan sular aktif karbon kolonlarından geçirilmiştir. Burada temel amaç, sadece tuzlu suyun NF membrandan geçerek çok az konsantrasyonlarda gelen renk, KOİ ve kalsiyum, magnezyum vb. +2 değerli iyonların konsantrasyonda tutulmasıdır. NF membrandan elde edilen ve iletkenlik değeri yüksek tuzlu su geri kazanılarak pamuk/viskon boyamada kullanılmıştır. Pilot tesis oldukça farklı özelliklere sahip tekstil boya banyosu atıksularının arıtılması ve tuzlu su geri kazanımı için işletilmiştir. Bu endüstri dalında faaliyet gösteren tesislerin atık sularının arıtılması ile çevre kirliliğinin önlenmesinin yanı sıra geri kazanılan suların yeniden kullanılması ile çok değerli olan su kaynaklarımızın da korunmasına katkı sağlanmış olacaktır. Son olarak önerilen kombine sistem için maliyet analizi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tekstil Atıksuyu, Elektrooksidasyon, Membran Proses, Aktif Karbon, Nanofiltrasyon

Danışman: Prof. Dr. Nadir DİZGE, Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE TREATMENT OF TEXTILE PAINT BATH WATER BY ELECTROOXIDATION METHOD

In this thesis, electrooxidation (EO), active carbon (AC) and nanofiltration (NF) membrane combined processes were used in the treatment of cotton/viscon dyeing dyebath and for brine recovery in the textile industry. In the developed process, the main target is maximum conductivity recovery as well as the elimination of the maximum chemical oxygen demand (COD) and color parameters, and the operating conditions of the process are optimized in laboratory scale systems. According to the results obtained from the laboratory scale system, a pilot scale facility was constructed. The developed pilot scale system consists of electrooxidation, active carbon column and nanofiltration (NF) membrane with high salt permeability. After the high efficiency of COD and color removal in the electrooxidation system, some of the COD that could not be purified in the EO system was removed with the NF membrane. In order to prevent the active chlorine formed in the EO process from damaging the NF membrane, the water coming out of the EO was passed through the active carbon columns. The main purpose here is to keep the +2 value ions that come in low concentrations such as the color, COD and calcium, magnesium etc. concentrated by letting only the salty water pass through the NF membrane. The high conductivity salt water obtained from the NF membrane was recovered and used in cotton/viscose dyeing. The pilot plant was operated both for the treatment of textile dyebath wastewater with quite different characteristics and for brine recovery. In addition to the prevention of environmental pollution by treating the wastewater of the facilities operating in this industry, the reuse of the recovered water will also contribute to the protection of our very valuable water resources. Finally, a cost analysis was carried out for the proposed combined system.

Keywords: Textile Wastewater, Electrooxidation, Membrane Process, Active Carbon, Nanofiltration

Advisor: Prof. Dr. Nadir DIZGE, Mersin University, Department of Environmental Engineering, Mersin.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimime başlamama vesile olan, danışmanlığı ile bana yol gösteren ve çalışmalarımız sırasında beni destekleyen, yönlendiren ve yardımlarını benden esirgemeyen, bu çalışmadaki ortak danışmanım çok değerli hocam Gebze Teknik Üniversitesi Rektör Yardımcısı Prof. Dr. Bülent KESKİNLER'e ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, enerjisi ve neşesiyle motivasyonumu arttıran tez danışmanım canım hocam Prof. Dr. Nadir DİZGE 'ye;

Her türlü soruma sabırla yanıt veren Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Ahmet KARAGÜNDÜZ 'e;

Tez çalışmamı finansal olarak destekleyen Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (2021-1-TP2-4262);

Laboratuvar çalışmalarında ve tez hazırlık aşamalarında destekleri ve yardımları için Dr. Öğr. Üyesi Yasin ÖZAY ve Yüksek Çevre Müh. Zelal IŞIK 'a;

Sağladığı çalışma imkanları ile Gaziantep Organize Sanayi Bölgesi Bölge Müdürü Sn. M.Özer ÖZCAN 'a ;

Mesleki gelişimimde büyük emeği olan, disiplini ve çalışma prensibi ile beni eğiten, bakış açımı ve muhakeme yeteneğimi geliştiren, tüm çalışma süresince görüşleri ve değerlendirmeleri ile beni yönlendiren GAOSB Atıksu Arıtma Tesisi Müdürü Yüksek Çevre Mühendisi Meltem POLAT 'a;

İnancı, desteği, ilgisi için GAOSB Atıksu Arıtma Tesisi İşletme Şefi Mustafa Şerif TOSUN'a;

GAOSB AAT Laboratuvarında benimle beraber çalışan, yorulan mesai arkadaşlarım Çevre Müh. Ceren ÇANAKÇI, Özlem POLAT ve Mustafa ARIKAN'a;

Akademik gelişimim için beni sürekli yüreklendiren, destekleyen canım ablam Melike ÖZDEMİR'e;

Tez yazım aşamasında yardım eden değerli arkadaşım Çevre Müh. Hüseyin BİLGİLİ'ye;

Bana her koşulda güvenen, inanan, maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen ve her daim yanımda, destekçim olan, hayattaki en büyük şansım canım ailem, babam Ural YILDIRIM, annem Songül YILDIRIM, kardeşlerim Büşra YILDIRIM ve Bora YILDIRIM'a ; desteği, tecrübesi ve ev arkadaşlığı için amcam Cihan YILDIRIM'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1 Tekstil Endüstrisi Hakkında Genel Bilgiler	3
2.2 Tekstil Endüstrisi Atıksu Kaynakları ve Özellikleri	5
2.3 Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddeler ve Çevresel Riskleri	9
2.4. Elektrokimyasal Arıtım Prosesleri	10
2.4.1. Elektrokimyasal Proseslerin Avantajları	10
2.4.2. Elektrokimyasal Arıtım Proseslerini Etkileyen Parametreler	11
2.4.3. Elektrokoagülasyon Prosesi	11
2.4.4. Elektrooksidasyon Prosesi	12
3. MATERYAL ve YÖNTEM	15
3.1. GAOSB İle İlgili Genel Bilgiler	15
3.2. Atıksu Arıtma Tesisine Gelen İletkenlik Kaynakları	15
3.3. Ham Atıksu Özellikleri ve Analizler	15
3.4. Laboratuvar Ölçekli Elektrooksidasyon Arıtma Sistemine Ait Teknik Bilgiler	16
3.5. Pilot Ölçekli Elektrooksidasyon+Aktif Karbon Arıtma Sistemine Ait Teknik Bilgiler	17
3.6. Pilot Ölçekli Elektrooksidasyon+Aktif Karbon+Nanofiltrasyon Membran Arıtma Sistemine Ait Teknik Bilgiler	20
3.7. Kumaş Boyama Prosedürü	23
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	24
4.1. Laboratuvar Ölçekli Elektrokimyasal Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar	24
4.1.1. Aktif Karbon Kumaşın Elektrot Olarak Kullanılması	24
4.1.2. Grafitin Elektrot Olarak Kullanılması	27
4.2. Pilot Ölçekli Elektrooksidasyon+Aktif Karbon (EO+AK) Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar	35
4.3. Pilot Ölçekli Elektrooksidasyon+Aktif Karbon+Nanofiltrasyon (EO+AK+NF) Membran Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar	49
4.4. Geri Kazanılan Tuzlu Su İle Kumaş Boyama Çalışmaları	55
4.4.1. E-kontrol boyama	55
4.4.2. Jet Boyama	57
4.5. Pilot Ölçekli Proses Ait İşletme Maliyet Analizi	59
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	64

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1	Tekstil Endüstrisi İşlem Basamakları Ve Atıksu Bileşenleri 8
Tablo 3.1	Tekstil Atıksularının Karakterizasyonu 16
Tablo 3.2	Tekstil Atıksularının Karakterizasyonu 16
Tablo 4.1	Tekstil Boya Banyosu Atık Sularının Karakterizasyonu 24
Tablo 4.2	Elyaf Boya Banyosu Atık Sularının Karakterizasyonu 28
Tablo 4.3	Bağımsız Değişken Aralıkları 28
Tablo 4.4	Test Edilen Modeller İçin Regresyon Katsayıları 29
Tablo 4.5	Renk Giderme İçin ANOVA Ve Uyumsuzluk Testleri Sonuçları 30
Tablo 4.6	KOİ Giderme İçin Test Edilen Modeller İçin Regresyon Katsayıları 30
Tablo 4.7	KOİ Giderimi İçin ANOVA Ve Uyum Eksikliği Testleri Sonuçları 31
Tablo 4.8	Renk Ve KOİ Giderme Modelleri İçin Performans Göstergesi 31
Tablo 4.9	Deney Sonuçları Ve Beklenen Veriler Arasındaki Tasarım Matrisi 32
Tablo 4.10	Farklı Parametreler İçin Başlangıç, Son Ve Standart Değerler 35
Tablo 4.11	Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Opak Siyah Rengine Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları 36
Tablo 4.12	Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Turkuaz Mavi Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları 37
Tablo 4.13	Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Bordo Rengine Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları 38
Tablo 4.14	Penye Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Siyah Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları 39
Tablo 4.15	Akrilik Viskon Karışımli İplik Boyama Banyosundan Kaynaklanan Lacivert Rengine Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları 40
Tablo 4.16	Akrilik Viskon Karışımli İplik Üretim Tesisinin Siyah Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları 41
Tablo 4.17	İplik Ve Kumaş Boyama, Havlu Kumaş Dokuma Ve Konfeksiyonu Boyama Banyosundan Kaynaklanan Kırmızı Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları 42
Tablo 4.18	Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Pembe Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları 43
Tablo 4.19	Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Pembe Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları (Çalışma 2) 44
Tablo 4.20	Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Pembe Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları (Çalışma 3) 45
Tablo 4.21	Akrilik İplik Boya Banyosundan Kaynaklanan Siyah Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları 47
Tablo 4.22	Zamana Bağlı Renk Değişimleri Ölçüm Sonuçları 47
Tablo 4.23	Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları 48
Tablo 4.24	Zamana Bağlı Renk Değişimleri Ölçüm Sonuçları 48
Tablo 4.25	Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları 49
Tablo 4.26	Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları 50
Tablo 4.27	Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları 51

	Sayfa
Tablo 4.28 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçlar	52
Tablo 4.29 İplik Ve Kumaş Boyama, Havlu Kumaş Dokuma Ve Konfeksiyonu Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları	53
Tablo 4.30 Penye Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları	54
Tablo 4.31 Pamuklu Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları	54
Tablo 4.32 Kumaş Boyama Banyosu Atık Sularının EO+AK+NF Membran Prosesiyle Arıtımı İçin Maliyet Analizi	59



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Tekstil Sektöründe Üretim Ağı 3
Şekil 2.2	Örgü Kumaş Üretimi (Islak İşlemler) 4
Şekil 2.3	Dokuma Kumaş Üretimi (Islak İşlemler) 4
Şekil 2.4	Tekstil Endüstrisinin Proseslere Göre Kirletici Bileşenleri 6
Şekil 2.5	Boyalı Atıksuların Arıtım Prosesleri 9
Şekil 2.6	EK Prosesinin Genel Mekanizması 12
Şekil 2.7	EO Prosesinin Genel Mekanizması 13
Şekil 3.1	Laboratuvar Ölçekli EO Arıtma Sistemi 17
Şekil 3.2	Pilot ölçekli EO Arıtma Tesisi 18
Şekil 3.3	EO+AK Pilot Tesis 1.Versiyon Akış Şeması 18
Şekil 3.4	EO+AK Pilot Tesis 2.Versiyon Akış Şeması 19
Şekil 3.5	EO+AK Pilot Tesis 3.Versiyon Akış Şeması 19
Şekil 3.6	EO+AK Pilot Tesis 4.Versiyon Akış Şeması 20
Şekil 3.7	EO+AK+NF Pilot Tesis Akım Şeması 21
Şekil 3.8	EO+AK+NF Pilot Tesis Akım Şeması 22
Şekil 3.9	Pilot ölçekli EO+AK+NF Membran Arıtma Tesisi 22
Şekil 4.1	Akım yoğunluğunun (A) KOİ, (B) renk, (C) klorür, (D) iletkenlik giderme verimliliği üzerindeki etkisi ve (E) pH'ın reaksiyon sırasında zamana göre değişimi. 25
Şekil 4.2	Çözelti pH'ının (A) KOİ, (B) renk, (C) klorür, (D) iletkenlik giderme verimliliği üzerindeki etkisi ve (E) pH'ın reaksiyon sırasında zamana göre değişimi. 26
Şekil 4.3	Arıtılmış Tekstil Boya Banyosu Atık Sularının Zamana Karşı Fotoğrafları 27
Şekil 4.4	Elektrooksidasyon Deneyleri İçin Kullanılan Deney Düzeneği 28
Şekil 4.5	Tasarlanan ANN modeli 29
Şekil 4.6	(A) Akım ve pH etkileri için yüzey renk giderme verimi yanıtı, (B) Akım ve zaman için yüzey renk giderme verimi yanıtı, (C) Akım için kontur yanıtı ve renk giderme verimi üzerindeki pH etkileri, (D) Akım için kontur yanıtı ve renk giderme verimi üzerindeki zaman etkileri 33
Şekil 4.7	(A) Akım ve pH etkileri için yüzey KOİ giderme verimi yanıtı, (B) Akım ve zaman için yüzey KOİ giderme verimi yanıtı, (C) Akım için kontur yanıtı ve KOİ giderme verimi üzerindeki pH etkileri, (D) Akım için kontur yanıtı ve KOİ giderme verimi üzerindeki zaman etkileri 34
Şekil 4.8	Siyah Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması 36
Şekil 4.9	Turkuaz Mavi Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması 36
Şekil 4.10	Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Bordo Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması 37
Şekil 4.11	Penye Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Siyah Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması 38
Şekil 4.12	Akrilik Viskon Karışımı İplik Boyama Banyosundan Kaynaklanan Lacivert Rengine Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması 39
Şekil 4.13	Akrilik Viskon karışımı İplik Üretim Tesisinin Siyah Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması 40
Şekil 4.14	Akrilik Viskon karışımı İplik Üretim Tesisinin Opak Siyah Rengine Sahip Atıksuyun 100.Dk Kaba Filtreden Geçirilmiş Hali 41

	Sayfa
Şekil 4.15 İplik Ve Kumaş Boyama, Havlu Kumaş Dokuma Ve Konfeksiyonu Boyama Banyosundan Kaynaklanan Kırmızı Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması	42
Şekil 4.16 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Pembe Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması	43
Şekil 4.17 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Pembe Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması (Çalışma 2)	44
Şekil 4.18 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Pembe Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması (Çalışma 3)	45
Şekil 4.19 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Pembe Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması (Çalışma 4)	46
Şekil 4.20 Akrilik İplik Boya Banyosundan Kaynaklanan Siyah Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması	46
Şekil 4.21 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması	47
Şekil 4.22 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması	48
Şekil 4.23 Koyu Lacivert Rengine Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması	49
Şekil 4.24 Kırmızı+Turuncu+Mor Rengine Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması	50
Şekil 4.25 Lacivert+Turuncu+Mor Rengine Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması	51
Şekil 4.26 Lacivert+Siyah Rengine Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması	52
Şekil 4.27 Lacivert+Siyah Rengine Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması	53
Şekil 4.28 Fulard Boyama Makinesinin Çalışma Prensibi	55
Şekil 4.29 Sıcak Suda Kaynatma Prosedürü	56
Şekil 4.30 Kurutma Prosedürü	56
Şekil 4.31 Spektrofotometre Cihazı	57
Şekil 4.32 Jet boyama makinası ve elemanları, 1. Kumaş, 2. Flotte, 3. Düze Sistemi, 4. İlave Tankı	57
Şekil 4.33 Geri Kazanılan Tuzlu Su İle Gerçekleştirilen Kumaş Boyamaları	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltma/Simge	Tanım
AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
AK	Aktif Karbon
AKM	Askıda Katı Madde
ANN	Yapay Sinir Ağı
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
DC	Doğru Akım
EF	Elektroflotasyon
EK(EC)	Elektrokoalüsyon
EO	Elektrooksidasyon
GAOSB	Gaziantep Organize Sanayi Bölgesi
HBS	Hidrolik Bekletme Süresi
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
NF	Nanofiltrasyon
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
RSM	Yanıt Yüzey Yöntemi
SF	Seramik Filtre
SKKY	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
TAA	Toplam Aromatik Aminler
TDS	Toplam Çözülmüş Madde
TF (TP)	Toplam Fosfor
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TOK (TOC)	Toplam Organik Karbon
UV	Ultraviyole

olmasına sebep olmaktadır. Tekstil sektöründe boyama işlemlerinde kullanılan tuza bağlı olarak atıksuyunda yüksek iletkenlik değerleri gözlenmektedir. Tuzlu su ileri arıtma yöntemleri ile arıtılabilmektedir. Ancak tuzlu su arıtımında kullanılan yöntemlerin ekonomik olmadığı gibi, arıtma işlemi sonucunda oluşan çamurlar çevre için problem oluşturabilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı; temiz üretim kapsamında tekstil sektörünün boyama yapan alt sektöründe faaliyet göstermekte olan işletmelerin, proseslerinde değişiklik yapmadan, boya banyolarından oluşan atıksuların KOİ ve renk parametresini düşüren ve bu parametreleri düşürürken çamur oluşturmayan bir arıtma sisteminin tasarlanması, tuzlu suyun geri kazanılması, tasarlanan sisteme yönelik KOİ ve renk giderimi için prototip geliştirerek pilot ölçekli çalışmaların gerçekleştirilmesidir. Aynı zamanda pilot çalışmalar sonucunda benzer sorunu yaşayan sektörlerde bu prototipin uygulanabilirliği ile renk giderimi yapılmış atıksuda alkalinite ayarlaması yapılarak tuzlu suyun boyama işleminde yeniden kullanımının araştırılmasıdır.

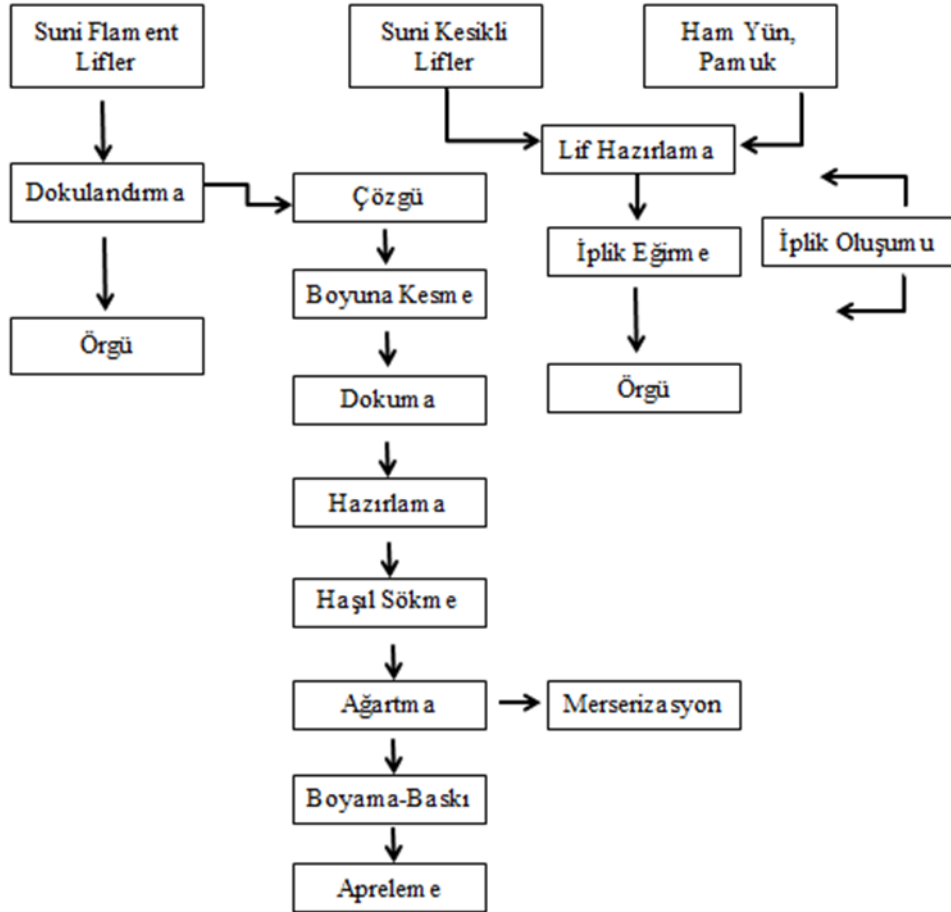


2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

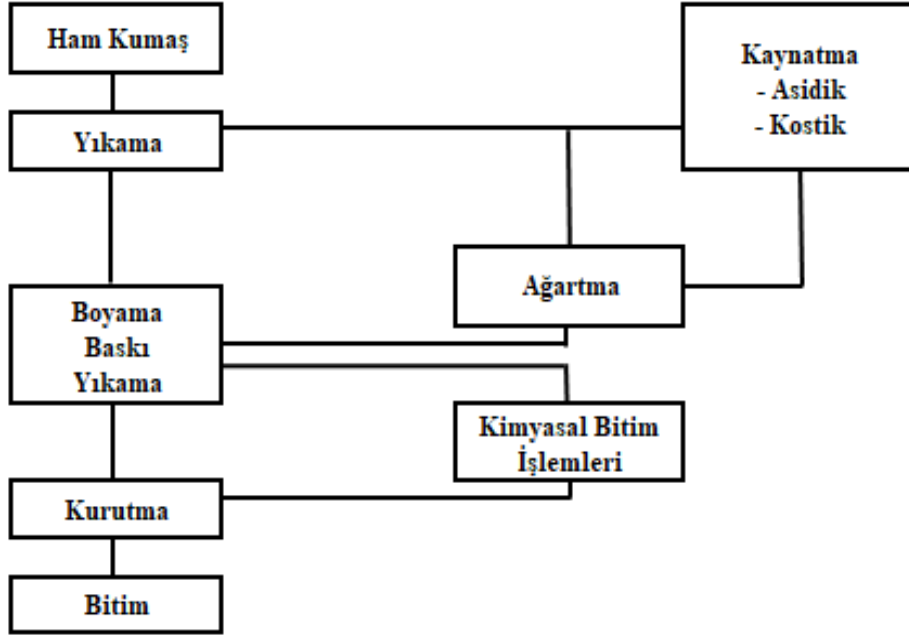
2.1 Tekstil Endüstrisi Hakkında Genel Bilgiler

Tekstil endüstrisi iplik, kumaş vb. diğer tekstil ürünlerinin doğal veya sentetik elyaflar ile üretiminin yapıldığı bir daldır. İpliklerin hazırlanması, boyanması, dokuma/örme işlemleri ve diğer yöntemlerle halı, kumaş gibi yaygın kullanılan tekstil ürünlerin üretiminde baskı, terbiye gibi işlemleri içerir.

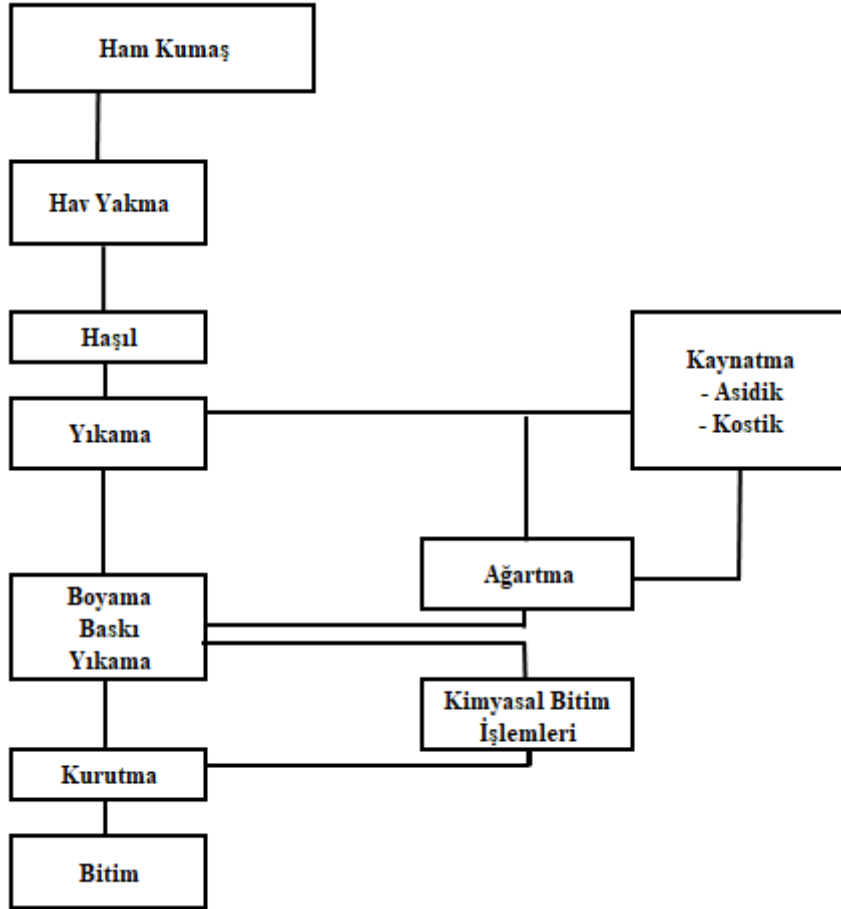
Tekstil sektörü, kendi içerisinde farklı alt sektörler ayrılmaktadır. Üretim aşamasında kullanılan prosesler ıslak ve kuru olmak üzere 2'ye ayrılır. Islak prosesler; boyama, terbiye, apreleme, baskı gibi işlemlerdir. Kuru prosesler; dokuma, eğirme, fikse, kurutma, örme gibi işlem süreçlerini içerir. Şekil 2.1'de tekstil sektöründe üretim ağı, Şekil 2.2'de örgü kumaşlara, Şekil 2.3'te ise dokuma kumaşlara uygulanan ıslak işlemler gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Tekstil Sektöründe Üretim Ağı (Ardalı, 2021)



Şekil 2.2. Örgü Kumaş Üretimi (Islak İşlemler) (Ardalı, 2021)



Şekil 2.3. Dokuma Kumaş Üretimi (Islak İşlemler) (Ardalı, 2021)

Tekstilde boyama işlemi çok çeşitlidir. Boyamanın hangi boyar maddelerle ve nasıl yapılacağı kumaşın türüne bağlıdır. Kumaşın cinsi (pamuk, ipek, keten, yün, kaşmir, akrilik, naylon, polyester, likralı) boyamada önemlidir. Bazen bir kumaş tamamen pamuktan ya da tamamen polyesterden oluşabilirken bazen de hem pamuk hem de polyesterden oluşabilir (%50 pamuk+%50 polyester gibi). Böyle durumlarda boyama işlemi de farklılık gösterir. Pamuklular reaktif, polyesterler dispers ve naylonlar da asit boyar maddeleriyle boyanırlar.

2.2 Tekstil Endüstrisi Atıksu Kaynakları ve Özellikleri

Tekstil sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin proseslerinden kaynaklanan atıksular değişken özellik göstermektedir. Tesisler içerisinde uygulanan üretim prosesleri ve bu proseslerde kullanılan teknoloji farklılıkları atıksuların içeriklerine yansımaktadır. Düşük miktarda atıksu oluşturan bazı işlemler yüksek miktarda kirlilik içerebilmektedir. Buna örnek olarak haşılama işlemi verilebilir. Haşılama işleminden kaynaklanan atıksular, işletme içerisinde oluşan atıksuların toplam KOİ 'sinin neredeyse %30 -%70 'ine tekabül etmektedir. Yüksek miktarda suya ihtiyaç duyulan yıkama, ağartma, boyama gibi işlemlerden kaynaklanan atıksular organik madde içeriği bakımından düşük ancak renk içeriği bakımından yüksek kirlilik içerebilmektedir.

Tekstil atıksularının içeriklerini; işletme koşulları, proseslerde kullanılan organik ve inorganik bileşikler ve kimyasallar etkilemekte olup, bu etkenler KOİ, renk,pH ve iletkenlik gibi kirlilik parametrelerini yükseltmektedir. Endüstrilerde uygulanan farklı teknolojili işlemler, geleneksel (standart) arıtma yöntemleriyle ile arıtılması güç olan atıksular oluşmasını sağlamaktadır. Tekstil proseslerinin üretimi sırasında açığa çıkan atıksuların içerikleri ve miktarları Tablo 2.1'de verilmiştir. Şekil 2.4'te tekstil sektöründe farklı proseslerde oluşan atıksuların karakterleri ve kirleticilerin bileşenleri verilmiştir.

KİRLETİCİLER	PROSES	ATIKSU KARAKTERİSTİKLERİ
İplik atıkları, kullanılmayan nişasta bazlı parçalar	← Haşılama →	Yüksek BOİ, orta KOİ
Enzimler, nişasta, amonyak	← Haşıl Sökme →	BOİ (%34-50), yüksek KOİ
Dezenfektanlar, insektisit kalıntıları, NaOH,	← Pişirme →	Yağ asitleri, BOİ(%30), yüksek pH, sıcaklık (70-80 °C), koyu
Hidrojen peroksit, AOX, NaOCl, organikler	← Ağartma →	Yüksek pH, TDS
NaOH	← Merserizasyon →	Yüksek BOİ, yüksek pH, askıda katı madde
Renk, metaller, sülfid, tuzlar, asidite/alkalinite, formaldehid	← Boyama →	Yüksek toksisite, BOİ (%6), yüksek çözünmüş madde,
Üre, çözenler, renk, metaller	← Baskı →	Yüksek toksisite, yüksek KOİ, yüksek BOİ, yüksek çözünmüş katılar, yüksek
Klorlanmış bileşikler, reçineler, harcanan çözenler,	← Terbiye →	Düşük alkalinite, düşük BOİ, yüksek toksisite

Şekil 2.4. Tekstil endüstrisinin proseslere göre kirletici bileşenleri (Ardalı, 2021).

Haşılama: İpliklere dokuma esnasında mukavemet kazandırmak, maruz kalacağı etkenlerden korumak amacıyla yapılan dokumaya hazırlık işlemidir. Bu aşamada oluşan atık genel olarak; iplik atığı, nişasta içerikli haşıldır. Bu prosesten kaynaklanan en büyük kirlilik kullanılan haşıl malzemeleridir. Atıksu içeriklerinde yüksek miktarda KOİ, AKM ve BOİ5 gözlenir. Kirliliği yüksek olan bu atıksuların miktarı azdır (Ardalı, 2021).

Yıkama: Pamuk içerisindeki vaksı, yağı ve selülozik olmayan kısmı uzaklaştırmak amacıyla sabun çözeltileri (deterjan, gliserol eterler gibi) ve yıkama solventleri kullanılır. Kullanılan kimyasallar nedeniyle oluşan atıksu yüksek miktarda kimyasal ve toksisite içerir. Bu atıksularda pH değerleri 10-11 seviyelerinde olup KOİ ve katı madde oranı yüksektir. Yıkama proseslerinde en fazla kirlilik ‘yün yıkama’ işlemlerinde gözlenir (Ardalı, 2021).

Yün Karbonizasyonu: Güçlü asitlerle, yüksek sıcaklıkta, yüne zarar vermeden, selülozu parçalamak amaçlı yapılan, yünde mekanik veya yıkama işlemleriyle giderilemeyen kirleticilerin giderimi için uygulanır. Burada kullanılan asitlerin sonraki işlem basamaklarını etkilememesi için

bötralizasyon ve yıkama işlemi yapılmalıdır. Oluşan atıksular yüksek katı madde, düşük organik madde içeriğine sahiptir (Ardalı, 2021).

Keçeleştirme: Sülfirik asit ve sıcak soda çözeltileri ile yoğun, mat ve küçük materyal oluşturmak amaçlı karbonizasyon işlemi sonrası uygulanmaktadır. Yıkama sonrasında oluşan atıksuda BOİ5 miktarı yüksektir (Ardalı, 2021).

Ağartma: İstenmeyen renk yansımaları; hidrojen peroksit , sodyum hipoklorit, sodyum silikat gibi kimyasallar kullanılarak giderilir. Oluşan atıksu yüksek katı madde, düşük BOİ5 içerir (Ardalı, 2021).

Merserizasyon: Ürünün boyayı tutmasını sağlamak ve parlaklığını arttırmak için kullanılan bir uygulamadır. Bu işlemde sodyum hidroksit pH miktarını arttırmak için kullanılır. Kostik kullanımından kaynaklı atıksuyun pH'ı da yüksektir. Oluşan atıksular düşük BOİ5 ve katı madde içerir (Ardalı, 2021).

Boyama: Renklendirme prosesi olan boyama işleminde sentetik boya kullanımı yaygındır. Sentetik boyalar petrol bazlı ara ürünlerden elde edilir. Boyaların tutunmasını arttırıcı kirlilik oluşturan yan ürünler (sülfid, tuzlar, yüzey aktifler, formaldehitler ve metaller gibi) kullanılır. Tekstil endüstrisinde su kullanımının ve buna bağlı atıksu oluşumunun en yoğun olduğu prosestir. Oluşan atıksuların renkleri yüksek olup organik madde içeriği düşüktür (Ardalı, 2021).

Baskı: Genel olarak boyama prosesi ile aynı maddeler kullanılır. Boyamadan farklı olarak yapılan işlem, boyanacak malzemenin sadece belirli bir bölümünün boyanmasıdır. Oluşan atıksuda yüksek renk, KOİ ve azot içeriğinin dışında solvent, inceltici gibi kimyasallar da bulunur (Ardalı, 2021).

Tablo 2.1 Tekstil Endüstrisi işlem basamakları ve atıksu bileşenleri (Ardalı, 2021).

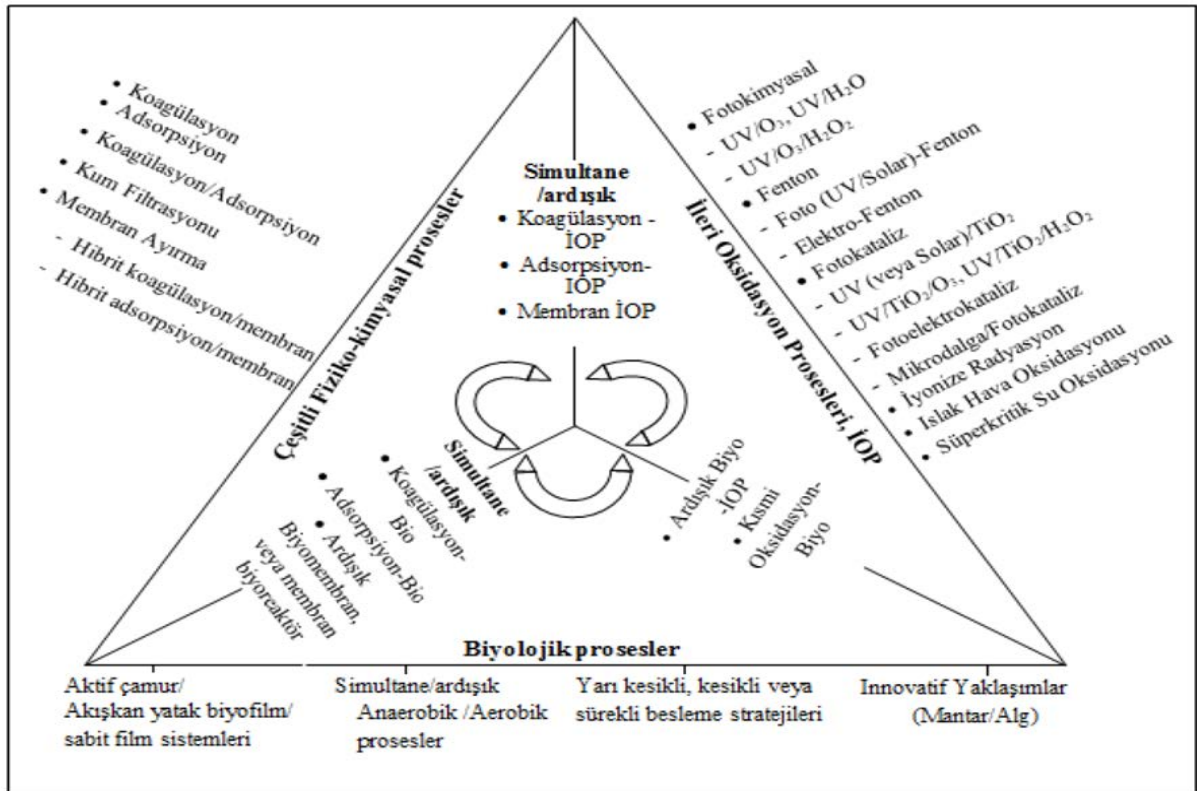
Parametre	Elyaf Türü	Haşıl Sökme	Yıkama	Ağartma	Boyama	Baskı
KOİ (mg/l)	Yün	-	5000-90000	-	7920	-
	Pamuk	950-20000	8000	288-13500	1115-4585	-
	Sentetik	-	-	-	620	1515
BOİ ₅ (mg/l)	Yün	-	2270-60000	400	400-2000	-
	Pamuk	-	100-2900	90-1700	970-1460	-
	Sentetik	-	500-2800	-	530	590
Renk (ADMI)	Yün	-	2000	-	2225	-
	Pamuk	64-1900	694	153	1450-4750	-
	Sentetik	-	-	-	1750	-
Toplam Katı (mg/l)	Yün	-	28900-49300	910	-	-
	Pamuk	-	-	2300-14400	-	-
	Sentetik	-	-	-	-	150-250
T.AKM (mg/l)	Yün	-	1000-26200	910	-	-
	Pamuk	18-800	184-17400	2300-14400	-	-
	Sentetik	-	600-3300	-	-	-
T.Çözünmüş Katı (mg/l)	Pamuk	530-6900	-	4760-19500	-	-
Çöz. Org. Karbon (mg/l)	Yün	-	5800	-	-	-
	Pamuk	250-2750	-	320	-	-
TKN (mg/l)	Pamuk	70	-	40	-	-
	Sentetik	-	-	-	-	164
Amonyum Azotu (mg/l)	Yün	-	604	-	-	-
	Pamuk	9-19	-	8-19	-	-
	Sentetik	-	-	-	-	129
TF (mg/l)	Pamuk	4-10	-	6-60	-	-
	Sentetik	-	-	-	-	21
Fosfat (mg/l)	Yün	-	89	-	-	-
Sülfür (mg/l)	Yün	-	0-2	-	-	-
	Pamuk	-	-	-	325-900	-
Sülfat (mg/l)	Pamuk	-	-	-	1750-2690	-
	Genel Elyaf	-	-	90-100	26000	-
Yağ-Gres (mg/l)	Yün	-	580-55000	-	-	-
pH	Yün	-	7,6-10,4	6	4,6-8	-
	Pamuk	8,8-9,2	7,2-1,3	6,5-13,5	9,2-10,1	-
	Sentetik	-	8-10	-	11,7	-
Su Tüketimi (L kg ⁻¹ elyaf)	Yün	-	4-77,5	-	40-150	280-520
	Pamuk	-	2,5-43	30-50	38-143	-

2.3 Tekstil Sektöründe Kullanılan Boyar Maddelerin Çevresel Etkileri

Tekstil terbiye endüstrisi genel olarak biyolojik olarak parçalanamayan bileşikler içerir. Kanala deşarj edilen tekstil atıksuları bazen biyolojik olarak ayrışabilmekte, oksijen seviyesini düşürerek su kalitesini bozmaktadır. Bu endüstrilerden kaynaklı oluşan atıksuda kirlilik miktarı ton başına 100 kg KOİ olup, atıksu miktarı 200-350 m³/ton'dur.

Tekstil sektöründen kaynaklanan atıksular renkli sular olması sebebiyle alıcı ortama artırılmadan direkt deşarj edildiğinde estetik problem oluşturmasının dışında toksik etki yaratabilmektedir. Ayrıca bu endüstriden kaynaklı renkli atıksularda boyar madde konsantrasyonları 10- 20 mg aralığında değişmekte olup, biyoakümülyasyona da sebep olabilirler.

Tekstil atıksularının arıtımında biyolojik yöntemler, fiziksel ve kimyasal yöntemlere göre daha çevreci ve ekonomiktir. Ancak biyolojik yöntemler ile sadece bulanıklık ve KOİ giderim verimi yüksek olup, renk gideriminde verimi yetersizdir. Şekil 2.5'te boyalı atıksuların arıtım prosesleri verilmiştir. Yapılan çalışmalarda kombine sistemlerin kullanımının daha verimli ve ekonomik sonuçlar çıkardığı görülmüştür. Elektrokimyasal arıtım yöntemleri renk gideriminde en etkili proseslerdendir.



Şekil 2.5. Boyalı Atıksuların Arıtım Prosesleri (Ardalı, 2021).

2.4 Elektrokimyasal Arıtım Prosesleri

Suyun kalitesi; konsantrasyon açısından tanımlanabilir ve suyun içindeki fiziksel özellikleri ile birlikte suda bulunan organik ve inorganik malzemeyi belirtir. Yüzeysel sularının bileşimi drenaj havzasındaki doğal faktörlere bağlıdır ve akış miktarları, hava koşulları ve su seviyelerinde mevsimsel farklılıklara göre değişir. İnsan müdahalesinin su kalitesi üzerinde de önemli etkileri vardır. Su kalitesini izlemenin temel nedeni; gözlenen su kalitesinin kabul edilebilir bir seviyeye ulaşmak için gereken amaçlanan kullanımlar ve arıtma süreçleri için uygun olup olmadığını doğrulamaktır (Işık, 2020). Su arıtma işlemleri geleneksel veya geleneksel olmayan işlemler şeklinde olabilir. Gerekli su arıtma işlemlerinin seçimi, mevcut kirleticilere ve gereken kaliteye bağlıdır. Elektrokimyasal arıtım prosesleri son yıllarda atık su arıtımında büyük dikkat çekmektedir (Brillas ve ark., 1995). Elektrokimyasal arıtma yöntemleri, yüksek temizleme verimliliği, düşük maliyet, minimum kimyasal kullanım düzeyi, basit işlem parametreleri gibi birçok faydası ile geniş çapta kullanılmaya başlanmıştır. İşlem süresi, akım yoğunluğu, kullanılan elektrot tipi gibi faktörler, elektrokimyasal arıtma işlemlerini diğer işlemlerden ayıran en temel farklardır (İlhan ve ark., 2007). Elektrokimyasal arıtma işlemleri, özellikle elektrooksidasyon (EO), elektrokoagülasyon (EK) ve elektroflotasyon (EF), olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırılır (Vardar, 2006). Elektrokoagülasyon prosesinde elektrokimyasal hücrede yer alan reaksiyonlar; metalik anodun (M = Fe veya Al) oksidasyonu ve suyun, ana elektrokimyasal reaksiyonlar olduğu indirgenmesi ile özetlenir. Anottaki suyun oksidasyonu, alüminyum oksidasyonu ile rekabet eden ikincil bir reaksiyondur (Umran ve ark., 2009).

Elektrooksidasyon prosesinde ise temel prensip elektron verme eğilimi düşük metaller aracılığı ile suyun elektrolizini sağlayarak parçalanması zor organik maddelerin parçalanması kolay organik maddelere veya karbondioksit (CO₂) ve su (H₂O) gibi son ürünlere dönüştürmektir. 1946 yılından bu yana; içme suyu, evsel, tekstil, mezbaha, kağıt ve süt endüstrisi, maden, deterjan atıksuları ve sızıntı suları gibi atıksular EK ve EO süreçleri ile başarılı bir şekilde arıtılabilmektedir. (Song ve ark., 2017).

2.4.1 Elektrokimyasal Proseslerin Avantajları

- İşletme parametrelerinin kullanım kolaylığı verimi arttırmaktadır.
- Koku ve renk giderim verimi iyi derecedir..
- Aynı anda birden fazla organik kirletici giderimi sağlanabilir.
- Düşük maliyeti gerektirir.
- Daha az kimyasal madde kullanılır.
- Elektrokagülasyonda metal hidroksitler şeklinde çamur oluşumu gözlenir.

- Elektroflotasyonda elektroliz süresince gaz kabarcıkları ile taşınan küçük konsantrasyondaki kirleticiler giderilebilmektedir.
- Elektrooksidasyon sonucu klor oluşumu gözlenir. Bu klor dezenfektan davranışı sergiler (Işık, 2020).

2.4.2 Elektrokimyasal Arıtım Proseslerini Etkileyen Parametreler

Elektrot Tipi: elektrokoagülasyonda arıtım türünü belirleyen, direkt olarak kirletici giderim performansını etkileyen önemli bir parametredir. Elektrokoagülasyonda alüminyum elektrotlar ve demir elektrotlar yaygın kullanılır ve elektrotlar akımla beraber ortamda çözünür. Elektrooksidasyonda rutenyum, platin, titan gibi elektrotlar kullanılır ve çözünme olmaz. Her atıksuda aynı elektrot verimli çalışmayabilir. Atıksuların farklılıklarına göre elektrot seçimi de değişir.

Akım Yoğunluğu: en önemli işletme parametrelerindedir. Elektrokimyasal arıtımda akım yoğunluğunun optimizasyonu önemlidir. Örneğin elektrokoagülasyonda akım yoğunluğunun artışı maliyeti arttırmakla kalmaz, arıtma süresini etkiler ve fazla çamur oluşmasına da sebep olur.

pH: elektrooksidasyon ve elektrokoagülasyon proseslerinde OH radikallerinin ve metal hidroksitlerin oluşumunu direkt olarak etkileyen bir parametredir. Çünkü her pH değerinde koagülant oluşumu gözlenmediği gibi pH 'ın belirli aralıkları dışında OH radikallerinin (hidroksil) oluşumunu da azaltabilir. Bu proses süreçlerinde pH değişim gösterir. Elektrokoagülasyon proseslerinde PH artışı olurken, elektrooksidasyon proseslerinde pH'da düşüş gözlenir.

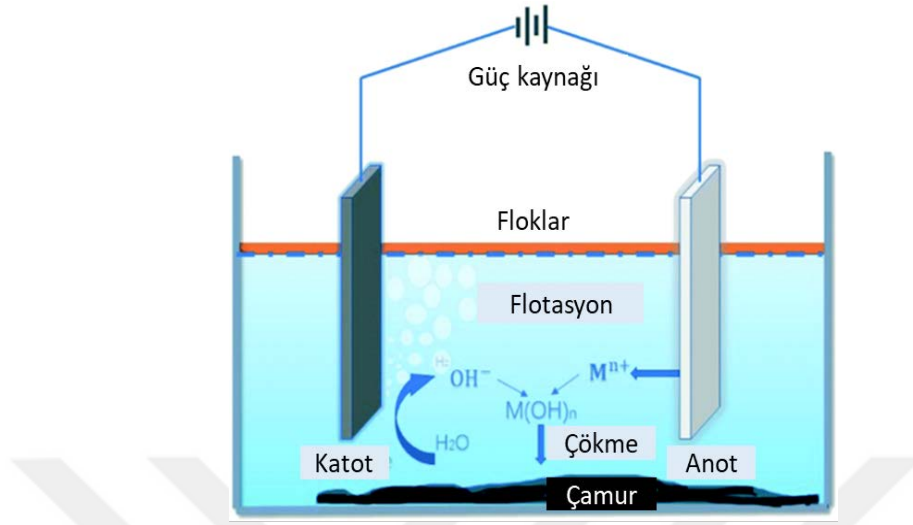
Arıtım Süresi: optimize edilmediği durumda; arıtma verimini, maliyeti ve arıtım sonucu köpük, çamur gibi yan ürünlerin oluşumlarını etkiler.

2.4.3 Elektrokoagülasyon Prosesi

Elektrokoagülasyon arıtım prosesi, su ve atık su arıtımında klasik koagülasyon, flotasyon ve adsorpsiyonun pozitif yollarını birleştiren endüstriyel atık suların arıtımı için potansiyel alternatif bir yöntemdir (Özyonar ve Karagözoğlu, 2012). Yöntemin kirleticileri uzaklaştırmadaki genel mekanizması koagülasyon, adsorpsiyon, çöktürme ve flotasyon proseslerine dayanmaktadır. Proses, demir ve/veya alüminyum gibi anotundan koagülantların üretilmesine ve katot üzerinde elektroliz yapılmasına ve bu sayede kirletici maddelerin flotasyon yoluyla giderilmesine yardımcı olmaktadır (Koby ve ark., 2014). Al ve Fe malzemeleri, kaynaklarının bolluğu, düşük maliyet ve toksik olmamalarından dolayı en fazla tercih edilen elektrot malzemeleridir. Arıtım, elektrokoagülasyon işleminde 3 aşamada gerçekleştirilir (Şekil 2.6). Bunlar;

- Elektrotların yüzeyinde meydana gelen reaksiyonlarla metal hidroksitlerin oluşumu,
- Sıvı fazda kirletici maddelerle metal hidroksitlerle koagülasyonun oluşturulması ve

- Kirleticilerin adsorpsiyon, pıhtılaşma çökeltmesi veya yüzdürme mekanizmaları ile uzaklaştırılması (moreno-casillas ve ark., 2007).



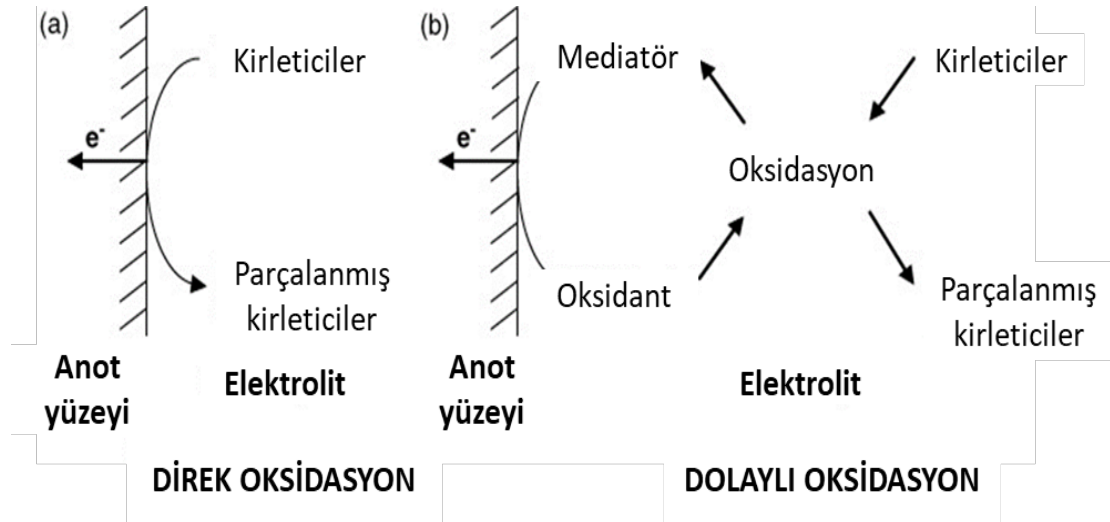
Şekil 2.6. EK Prosesinin Genel Mekanizması (Işık, 2020).

2.4.4 Elektrooksidasyon Prosesi

Elektrooksidasyon; organik maddeleri çözünmeyen elektrotlar kullanarak oksitleme esasına dayanır. Bu elektrot malzemelerine örnek olarak grafit, platin, titanyum verilebilir. Elektrooksidasyon prosesinde anot yüzeyinde organik kirleticilerin parçalanması sağlanır (Carbonio ve ark., 2009; Anglada ve ark., 2009). Prosesin şeması Şekil 3'de gösterilmiştir. Biyolojik olarak parçalanması zor olan organik bileşiklerin son ürünleri ise CO₂ veya biyobozunur organik bileşiklere veya su'dur.

Elektrooksidasyonda kullanılan elektrotlar arasında etkin bir role sahip olan elektrot anottur. Bu nedenle, bu süreçte anotun katolitik aktivitesi öncelikli olarak, sıcaklık, difüzyon hızı, pH ve akım etkilidir. Elektrolitik hücrede organik kirleticilerin oksidasyonu iki farklı yolla gerçekleşir (Şekil 2.7) (Naumczyk ve ark., 1996):

- Doğrudan anodik oksidasyon
- Dolaylı oksidasyon



Şekil 2.7. EO Prosesinin Genel Mekanizması (Vlyssides Ve Ark., 1997).

Elektrokimyasal arıtım boyunca organik bileşiklerin tamamı parçalanmak istenirse kombine arıtım sistemi gerekir. Oksitleyici olarak Hipoklorit (ClO^-) kullanılır ve organik maddelerin oksitlenmesinde etkilidir.

Endüstriyel üretimlerden kaynaklı oluşan atık suların arıtımında birbirinden arıtma tipleri kullanılabilir. Bunun nedeni kirleticilerin ve debilerinin farklılık göstermesidir. Elektrokimyasal arıtım yöntemleri yağlar, organik-inorganik kirleticiler ve hatta mikroorganizmalar gibi geniş bir kirletici skalasında etkili ve verimli olduklarından kullanılmaktadır.

Elektroliz yönteminde, demir hidroksit oluşturularak asit boyaların giderimi sağlanmaktadır (Dörtkol, 2014). Yapılan çalışmalar elektroliz yönteminin renk gideriminde %80'lere kadar verimli olduğunu göstermiştir. KOİ gideriminde elektroliz, aktif çamur, koagülasyon sistemlerinden oluşturulan kombine sistemler konvansiyonel yöntemlere göre daha etkili ve ucuzdur (Baburşah, 2004; Namal, 2017). Fotokataliz yöntemlerinde boya çözeltilerinde renk gideriminde UV ışınları ve kombine kullanılan katalizörler (H_2O_2 ve TiO_2) etkilidir (Baburşah, 2004). Tam olarak renk giderimi bu sistemlerde sağlanamamış ancak %90 karbon giderimi elde edilmiştir (Erol, 2007). Fotokatalitik oksidasyon eğer biyolojik arıtma çıkışına uygulanırsa KOİ giderimi %97 olmaktadır (Dörtkol, 2014).

UV/ H_2O_2 kombinasyonunun avantajı; düşük kimyasal tüketilmesi, çamur ve tuz oluşturmaması ve kısa sürede KOİ gideriminde verimli olmasıdır. Dezavantajı ise, işletme ve yatırım maliyetinin yüksek, giderim hızının düşük olmasıdır. Bu nedenle UV/ TiO_2 prosesine göre etkisi düşüktür. UV kullanımı boya gideriminde tek başına verimli olamamakla beraber ozonlama sonrası yapılan uygulamalarda etkili ve verimli sonuçlar oluşmaktadır (Baburşah, 2004).

Elektrokoagülasyon boya gideriminde bir diğer etkili yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu proseste özellikle Al ve Fe'den yapılmış çözünen elektrotlar kullanılmakta ve sonuçta metal hidroksitler oluşmaktadır. Bu yöntem gelişmiş ülkelerde yaygın kullanılmaktadır (Raghu ve Basha, 2007).

Işık ve Sponza (2004) tarafından yapılmış bir çalışmada, pamuklu tekstil atıksuyu için hazırlanan sentetik bir atıksu, anaerobik /aerobik ardışık reaktör sistemi kullanılarak arıtılmıştır. Anaerobik reaktörde 2.8 günlük bir hidrolik bekleme süresi (HBS) ve $1.13 \text{ kg/ m}^3 \cdot \text{gün}$ 'lük organik yükleme hızında %67 KOİ giderilirken, renk tamamen giderilmiştir. Aerobik reaktörde ise 10 günlük HBS ve $0.104 \text{ kg/ m}^3 \cdot \text{gün}$ 'lük organik yükleme hızında %77 KOİ giderim verimi elde edilirken, toplam sistemde %92 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Toplam aromatik aminler (TAA) anaerobik kademede birikirken, aerobik kademede %50 oranında giderilmiştir.

Özyonar ve Karagözoğlu (2012) yapmış oldukları elektrokoagülasyon yöntemi ile tekstil atıksuyunun arıtılması çalışmasında, sonuçlar değerlendirilmiş ve optimum koşullar (başlangıç pH:3, akım yoğunluğu 100 A/m^2 ve elektroliz süresi 20 dk.) belirlenmiştir. Çalışma sonucunda %82.6 TOC, %72.5 KOİ (giderim sonrası oluşan KOİ sonucunun SKKY 'yi sağladığını rapor etmişlerdir), %97.7 renk ve %98.7 bulanıklık giderimi elde edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 GAOSB İle İlgili Genel Bilgiler

GAOSB 5 bölgesinin bulunması ve 4325 hektarlık alana kurulu olması sebebiyle Türkiye'nin en büyük Organize Sanayi Bölgesi konumundadır. Tekstil ve gıda firmalarının yoğunlukta olduğu GAOSB'de toplam 1011 sanayi faaliyet göstermektedir. GAOSB'ye gelen atıksular 90.000 m³/gün kapasiteli, kimyasal ve ileri biyolojik arıtma proseslerini içeren bir atıksu arıtma tesisinde (AAT) arıtılmakta olup deşarj kriterleri sağlanmaktadır. Arıtılan sular Nizip çayına deşarj edilmekte ancak iletkenlik probleminden dolayı sulamada problem oluşmaktadır. II. sınıf kalite sulama suları için iletkenlik değerinin maksimum 3000 µS/cm olması istenmektedir.

3.2 Atıksu Arıtma Tesisine Gelen İletkenlik Kaynakları

GAOSB'ye yapılan gezi ve Sanayi Kuruluşları ile yapılan görüşmeler sonucu, iletkenlik artışına neden olan temel kaynaklar aşağıda sıralanmıştır.

- Şebeke ve kuyu suyunun arka plan iletkenliği ve yüksek sertliği,
- Su yumuşatma için kullanılan reçinelerin rejenerasyonunda kullanılan tuz,
- Tekstil sanayi'nde boyama amacı ile kullanılan tuz,
- Gıda sanayi'nde demineralizasyon için kullanılan reçinelerin rejenerasyonunda kullanılan HCl ve NaOH,
- Kanal deşarjı öncesi nötralizasyon için kullanılan asit ve baz.

3.3 Ham Atıksu Özellikleri ve Analizler

GAOSB atıksuları 2021 yılının çeşitli zaman aralıklarında farklı tekstil firmalarından temin edilmiştir. Tekstil atıksularının spesifik özellikleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 'de gösterilmiştir. Atıksu karakterizasyonu için kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam çözünmüş katılar (TDS) ve toplam süspansiyon halindeki katılar (AKM), sırasıyla 5220C, 2540C ve 2540D standart metotlarına göre ölçülmüştür. Deneylerde KOİ analizi için kapalı reflüx titrimetrik yöntem kullanılmıştır. Gravimetrik bir yöntem olan TDS analizi için numune, atıksu darası alınmış krozede 180 °C'de buharlaştırılmış, daha sonra hassas bir analitik terazi ile tartılıp sonuçlar mg/L cinsinden kaydedilmiştir. AKM analizi için, iyi karıştırılmış ve hacmi ölçülmüş bir atıksu numunesi önceden tartılmış 0.45 µm'lik bir filtreden süzölmüştür. Filtre 105±1° C'de kurutulduktan sonra sonuçlar kaydedilmiştir. İletkenlik ve pH, pH/Cond 340i El Tipi Multimetreler, WTW kullanılarak ölçülmüştür. Numunelerin rengi, 2120 sayılı Standart Metoda uygun olarak Platin-Kobalt (Pt-Co) metodu ile ölçülmüştür. Tüm deneyler üç tekrarlı yapılmıştır ve benzer sonuçlarla üç kez tekrar edilmiştir.

Tablo 3.1 Tekstil Atıksularının Karakterizasyonu

Parametre	Birim	Akrilik İplik Boyama	Viskon Boyama	Elyaf-Kumaş Boyama	Penye Kumaş Boyama	İplik- Kumaş Havlu Boyama
KOİ	mg/L	1420	1101	3990	248	2445
AKM	mg/L	57	2	2400	12	300
pH	-	5.58	11.26	10.75	8.65	1.88
Sıcaklık	°C	44.3	21.1	24.4	23.9	21.9
İletkenlik	µS/cm	1337	18430	49600	3030	88200
Renk	Pt-Co	170	469	247700	2213	127500

Tablo 3.2 Tekstil Atıksularının Karakterizasyonu

Parametre	Birim	İplik- Kumaş Havlu Boyama	Viskon Boyama	Elyaf- Kumaş Boyama
KOİ	mg/L	6020	1840	81300
AKM	mg/L	860	7	400
pH	-	10.74	10.63	10.38
Sıcaklık	°C	22.8	22.5	22.0
İletkenlik	µS/cm	97500	23000	140800
Renk	Pt-Co	157600	369	170300

3.4 Laboratuvar Ölçekli Elektrokoksasyon Arıtma Sistemine Ait Teknik Bilgiler

Tekstil atıksularının arıtımına yönelik elektrokoksasyon (EO) deneyleri, 250 mL çalışma hacmine sahip borosilikat cam malzemeden yapılmış bir reaktörde (500 mL) yapılmıştır (Şekil 3.1). Reaksiyon sıcaklığını oda sıcaklığında sabit tutmak için, kontrollü bir su banyosu kullanılmıştır. Reaktör, bir manyetik balık ile 300 rpm'de manyetik bir karıştırıcı (Wisd -Wisestir msh-20A) ile karıştırılarak homojen bir karışım sağlanmıştır. EO deneyleri için aktif karbon kumaş ve grafit elektrot çiftleri anot/katot elektrotlar olarak kullanılmıştır. Her deney için yeni elektrotlar kullanılmış olup 2 cm'lik bir elektrot arası mesafeyle yerleştirilmiştir. Doğru akım (DC) güç kaynağı (AATech ADC-3303D) kullanılarak sisteme akım verilmiştir. Farklı akım yoğunluklarında (50, 75, 100, 150 A/m²) ve farklı atıksu pH'ındaki (6, 8, 10, 11) zamana karşı (15, 30, 45, 60, 90 dak) KOİ ve renk giderim verimi araştırılmıştır. Deneyler sırasında herhangi bir destekleyici elektrolit kullanılmamıştır.



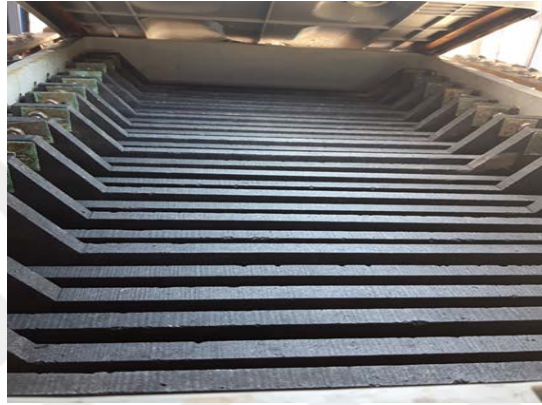
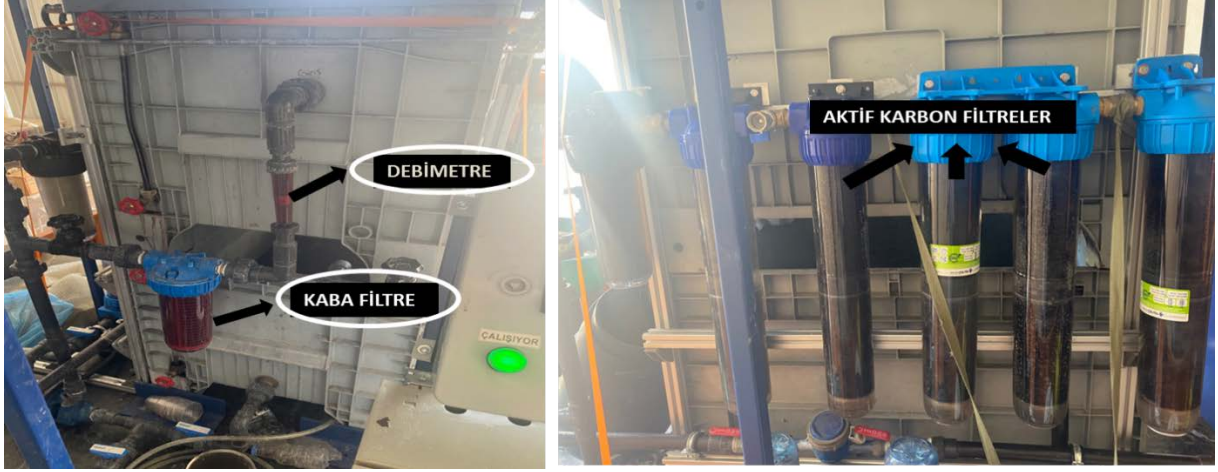
Şekil 3.1 Laboratuvar Ölçekli EO Arıtma Sistemi

3.5 Pilot Ölçekli Elektrooksidasyon+Aktif Karbon Arıtma Sistemine Ait Teknik Bilgiler

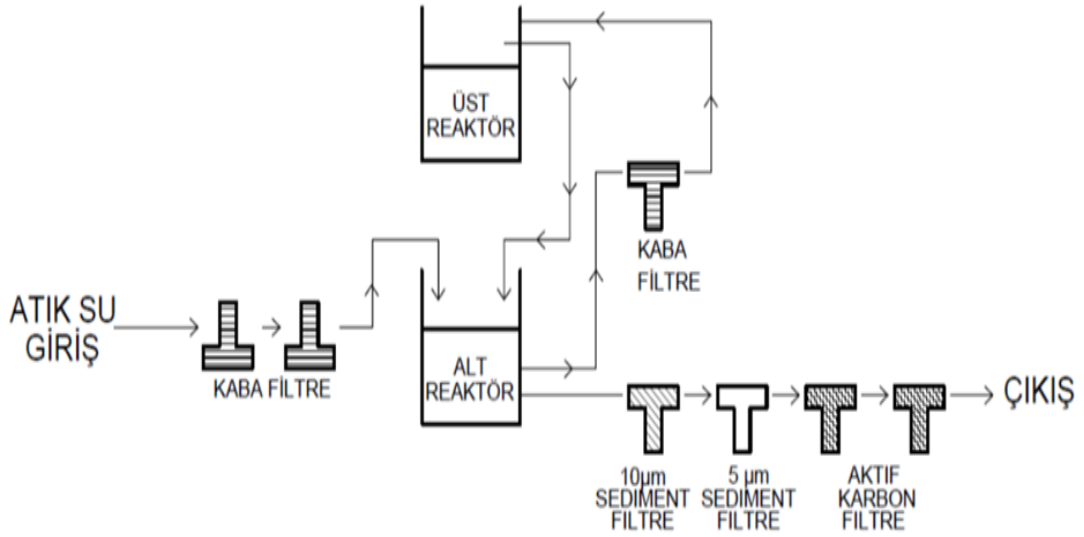
GAOSB’de faaliyet gösteren ve yoğun su tüketimine sahip tekstil firmalarında pilot ölçekli çalışmalar elektrooksidasyon+aktif karbon prosesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2). Bu sistemin temel amacı, su ve tuzu eş zamanlı geri kazanıp boya banyo sularında ilave su ve tuz kullanımını azaltmaktır. Pilot ölçekli çalışmada; GAOSB’de bulunan tekstil firmalarının boya banyolarından oluşan atıksulardan grafit elektrotlar kullanılarak KOİ ve renk parametrelerinde giderim verimleri incelenmiştir.

Yüksek giderim verimi elde etmek için tesiste; elektrot çeşitlerinde, filtre sayılarında, filtre sıralamalarında değişiklikler yapılarak farklı versiyonlarda tesisin giderim verimi incelenmiştir.

İlk versiyonda; tesis kapasitesi 200 litre olup 3 adet kaba filtre, 2 adet reaktör haznesi, 28 adet grafit elektrot (14 anot + 14 katot), 1 adet 5 µm’luk sediment filtre, 1 adet 10 µm’luk sediment filtreler ve 2 adet küresel aktif karbon filtresinden oluşmaktadır. Üst üste yerleştirilmiş 2 haznede kendi arasında devridaim ettirilen atıksu geçişi debimetre ile kontrol edilmekte ve tesisin çalışma süresine atıksuyun zamana bağlı renk değişimine göre karar verilmektedir. Pilot tesisin akış şeması Şekil 3.3’de verilmiştir.

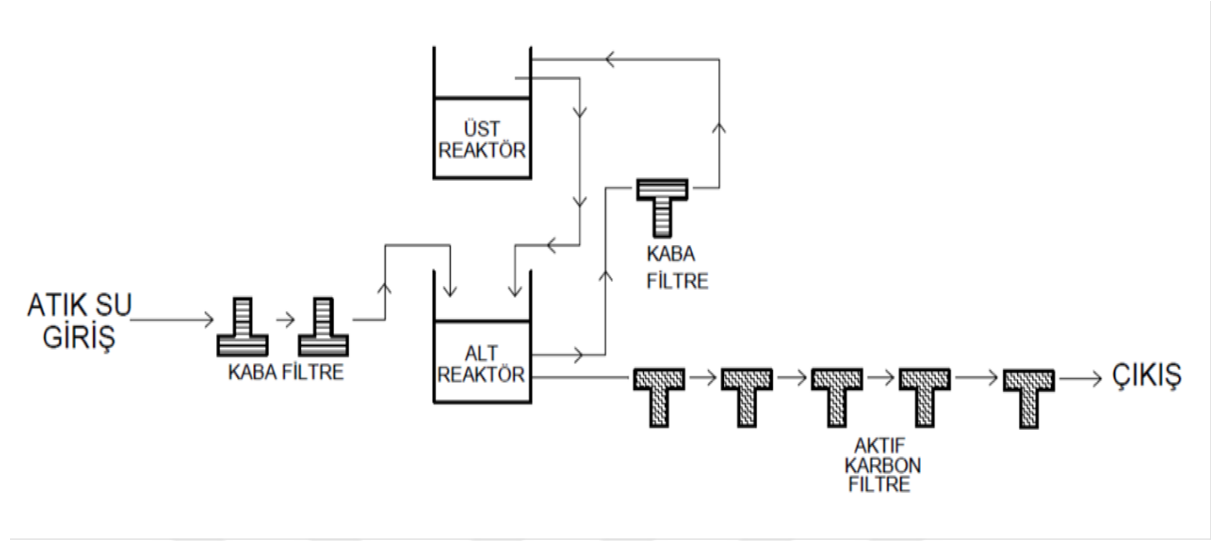


Şekil 3.2 Pilot ölçekli EO Arıtma Tesisi



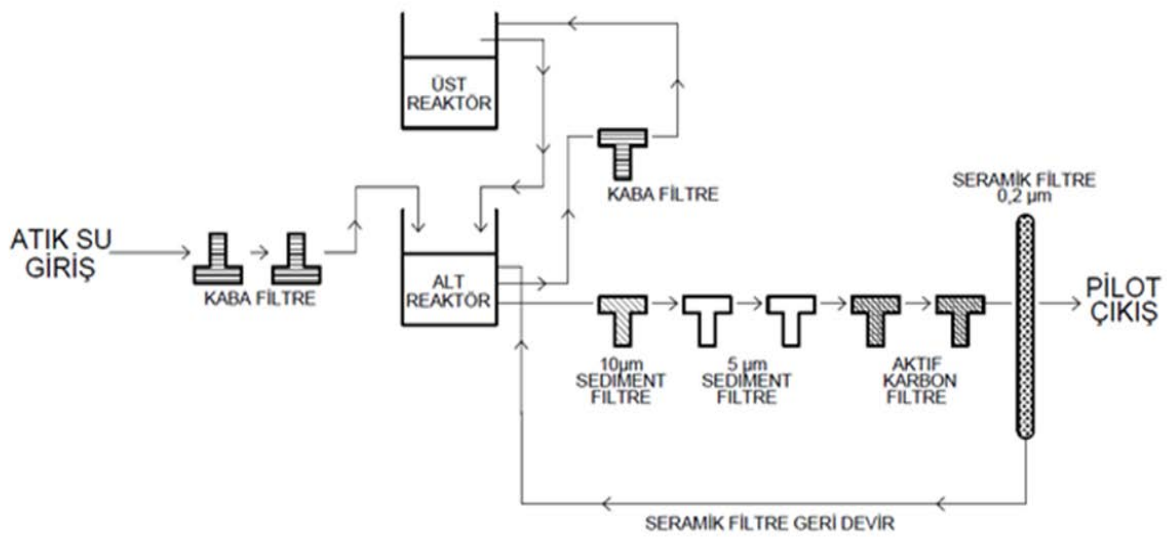
Şekil 3.3 EO+AK Pilot Tesis 1.Versiyon Akış Şeması

1. versiyonda istenilen renk giderimi sağlanamadığından sediment filtreler çıkarılarak yerine toplamda 5 adet olacak şekilde aktif karbon filtreleri eklenmiştir. Pilot tesisin 2.versiyonunun akış şeması Şekil 3.4’de verilmiştir.



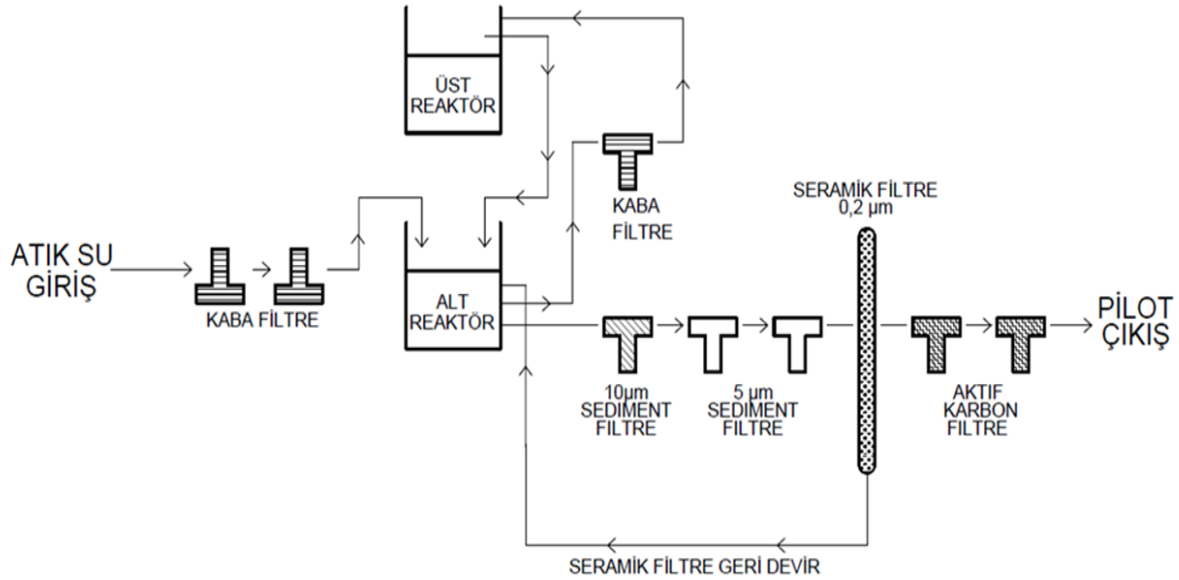
Şekil 3.4. EO+AK Pilot Tesis 2.Versiyon Akış Şeması

2.versiyonda da istenilen verim elde edilemediğinden tesis revize edilerek elektrotlar 14 grafit + 14 paslanmaz olacak şekilde değiştirilmiştir. Kapasitesi (200litre) ve kaba filtre (3 adet) sayısında değişiklik yapılmamıştır. Sediment filtre sayısı 3'e çıkarılmıştır. Sırasıyla 10 μ m-5 μ m-5 μ m'luk sediment filtreler kullanılmıştır. 2 adet küresel aktif karbon filtre sonrasında 0,2 μ m'lik seramik filtre eklenmiştir. Pilot tesisin 3.versiyonunun akış şeması Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.5 EO+AK Pilot Tesis 3.Versiyon Akış Şeması

3.versiyonda yapılan çalışmalarda paslanmaz elektrotların grafit elektrotlar kadar verimli çalışmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle tesisteki elektrotların tamamı grafit olacak şekilde tekrar değiştirilmiştir. Kapasitesi (200 litre) ve kaba filtre (3 adet) sayısında değişiklik yapılmamıştır. Numunelerde renk giderim verimini arttırmak için; tesisin filtre sıralaması değiştirilerek seramik filtre aktif karbon öncesine alınmıştır. Pilot tesisin 4.versiyonunun akış şeması Şekil 3.6' da verilmiştir.

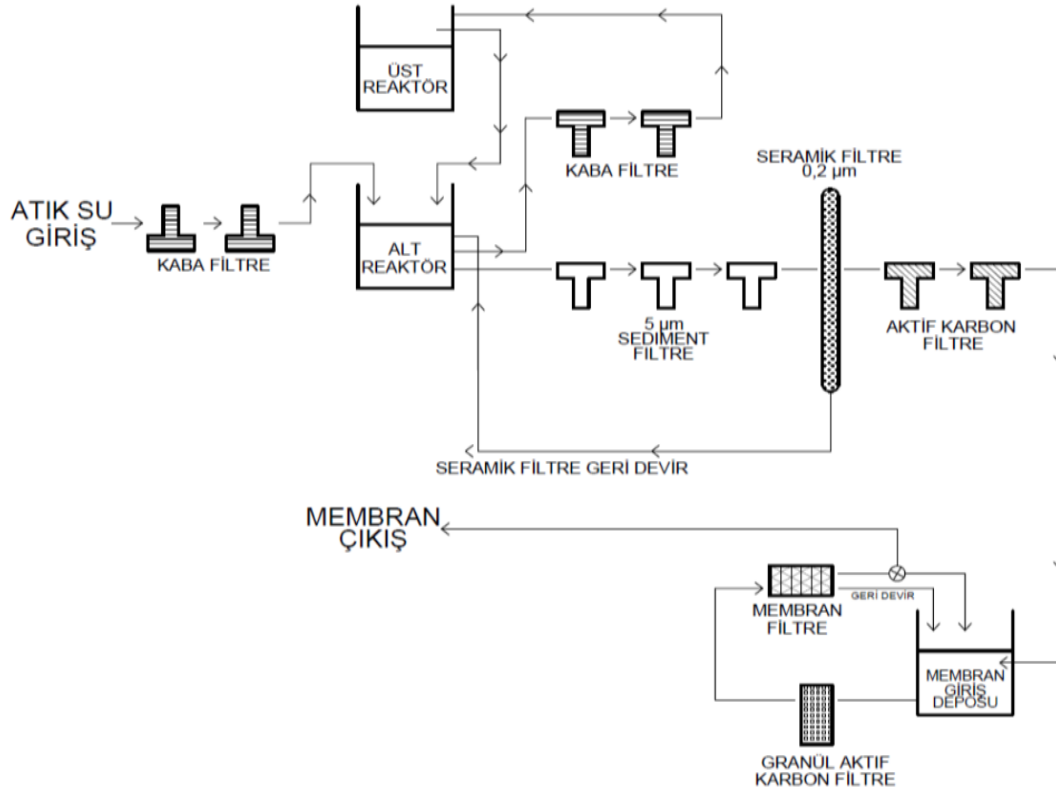


Şekil 3.6. EO+AK Pilot Tesis 4.Versiyon Akış Şeması

3.6 Pilot Ölçekli Elektrooksidasyon+Aktif Karbon+Nanofiltrasyon Membran Arıtma Sistemine Ait Teknik Bilgiler

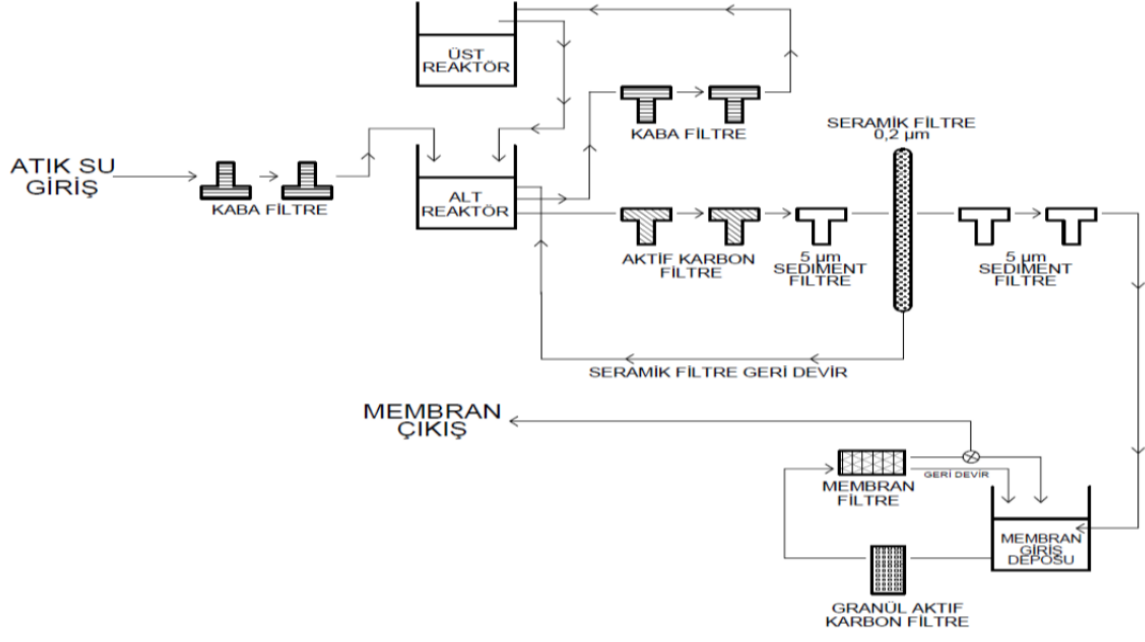
GAOSB'de faaliyet gösteren ve yoğun su tüketimine sahip tekstil firmalarında pilot ölçekli çalışmalar EO+AK+NF membran prosesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9). Bu sistemin temel amacı, tuz geçirimi yüksek bir NF membran kullanılarak su ve tuzu eş zamanlı geri kazanıp boya banyo sularında ilave su ve tuz kullanımını azaltmaktır. Pilot ölçekli çalışmada; GAOSB'de bulunan tekstil firmalarının boya banyolarından oluşan atıksulardan grafit elektrotlar kullanılarak KOİ ve renk parametrelerinde giderim verimleri incelenmiştir. Tesis kapasitesi 200 litre olup 4 adet kaba filtre, 2 adet reaktör haznesi, 28 adet grafit elektrot (14 anot + 14 katot), 2 adet granül aktif karbon, 0,2 µm'lik seramik filtre, 3 adet 5 µm'lik sediment filtreden oluşmaktadır. Üst üste yerleştirilmiş 2 haznede kendi arasında devridaim ettirilen atıksu geçişi debimetre ile kontrol edilmekte ve tesisin çalışma süresine atıksuyun zamana bağlı renk değişimine göre karar verilmektedir. Elektrooksidasyon+aktif karbon prosesinde arıtılan atıksu tuz geçirimi yüksek nanofiltrasyon

membrandan geçirilmektedir. Tuz içeriği yüksek olan su geri kazanılarak kumaş boyamada kullanılmıştır. Tesisin akım şeması Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 EO+AK+NF Pilot Tesis Akım Şeması

Seramik filtreden suyun geçmemesi sebebiyle kartuş filtrelerin yerleri değiştirilmiştir. Yapılan değişiklik ile yeni sıralama; 1 adet sediment filtre(5µm'luk) + 2 aktif karbon filtre + seramik filtre + 2 sediment filtre (5µm'luk) şeklindedir. Seramik filtre ve sonrasında geçen numune miktarı az olduğundan pilot çıkış olarak (membran giriş numunesi) 1 sediment+ 2 aktif karbon filtreden çıkan numune kabul edilmiştir. Şekil 3.8’de yeni akım şeması verilmiştir.



Şekil 3.8 EO+AK+NF Pilot Tesis Akım Şeması



Şekil 3.9. Pilot ölçekli EO+AK+NF Membran Arıtma Tesisi

3.7 Kumaş Boyama Prosedürü

Tekstil endüstrisi atıksuyundan geri kazanılan safsızlıkları alınmış ve uygun alkaliniteye getirilmiş tuzlu su, pamuk/viskon boyama işleminin kalitesi üzerine test edilecektir. Kumaş boyama testleri Alman Standardizasyon Enstitüsü tarafından belirlenen DIN 5033 standardına göre yapılmıştır. Geri kazanılan suyla boyamanın temel adımları aşağıdaki gibidir:

- Arıtma sonrası pH aralığın dışındaysa 6.5-7.0 aralığına ayarlanır,
- Çektirme yöntemi ile reaktif boyama yapılmış olup 2.5–3 saat yüksek sıcaklıkta (90 °C) gerçekleştirilmiştir. Boya banyosuna boyalar ve diğer yardımcı maddeler eklenerek boya banyosu 60 dakika süreyle 60 °C'ye ısıtılmıştır. Daha sonra geri kalan alkali eklenmiş ve 90 dakika daha işleme devam edilmiştir.

- Örnekler normal su ile yıkanarak 100 °C'de 5 dakika fırında kurumaya bırakılmıştır.
- Numuneler arasındaki renk varyasyonu bir spektrofotometre (HiTech, Data Color, 600, İsviçre) ile analiz edilmiştir.

Numunenin standart boyama da olup olmadığı için spektrofotometre ΔE değerine göre doğrudan nihai sonucu sağlar. ΔE değeri 0 ile 100 aralığında değişim gösterebilir. Ancak tekstil için kabul edilebilir ΔE değeri 1.00'dir. ΔE değeri ≤ 1 bulunursa, insan gözü tarafından görülemediği anlamına gelir. ΔE değeri 1–2 arasında ise, insan gözü tarafından görünür olduğu anlamına gelir. EO+AK+NF prosesiyle arıtılmış su, açık ve koyu tonlardaki boyalar kullanılarak kumaş boyamada ki etkinliği test edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Laboratuvar Ölçekli Elektrokimyasal Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

Bilindiği gibi elektrokimyasal arıtmada elektrot cinsi en önemli parametredir. Bu nedenle tekstil boya banyosu atıksularının laboratuvar ölçekli arıtım çalışmalarında aktif karbon kumaş ve grafit elektrotlar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara ait detaylar aşağıda verilmiştir.

4.1.1 Aktif Karbon Kumaşın Elektrot Olarak Kullanılması

Bu çalışmada, tekstil boya banyosu atık sularının elektrooksidasyon işlemi ile arıtılmasının performansı ve fizibilitesi araştırılmıştır. Akım yoğunluğunun ($50-150 \text{ A/m}^2$), çalışma süresinin (0-90 dakika) ve atık suyun pH'sının (6-11) KOİ ve renk giderimi üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, EO sürecinin işletme maliyeti ve enerji tüketimi de araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan tekstil boya banyosu atık sularının karakterizasyonu Tablo 4.1 'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Tekstil Boya Banyosu Atık Sularının Karakterizasyonu

Numune tarihi	pH	İletkenlik(mS/cm)	Renk (Pt-Co)	Klorür(mg/L)	KOİ (mg/L)
05.01.2020	11.1	160	3320	4254	5312
15.01.2020	11.0	155	3300	4500	5300
30.01.2020	11.3	162	3330	4375	5305
05.02.2020	11.5	158	3325	4450	5325

Anot/katot elektrot çiftleri olarak aktif karbon kumaş kullanılmıştır. Elektrotlar Norm Technologies firmasından (Türkiye) temin edilmiştir. Anot/katod elektrot çiftlerinin boyutları 5 cm genişlik x 8 cm yükseklik x 1 mm kalınlık, toplam etkin alan 40 cm^2 ve elektrotlar arası mesafe 2 cm olacak şekilde düzenlenmiştir. Pozitif ve negatif çıkışlara bağlı anod ve katodu ayarlamak için DC güç kaynağı (AATech ADC-3303D, maksimum akım 30 A) kullanılmıştır. Akım yoğunluğunun ve atıksu pH'ının KOİ, renk, klorür ve iletkenlik giderme verimleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

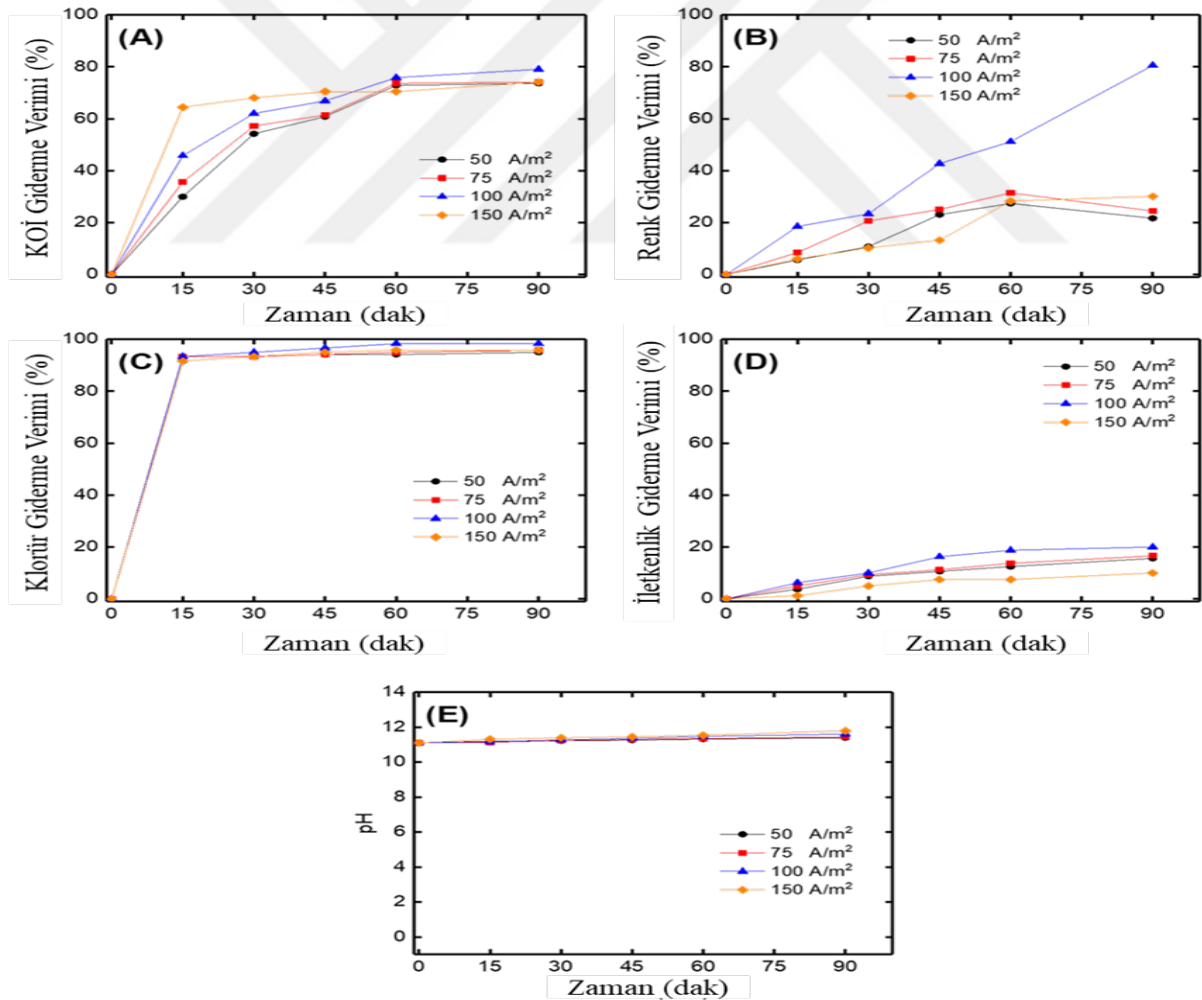
- Akım yoğunluğunun giderim verimliliğine etkisi

Elektrokimyasal reaktör farklı akım yoğunluğu ($50, 75, 100, 150 \text{ A/m}^2$) koşullarında çalıştırılmıştır. Sonuçlar, akım yoğunluğu arttırıldığında KOİ, renk, klorür, iletkenlik giderme verimlerinin etkilendiğini göstermiştir. KOİ ve renk giderme verimleri, $50-150 \text{ A/m}^2$ akım yoğunluğu için sırasıyla %73.6–79.1 (Şekil 4.1A) ve %21.7–80.6 (Şekil 4.1B) aralığında değişim göstermiştir. Klorür ve iletkenlik giderme verimleri, $50-150 \text{ A/m}^2$ akım yoğunluğu için sırasıyla %95.0–98.3 (Şekil 4.1C) ve %10.1–20.2 (Şekil 4.1D) aralığında değişmiştir. Uygulanan akım yoğunluğu 50'den 150

A/m²'ye yükseltildiğinde atıksuyun pH değeri 11.40'tan 11.79'a yükselmiştir (Şekil 4.1E). Sonuçlar, uygulanan akım yoğunluğu 150 A/m²'ye ulaştığında KOİ ve renk giderme verimlerinin azaldığını ve hipokloritin elektrojenasyon hızının azaldığını göstermiştir. Klorürlerin aracılı oksidasyon için en yaygın türler olduğu iyi bilinmektedir ve Denklem 1 de reaksiyonuna göre tekstil boya banyosu atıksuyu kolaylıkla hipoklorite dönüştürülebilen klorürler içerir (Sirés ve diğerleri, 2014).



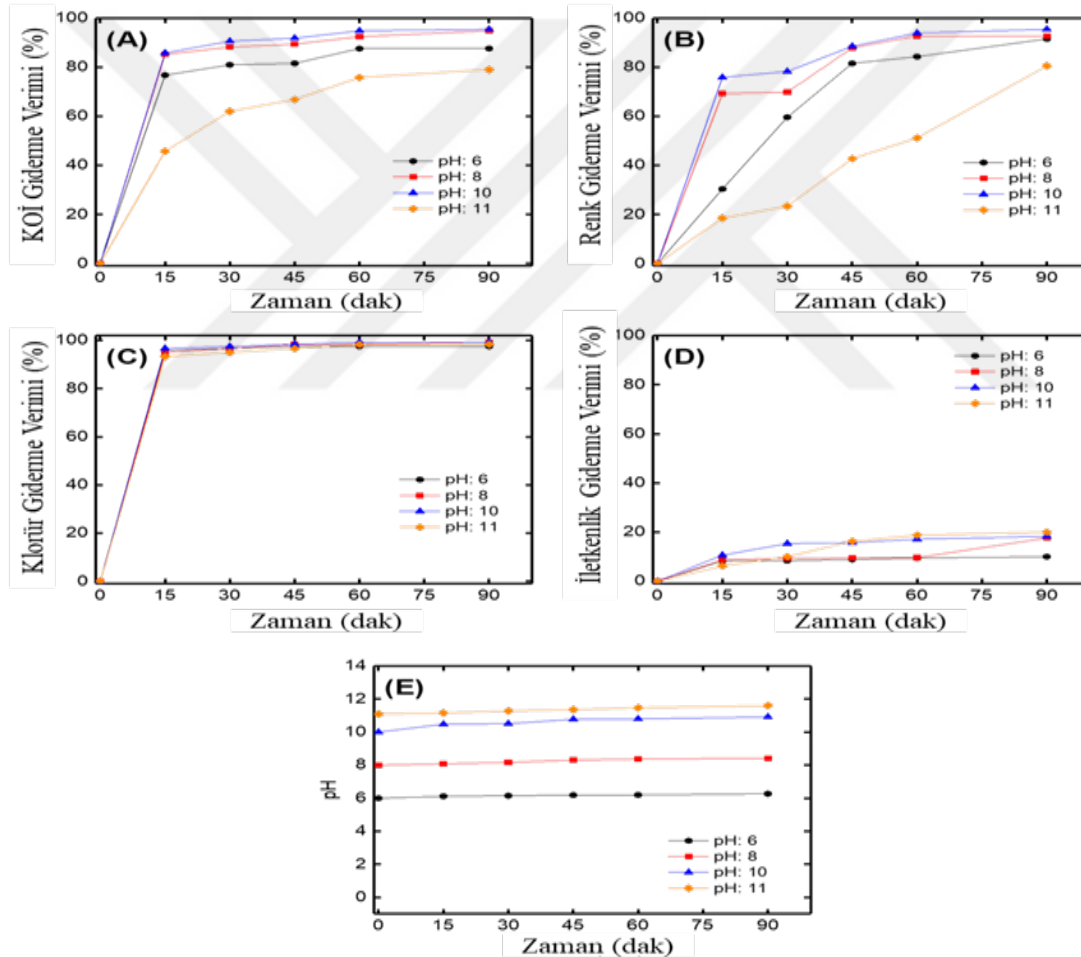
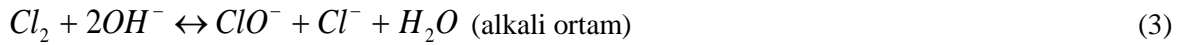
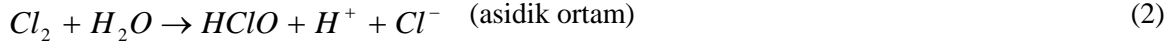
Bu nedenle, Denklem (1)'deki yan reaksiyon daha yüksek bir voltaj uygulandığında katotta oluşmaya başlar. Suyun pH'sı yüksek olması nedeni ile Hipoklorit (ClO⁻) ana ürün klor (Cl₂) gazı çıkışı da söz konusudur. Bu reaktif türler, birçok organik bileşikle hızlı reaksiyona girme ve mineralizasyonlarını artırma eğilimindedir. Reaksiyon sonunda reaksiyon ortamında herhangi bir çamur oluşumu gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.1 Akım yoğunluğunun (A) KOİ, (B) renk, (C) klorür, (D) iletkenlik giderme verimliliği üzerindeki etkisi ve (E) pH'ın reaksiyon sırasında zamana göre değişimi.

- pH'ın Giderim Verimliliğine Etkisi

Elektrokimyasal reaktör, farklı pH (6, 8, 10 ve 11 (orijinal)) koşulları altında çalıştırılmıştır. Sonuçlar, çözelti pH'ının artmasıyla KOİ, renk, klorür, iletkenlik giderme verimlerinin etkilendiğini göstermiştir. KOİ ve renk giderme verimleri, sırasıyla 6-11 çözelti pH'ında %87.6–95.5 (Şekil 4.2A) ve %80.6–95.5 (Şekil 4.2B) aralığında artmıştır. Klorür ve iletkenlik giderme verimleri, sırasıyla 6-11 çözelti pH'ında %97.5–99.2 (Şekil 4.2C) ve %10.0–20.2 (Şekil 4.2D) aralığında artmıştır. Çözelti pH'ı 6'dan 11'e yükseltildiğinde pH 6.27'den 11.60'a yükselmiştir (Şekil 4.2E).

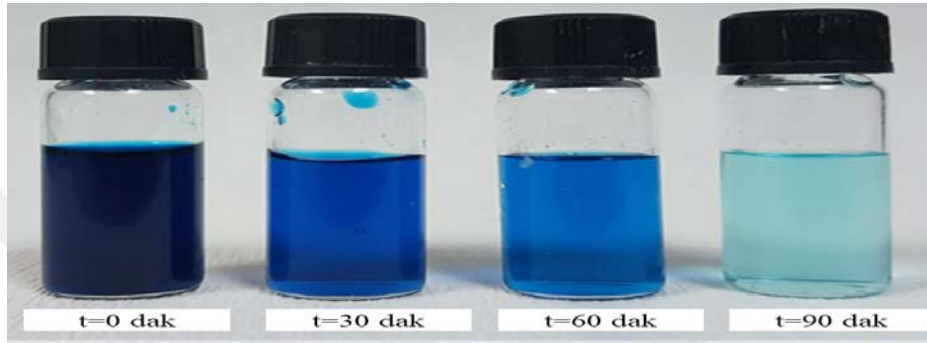


Şekil 4.2. Çözelti pH'ının (A) KOİ, (B) renk, (C) klorür, (D) iletkenlik giderme verimliliği üzerindeki etkisi ve (E) pH'ın reaksiyon sırasında zamana göre değişimi.

HOCl iyonik türlerin %84'ü pH 6.8'de, %0.34'ü ise pH 10'da bulunur. pH 10'da birincil tür ClO⁻ iyonudur (Niedz ve Bausher, 2002). Çalışmada düşük pH değerlerinde (pH=6) yüksek pH değerlerine göre daha düşük KOİ ve renk verimleri elde edilmiştir. Oksidasyon veriminin düşmesi

düşük pH değerlerinde HOCl türlerinin iyonlaşmasının azalmasıyla açıklanabilir reaksiyonu pH 7.5 da her iki tür de ortamda aynı konsantrasyonda mevcuttur ($pK_a=7.5$). pH 8'den 6'ya düştüğünde, H^+ iyonları reaksiyon ortamında tekrar kolayca bulunur ve ClO^- iyonları, klorun iyonize olmayan formu olan HOCl'ye geri döner. Böylece, iyonize olmamış klorun mevcut oksidantı azaltmış ve KO_2 ve renk giderme verimlerini olumsuz etkilemiştir

Arıtılmış tekstil boya banyosu atık sularının fotoğrafları Şekil 4.3'de gösterilmektedir. 90 dakikalık elektrooksidasyondan sonrasında renk yoğunluğu önemli ölçüde azalmıştır.



Şekil 4.3. Arıtılmış Tekstil Boya Banyosu Atık Sularının Zamana Karşı Fotoğrafları

4.1.2 Grafitin Elektrot Olarak Kullanılması

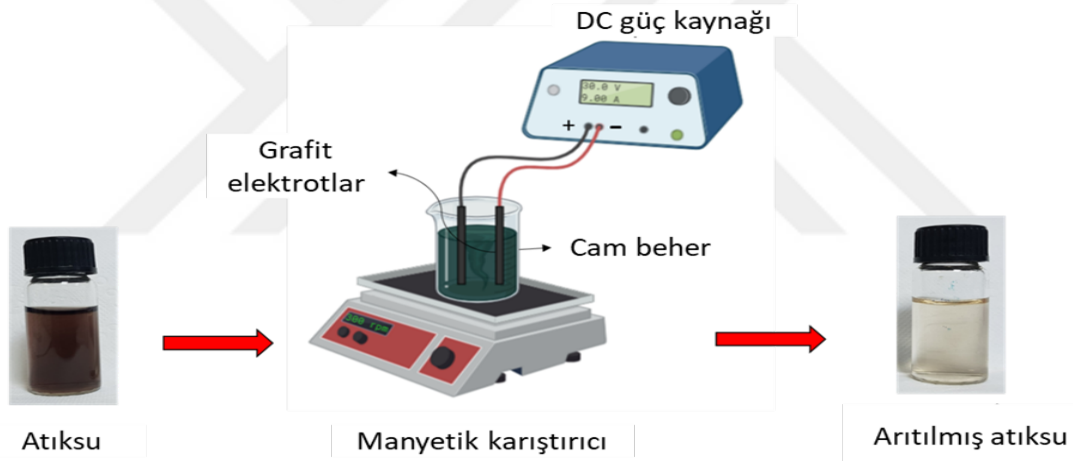
Bu çalışmada, deneyleri tasarlamak için merkezi kompozit tasarım (CCD) kullanılmıştır. Ayrıca, elektrooksidasyon sürecini modellemek ve optimize etmek için yapay sinir ağı (ANN) kullanılmıştır. ANN, ilişkinin doğası hakkında herhangi bir ön bilgi olmaksızın, etkileyen faktörler ve önerilen yanıtlar arasında doğrusal olmayan bir ilişki oluşturma avantajına sahip bir modelleme tekniğidir (Elfghi, 2016). Tasarım matrisi ve RSM'den elde edilen nihai pH değerleri, bir yapay sinir ağı oluşturmak için kullanılmıştır. Bu şekilde, modelleme sonuçları daha kesin bir tahmine sahip olmuştur. Böylece, iki yöntemden elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Son olarak, elyaf kumaş boyama atıksularının grafit elektrotlar ile optimum koşullarda elektrooksidasyonunun işletme maliyeti analiz edilmiştir.

Çalışmada kullanılan elyaf boya banyosu atık sularının karakterizasyonu Tablo 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4.2. Elyaf Boya Banyosu Atık Sularının Karakterizasyonu

Parametre	Birim	Değer
KOİ	mg/L	833
AKM	mg/L	12
pH	-	6.9
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	3030
Renk	Pt-Co	2213
Klorür	mg/L	1451

Anot/katod elektrot çiftleri olarak grafit kullanılmıştır. Anot/katod elektrot çiftlerinin boyutları 5 cm genişlik x 8 cm yükseklik x 2 mm kalınlık, toplam etkin alan 40 cm^2 ve elektrotlar arası mesafe 2 cm olacak şekilde düzenlenmiştir. Pozitif ve negatif çıkışlara bağlı anot ve katodu ayarlamak için DC güç kaynağı (AATech ADC-3303D, maksimum akım 30 A) kullanılmıştır (Şekil 4.4). Akım yoğunluğunun ve atıksu pH'nın KOİ, renk, klorür ve iletkenlik giderme verimleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



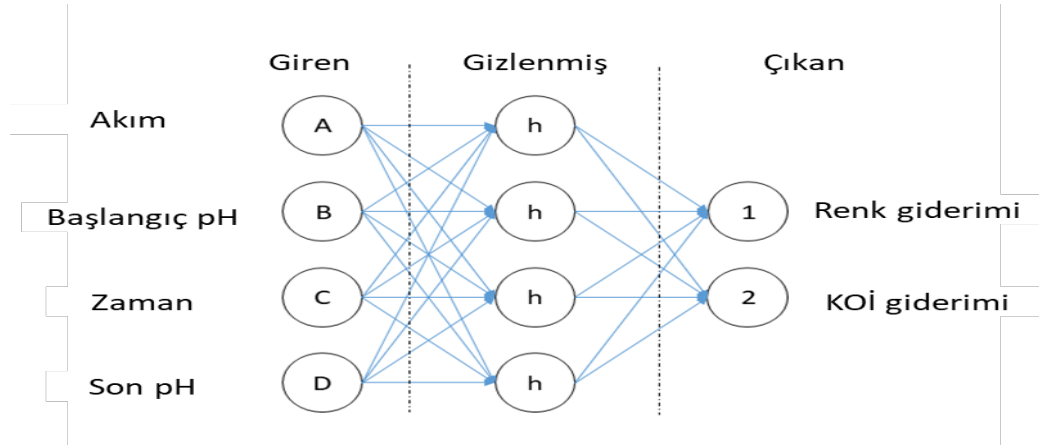
Şekil 4.4 Elektrooksidasyon Deneyleri İçin Kullanılan Deney Düzeneği

Faktörlerin aralıkları birçok kritere göre seçilmiştir. Tablo 4.3, değişkenleri ve aralıklarını göstermektedir. Toplamda, parametre değişikliklerinin KOİ ve renk üzerindeki etkilerini izlemek için 20 deney gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.3. Bağımsız Değişken Aralıkları

Değişken	Birim	Faktör	Düşük	Yüksek	$-\alpha$	$+\alpha$
Akım	A/m^2	A	50	150	15.91	184.09
pH	-	B	5	9	3.64	10.36
Zaman	Min	C	60	120	39.55	140.45

ANN modellemesi, deneylerin sonunda pH değerleri kullanılarak RSM ile entegre edilmiştir. Tasarlanan ANN Şekil 4.5 de gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Tasarlanan ANN modeli

- Renk giderimi

Bağımsız değişkenlerin renk giderme üzerindeki etkisini incelemek için CCD kullanılmıştır. Sonuçlar lineer, 2FI, kuadratik ve kübik modeller ile test edilmiştir. Regresyon katsayılarına dayalı olarak, sonuçları temsil etmek için doğrusal model seçilmiştir. Test edilen modeller için regresyon katsayıları Tablo 4.4’de gösterilmektedir.

Tablo 4.4. Test Edilen Modeller İçin Regresyon Katsayıları

Kaynak	Sıralı p-değeri	Uyum eksikliği p-değeri	Ayarlanmış R ²	Tahmin edilen R ²
Lineer	1.22E-10	0.11	0.94	0.91
2FI	0.18	0.13	0.95	0.87
Kuadratik	0.50	0.10	0.95	0.82
Kübik	0.62	0.02	0.94	-1.77

Geliştirilen modelin tahmin yeteneği de varyans analizi (ANOVA) ile incelenmiştir. Tablo 4.5'e göre model büyük bir F değerine (101.97) ve 0.0001'den küçük bir p değerine sahiptir. Bu değerler modelin anlamlı olduğunu ve renk giderme tahmininde kullanılabileceğini göstermektedir. Model, fark 0.20'den az olduğu için 0.94'lük ayarlanmış R² ile makul bir şekilde uyumlu olan 0.91 tahmini bir R²'ye sahiptir. Ayrıca 31.42 model oranı 4'ten büyük olduğu için model yeterli bir tahmine sahiptir.

Tablo 4.5. Renk giderme için ANOVA ve uyumsuzluk testleri sonuçları

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama	F-değeri	p-değeri
Model	250.11	3.00	83.37	101.97	1.22E-10
A-Akım	146.76	1.00	146.76	179.50	4.10E-10
B-pH	1.63	1.00	1.63	1.99	0.18
C-Zaman	101.72	1.00	101.72	124.42	5.88E-09
Artık	13.08	16.00	0.82	-	-
Uyumsuzluk	11.45	11.00	1.04	3.19	0.10
Saf hata	1.63	5.00	0.33	-	-

Renk giderme verimi denklem 4 kullanılarak tahmin edilebilir

$$\text{Renk Giderimi (\%)} = 74.99 + 0.07 * \text{Akım} - 0.17 * \text{pH} + 0.09 * \text{Zaman} \quad (4)$$

- KOİ giderimi

Elektro-oksidasyon yöntemiyle KOİ giderimi de CCD yöntemiyle incelenmiş ve modellenmiştir. Deneysel sonuçlar doğrusal, 2FI, ikinci dereceden ve kübik modellere uyarlanmıştır. İkinci dereceden model en yüksek regresyon değerlerine sahip olmuştur. (Tablo 4.6). İkinci dereceden model, 0.97'lik ayarlanmış bir R²'ye sahipken, tahmin edilen R² 0.95'e sahiptir. İkinci dereceden model, 44.12 oranıyla yeterli kesinliğe sahiptir.

Tablo 4.6. KOİ giderme için test edilen modeller için regresyon katsayıları

Kaynak	Sıralı p-değeri	Uyum eksikliği p-değeri	Ayarlanmış R ²	Tahmin edilen R ²
Lineer	0.16E-03	0.20E-03	0.65	0.50
2FI	0.96	0.11E-03	0.58	0.46
Kuadratik	5.53E-07	0.07	0.97	0.91
Kübik	0.50	0.02	0.97	-0.23

KOİ giderme modeli için varyans analizi testi (ANOVA) da uygulanmıştır. Model, sırasıyla 138.01 ve <0.0001 F değeri ve p değeri ile anlamlı bulunmuştur. Model, uyumsuzluk testi ile de incelenmiştir. F-değerine (4.62) göre, model uyum açısından iyi olup uyum eksikliği anlamlı değildir (Tablo 4.7).

Tablo 4.7 KOİ giderimi için ANOVA ve uyum eksikliği testleri sonuçları

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama	F-değeri	p-değeri
Model	4857.24	4.00	1214.31	138.01	1.22E-11
A-Akım	3181.33	1.00	3181.33	361.56	6.55E-12
B-pH	181.63	1.00	181.63	20.64	0.39E-03
C-Zaman	161.60	1.00	161.60	18.37	0.65E-03
A ²	1332.68	1.00	1332.68	151.46	3.06E-09
Artık	131.98	15.00	8.80	-	-
Uygunsuzluk	119.10	10.00	11.91	4.62	0.05
Saf hata	12.89	5.00	2.58	-	-

- ANN sonuçları

Renk ve KOİ giderimini tahmin etmek için kullanılan ANN Şekil 21’de gösterilmiştir. Geliştirilen ANN, Levenberg Marquardt (LM) algoritması ile bir dönüşüm fonksiyonu olarak log sigmoidal ile test edilmiştir (Hammoudi ve ark., 2019). Tablo 4.8, ağın performansını ve farklı göstergelere dayalı hata hesaplamasını göstermektedir.

Tablo 4.8 Renk ve KOİ giderme modelleri için performans göstergesi

Performans	Renk giderimi		KOİ giderimi	
	RSM	ANN	RSM	ANN
MSE	0.65	0.15	6.6	1.24
RMSE	0.81	0.39	2.56	1.11
MAPE	0.73	0.26	4.71	0.93
R ² tahmin edilen	0.91	0.98	0.95	0.97

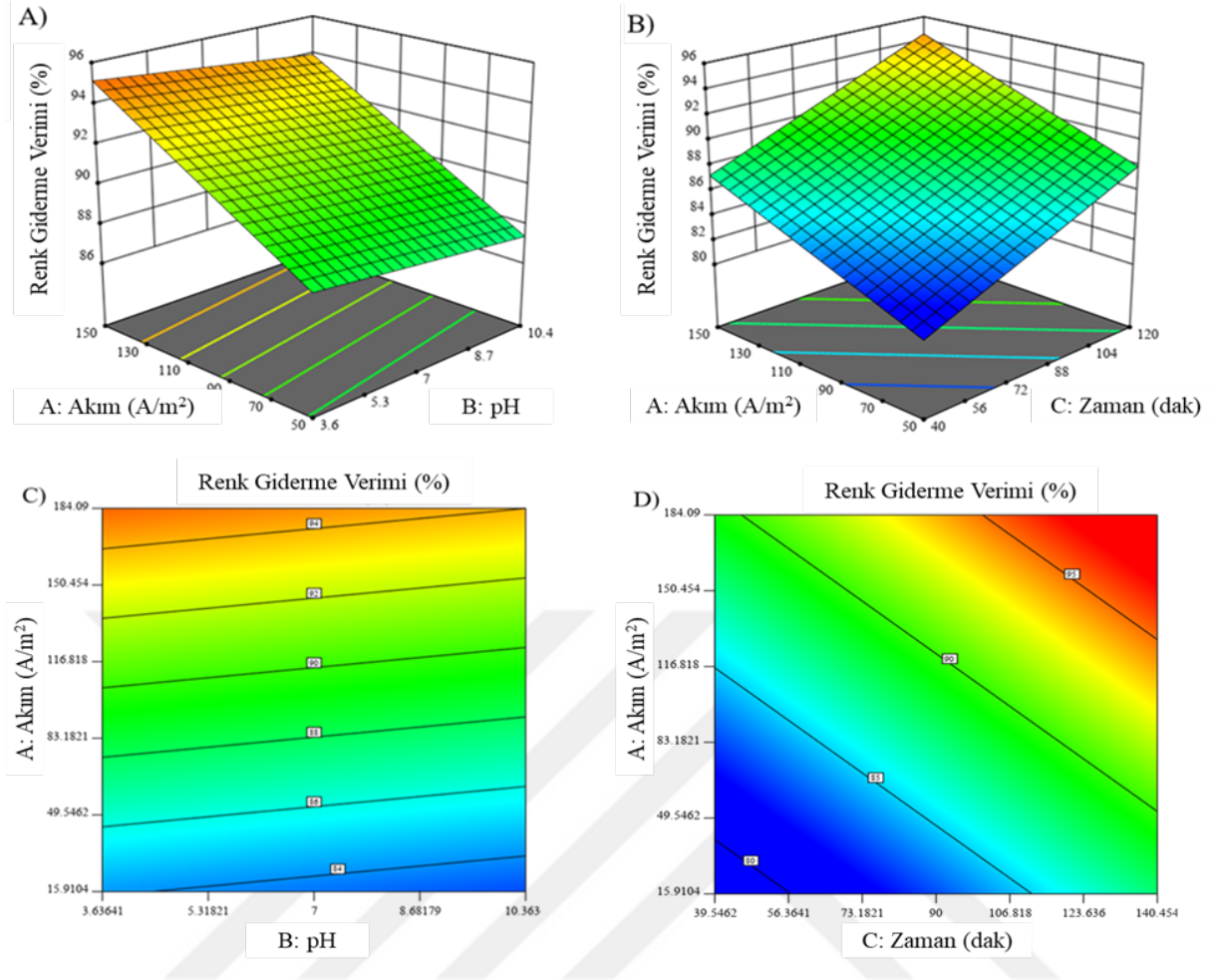
ANN modelleri (renk ve KOİ) için MSE ve RMSE, RSM modellerinden daha düşüktür. Daha düşük değer, daha yüksek tanımlama ve tahmin yetenekleri anlamına gelir (Gadkar ve Ahammed, 2019). MAPE testi, modelin doğruluğunu belirlemeye yönelik bir yöntemdir (Mohamed, 2019). MAPE için daha düşük değerler uygundur ve modelin daha doğru olduğu anlamına gelir. Bu durumda ANN modelleri daha düşük değerlere sahip ancak daha yüksek regresyon katsayılarına (R²) sahiptir (Saleh ve ark., 2019). Modellerin elektrooksidasyon sürecini tanımlamada doğrulanmasını sağlamak için modelleme işleminden önce ve sonra deneyler yapılmıştır. Deneysel sonuçlar ve modellenen sonuçlar Tablo 4.9’da gösterilmektedir.

Tablo 4.9. Deney sonuçları ve beklenen veriler arasındaki tasarım matrisi

Deney	Akım (A/m ²)	pH	Zaman (dk)	Renk giderim verimi (%)			KOİ giderim verimi (%)		
				Deneysel	RSM	ANN	Deneysel	RSM	ANN
1	100.00	10.36	90.00	88.61	87.94	88.80	52.89	56.58	52.88
2	15.91	7.00	90.00	81.92	83.01	82.48	8.26	10.10	8.31
3	100.00	7.00	90.00	88.34	88.52	88.37	59.80	62.72	62.64
4	100.00	7.00	90.00	88.40	88.52	88.37	62.81	62.72	62.64
5	50.00	5.00	120.00	88.39	88.32	88.14	43.18	45.01	43.18
6	100.00	7.00	90.00	88.32	88.52	88.37	62.81	62.72	62.64
7	150.00	9.00	60.00	89.38	88.73	89.37	62.00	61.36	61.37
8	50.00	5.00	60.00	82.83	82.86	82.44	44.63	38.13	48.41
9	150.00	5.00	120.00	96.60	94.88	96.59	77.69	75.54	77.69
10	150.00	5.00	60.00	90.06	89.42	89.68	67.98	68.66	67.98
11	100.00	7.00	39.55	82.91	83.93	82.80	58.68	56.93	58.66
12	184.09	7.00	90.00	92.91	94.04	92.80	59.71	61.43	59.71
13	100.00	7.00	90.00	88.36	88.52	88.37	64.81	62.72	63.45
14	100.00	3.64	90.00	88.79	89.11	89.29	63.84	68.85	63.81
15	50.00	9.00	60.00	82.83	82.17	82.55	28.72	30.84	28.85
16	50.00	9.00	120.00	88.48	87.63	88.33	40.29	37.72	40.27
17	100.00	7.00	90.00	88.34	88.52	88.37	62.81	62.72	62.64
18	100.00	7.00	140.45	92.50	93.11	92.51	69.42	68.50	69.38
19	150.00	9.00	120.00	92.77	94.19	92.76	71.07	68.24	71.07
20	100.00	7.00	90.00	89.75	88.52	88.37	62.81	62.72	62.64

- Parametre etkileri

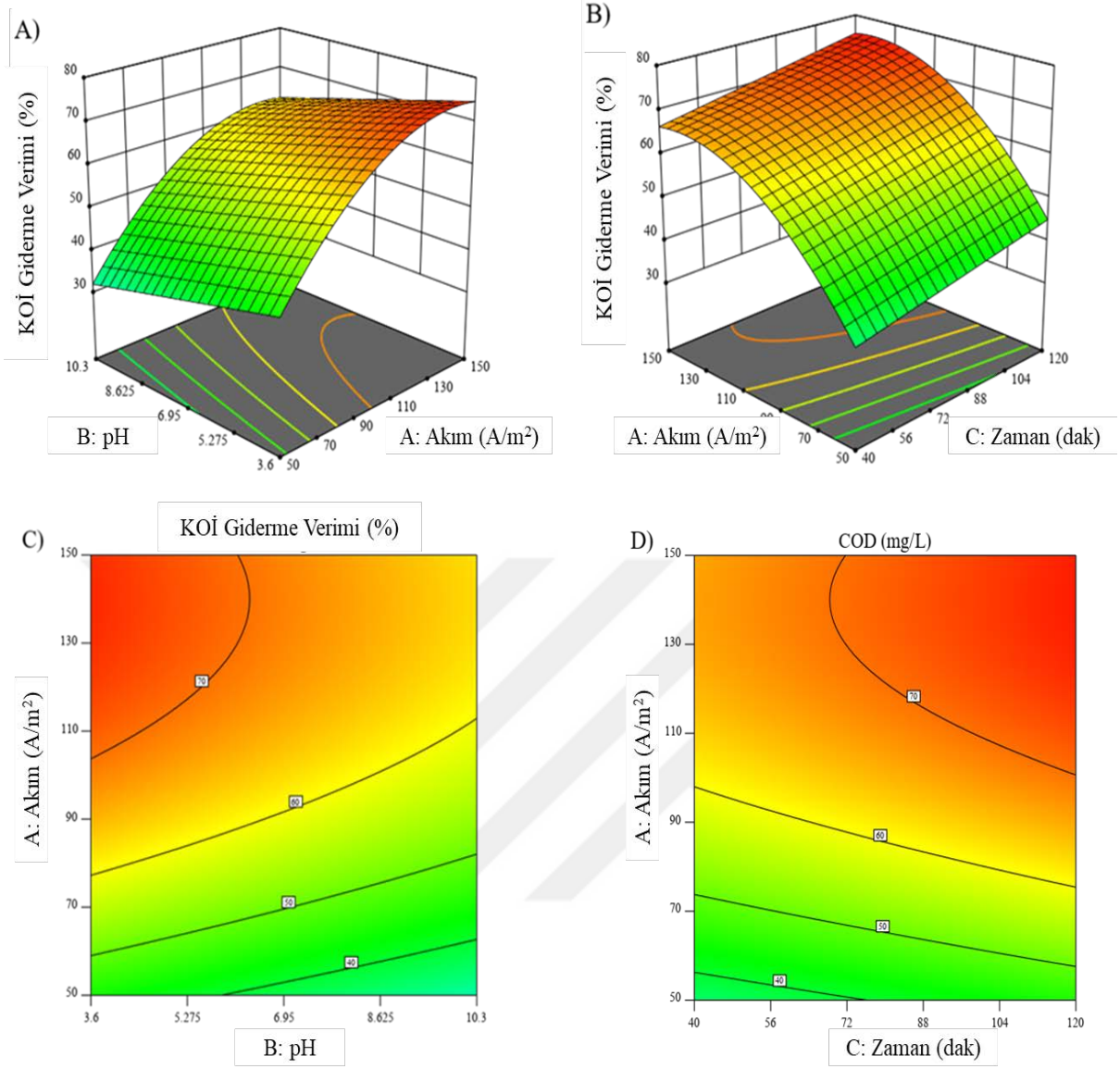
Akım yoğunluğu, pH ve zamanın elyaf kumaş boyama banyosu atık sularının elektrokimyasal oksidasyonu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elyaf kumaş boyama banyosu atıksuları çeşitli akım yoğunluklarına (50-150 A/m²) maruz bırakılmıştır. Akım yoğunluğu, renk giderme ile doğrusal orantılıdır (Şekil 4.6A ve 4.6B). Maksimum renk giderme verimi (%95) 150 A/m²'de meydana gelirken, minimum renk giderme verimi 50 A/m² akım yoğunluğunda %82 olmuştur. Şekil 4.6C ve 4.6D, akım, pH ve zamandaki değişikliklerle birlikte elektrooksidasyon işlemi kullanılarak rengin giderilmesi için kontur haritasını göstermektedir.



Şekil 4.6 (A) Akım ve pH etkileri için yüzey renk giderme verimi yanıtı, (B) Akım ve zaman için yüzey renk giderme verimi yanıtı, (C) Akım için kontur yanıtı ve renk giderme verimi üzerindeki pH etkileri, (D) Akım için kontur yanıtı ve renk giderme verimi üzerindeki zaman etkileri

KOİ'nin giderim verimliliği de akım yoğunluğu ile artmıştır (Şekil 4.7A). KOİ giderimi ile uygulanan akım arasındaki ilişkinin ikinci dereceden olduğu bulunmuştur (Şekil 4.7B). Daha yüksek akım yoğunluğunda maksimum KOİ giderim verimi %76 iken, daha düşük bir değerde minimum %31 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.7C). Tekstil atık suyu 1451 mg/L konsantrasyonda klorür içermekte olup reaksiyonun sonunda klorür konsantrasyonu 70 mg/L'ye azalmıştır.

Çalışma kapsamında pH etkisi de optimize edilmiştir. Farklı pH değerlerinde (5-9) farklı deneyler yapılmıştır. Renk ve KOİ'nin giderim verimlerinin pH ile ters ilişkilere sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.6C ve Şekil 4.7C). Renk ve KOİ için maksimum giderim pH 5'te, en düşük değerler ise pH 9'da bulunmuştur. Rengi ve KOİ'yi gidermek için gereken optimum süre 120 dakika olarak bulunmuştur (Şekil 4.6D ve Şekil 4.7D). Zamanın artması ile giderim verimleri de artmıştır. 60 dakikada, renk ve KOİ için giderme verimleri sırasıyla %89 ve %68 olarak tespit edilmiştir. Giderme verimi, 90 dakikada renk için %95'e ve KOİ için %76'ya ulaşacak şekilde artmıştır.



Şekil 4.7 (A) Akım ve pH etkileri için yüzey KOİ giderme verimi yanıtı, (B) Akım ve zaman için yüzey KOİ giderme verimi yanıtı, (C) Akım için kontur yanıtı ve KOİ giderme verimi üzerindeki pH etkileri, (D) Akım için kontur yanıtı ve KOİ giderme verimi üzerindeki zaman etkileri

Grafit elektrot ile tekstil atıksu arıtımı için optimum koşullar belirlenmiştir. Maksimum renk ve KOİ giderimi, 150 A/m² akım, pH 5 ve 120 dakika reaksiyon süresinde elde edilmiştir. Optimum koşullarda %96.6 renk giderimi ve %77.7 KOİ giderim verimi elde edilmiştir (Tablo 4.10). Tekstil atık suyunun grafit elektrotlar tarafından elektrooksidasyonu, atıksuyun SKKY deşarj kriterlerini karşılamak için rengi ve KOİ'yi başarılı bir şekilde giderdiği görülmüştür.

Tablo 4.10 Farklı parametreler için başlangıç, son ve standart değerler

	Birim	Başlangıç değeri	Son değer	Standart
Renk	Pt-Co	2213	75.2	260
pH	-	6.9	6.5	6-9
KOİ	mg/L	833	185.8	200

4.2 Pilot Ölçekli Elektrooksidasyon+Aktif Karbon (EO+AK) Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

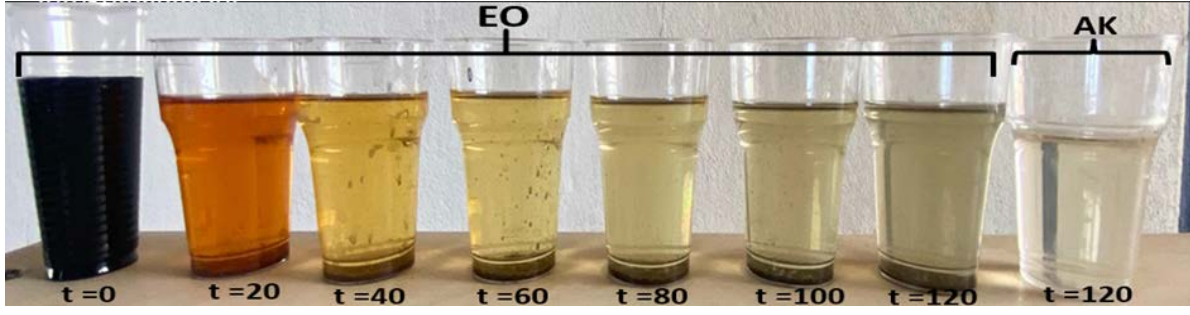
Pilot ölçekli elektrooksidasyon+aktif karbon (EO+AK) tesisi, 4 farklı firmada işletilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda detaylı olarak sunulmuştur. Boya banyosu atıksularının sürekli EO+AK sisteminde arıtılması sırasında suyun sıcaklığı yaklaşık olarak 2-3 °C yükselebilir. Suyun sıcaklığının yükselmesi membranın akısını arttıracığı için bir avantajdır. Ancak sıcaklığın çok yükseldiği durumlarda kontrol edilebilmesi için EO reaktörüne bir soğutma ceketini ilave edilebilir. Bir diğer yöntem ise sistemin 60 dk açık/10 dk kapalı olarak çalıştırılmasıdır.

Bir diğer konu ise özellikle koyu renkli reaktif boyaların tek başına arıtılması yerine firmadaki diğer proseslerden kaynaklanan suların birlikte arıtılmasıdır. Bu nedenle işletmenin boya banyo hatlarının buna göre düzenlenmesi ve dengeleme havuzunda ilk boya banyo sularının toplanıp karıştırılarak EO sistemine beslenmesi gerekebilir.

İşletme sırasında EO sisteminde elektrotların kopması, elektrik kaçaklarının olması, mekanik arızaların olması, membranların tıkanması gibi problemler meydana gelebilir. Bu problemlerin çözümü için tesisin aylık rutin bakım ve onarımlarının yapılması gerekmektedir.

- 1. Deneme

Firmanın faaliyet konusu yuvarlak örgü kumaş boyama üzerine olup reaktif boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı 240 m³/gün ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu 1707.8 m³/gün'dür. Pilot tesis işletme verileri: 3.4 V akım, 1000 A güç, süre 120 dk, harcanan enerji 12 kW'dır. Numune rengi opak siyahtır. Kullanılacak atıksu numunesi çok yoğun olduğundan numune yarı yarıya seyreltilmiş, pilotun akış şemasından sediment filtreler çıkarılarak yerine 3 adet aktif karbon filtre eklenmiştir (2.versiyon akım şeması Şekil 3.4). Arıtım sonucu Şekil 4.8'de gösterilmektedir. 120. dakikaya kadar olan numuneler 20 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden geçirilmiş numuneye aittir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.11'de verilmiştir.



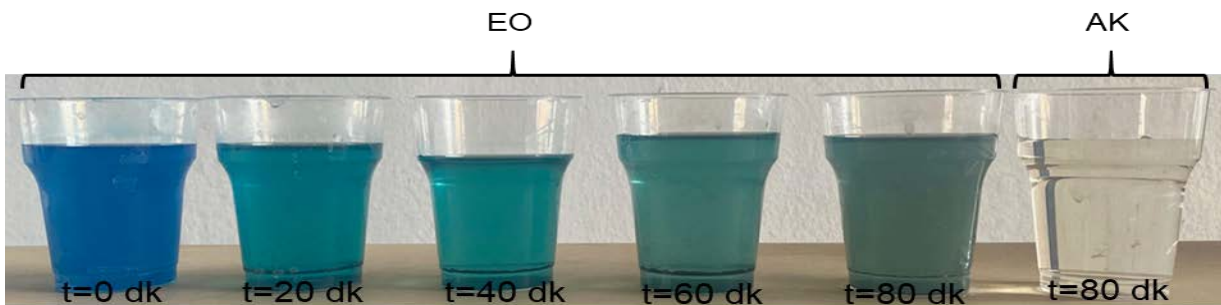
Şekil 4.8 Siyah Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

Tablo 4.11. Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Opak Siyah Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis Giriş	EO+AK Pilot	EO+AK
			Tesis Çıkış	Pilot Tesis Verim (%)
KOİ	mg/l	9791	2429	75,2
AKM	mg/l	1260	32	97,5
pH		10,60	8,81	16,9
Sıcaklık	°C	23,10	23,40	-
İletkenlik	µs/cm	93100	88600	4,8
Renk	mg/l PtCo	98370	56	99,9

- 2. Deneme

1.denemede numune alınan yuvarlak örgü kumaş boyama üzerine faaliyet göstermekte olan firmadan aqua turkuaz rengine sahip 2. Bir numunede çalışma tekrarlanmıştır. Pilot tesis işletme verileri: 3.4 V akım, 1000 A güç, süre 80 dk, harcanan enerji 10 kW'dır. Numune rengi aqua-turkuaz olup arıtım sonucu Şekil 4.9'da gösterilmektedir. 80. dakikaya kadar olan numuneler 20 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden geçirilmiş numuneye aittir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.12'de verilmiştir.



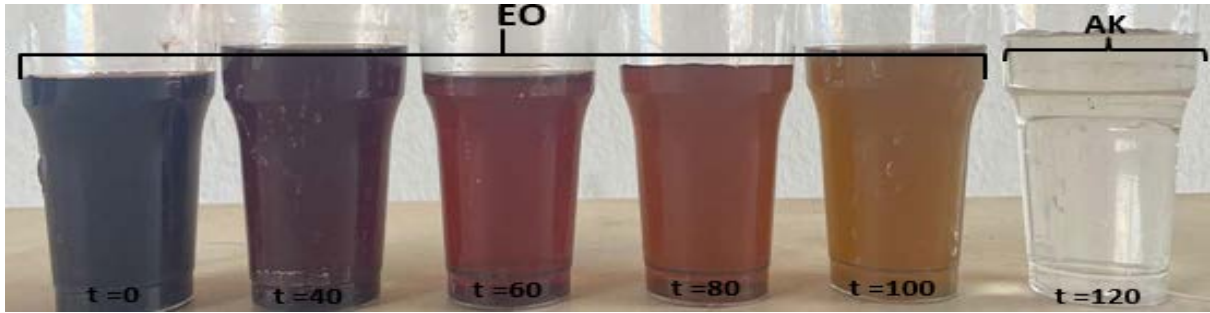
Şekil 4.9 Turkuaz Mavi Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

Tablo 4.12 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Turkuaz Mavi Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis Giriş	EO+AK	EO+AK
			Pilot Tesis Çıkış	Pilot Tesis Verim (%)
KOİ	mg/L	5427	2446	54,92
AKM	mg/L	950	66	93.05
pH	-	10.15	9.06	-
Sıcaklık	°C	24.1	24.6	-
İletkenlik	µS/cm	103500	70200	32.17
Renk	PtCo	342300	68	99.98

- 3. Deneme

1.denemede numune alınan yuvarlak örgü kumaş boyama üzerine faaliyet göstermekte olan firmadan koyu kırmızı rengine sahip 3. Bir numunede çalışma tekrarlanmıştır. Pilot tesis işletme verileri: 3.6 V akım, 1000 A güç, süre 100 dk, harcanan enerji 11 kW'dır. Numune rengi bordo kırmızı olup arıtım sonucu Şekil 4.10'da gösterilmektedir. 100. dakikaya kadar olan numuneler 20 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden geçirilmiş numuneye aittir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.13'de verilmiştir.



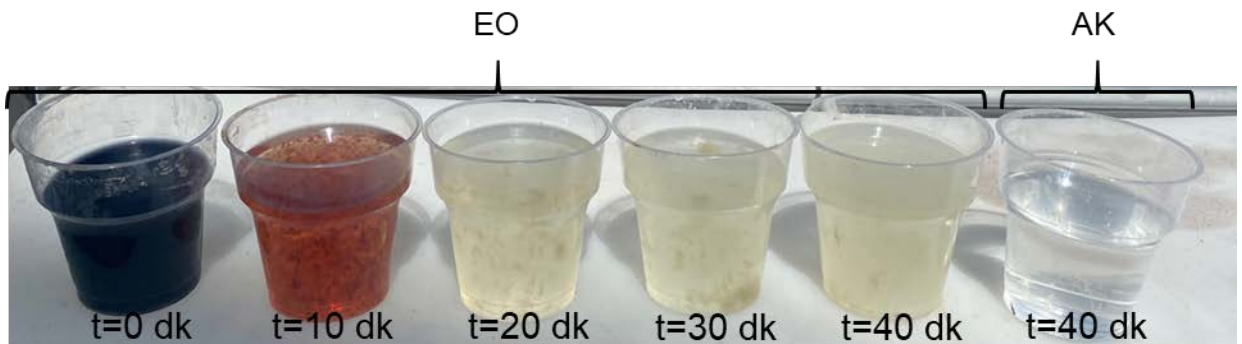
Şekil 4.10 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Bordo Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

Tablo 4.13 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Bordo Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis Giriş	EO+AK Pilot Tesis	EO+AK Pilot
			Çıkış	Tesis Verim (%)
KOİ	mg/l	11601	2621	77,4
AKM	mg/l	65	29	55,4
pH		9,77	8,83	9,6
Sıcaklık	°C	32,40	33,30	-
İletkenlik	µs/cm	79700	74600	6,4
Renk	mg/l PtCo	15360	83	99,5

• 4. Deneme

Firmanın faaliyet konusu penye kumaş boyama üzerine olup reaktif ve dispers boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı 90 m³/gün ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu 565 m³/gün'dür. Pilot tesis işletme verileri: 3.6 V akım, 1000 A güç, süre 40 dk, harcanan enerji 5 kW'dır. Numune rengi opak siyah olup arıtım sonucu Şekil 4.11'de gösterilmektedir. 40. dakikaya kadar olan numuneler 10 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden geçirilmiş numuneye aittir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.14'de verilmiştir.



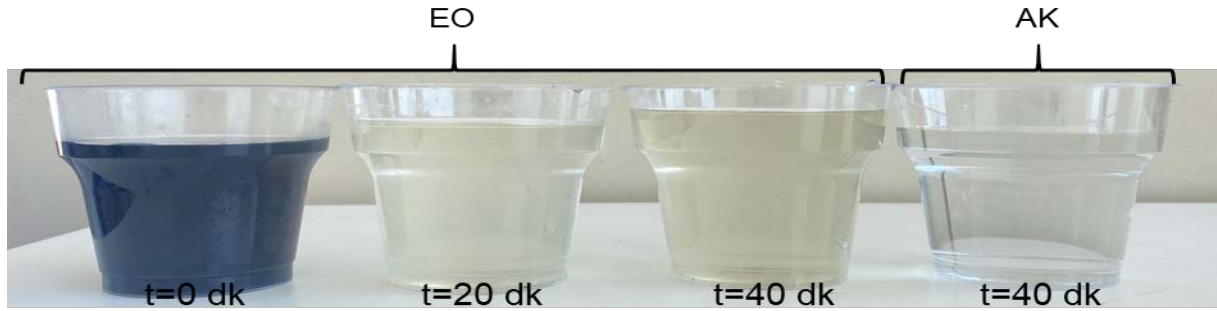
Şekil 4.11 Penye Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Siyah Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

Tablo 4.14 Penye Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Opak Siyah Rengine Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis	EO+AK Pilot Tesis	EO+AK
		Giriş	Çıkış	Pilot Tesis Verim (%)
KOİ	mg/L	1653	333	79,85
AKM	mg/L	56	3	94.64
pH	-	8.43	9.40	-
Sıcaklık	°C	25.5	25.7	-
İletkenlik	µS/cm	24200	19440	19.66
Renk	PtCo	2263	11	99.51

• 5. Deneme

Firmanın faaliyet konusu akrilik viskon karışımı iplik üzerine olup reaktif ve dispers boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı 200 m³/gün ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu 450 m³/gün'dür. Pilot tesis işletme verileri: 3.5 V akım, 1000 A güç, süre 40 dk, harcanan enerji 6 kW'dır. Numune rengi lacivert olup arıtım sonucu Şekil 4.12'de gösterilmektedir. 40. dakikaya kadar olan numuneler 20 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden geçirilmiş numuneye aittir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.15'de verilmiştir.



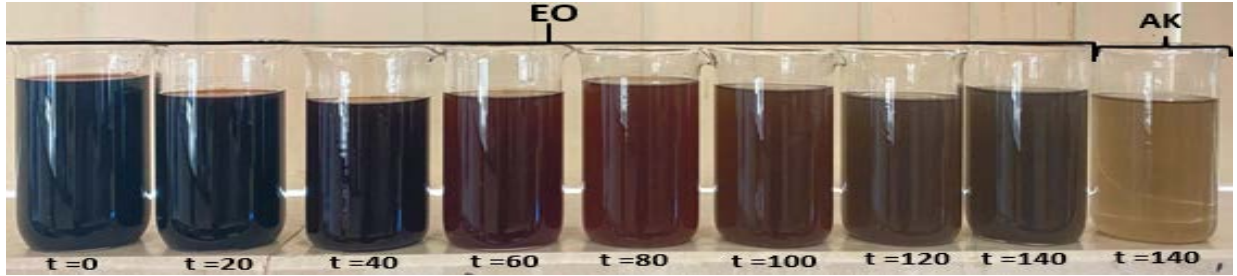
Şekil 4.12 Akrilik Viskon Karışımı İplik Boyama Banyosundan Kaynaklanan Lacivert Rengine Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

Tablo 4.15 Akrilik Viskon Karışımı İplik Boyama Banyosundan Kaynaklanan Lacivert Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis Giriş	EO+AK Pilot Tesis	
			Çıkış	EO+AK Pilot Tesis Verim (%)
KOİ	mg/L	10801	1973	81,73
AKM	mg/L	225	89	60.44
pH	-	7.53	8.85	-
Sıcaklık	°C	29.0	30.6	-
İletkenlik	µS/cm	9020	4220	53.21
Renk	PtCo	5806	73	98.74

- 6. Deneme

5.denemede numune alınan akrilik viskon karışımı iplik boyama üzerine faaliyet göstermekte olan firmadan opak siyah renge sahip 2. bir numunede çalışma tekrarlanmıştır. Pilot tesis işletme verileri: 3.3 V akım, 1000 A güç, süre 140 dk, harcanan enerji 17 kW'dır. Numune rengi opak siyah olup arıtım sonucu Şekil 4.13'de gösterilmektedir. 140. dakikaya kadar olan numuneler 20 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden geçirilmiş numuneye aittir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.13 Akrilik Viskon karışımı İplik Üretim Tesisinin Siyah Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

100.Dakikada numune renginin beklenenden daha az açılması sebebiyle numune alınarak laboratuvarında kaba filtreden geçirilmiştir. Numuneye grafit kaçı olduğu tespit edilmiştir. 100.dk çıkış ve numunenin kaba filtreden geçirilmiş hali Şekil 4.14'de verilmiştir.



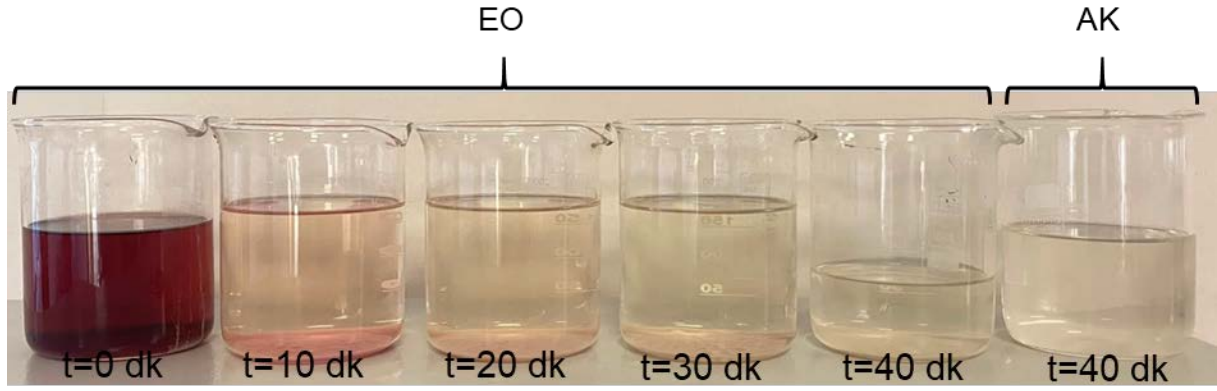
Şekil 4.14 Akrilik Viskon karışımı İplik Üretim Tesisinin Opak Siyah Rengine Sahip Atıksuyun 100.Dk Kaba Filtreden Geçirilmiş Hali

Tablo 4.16 Akrilik Viskon karışımı İplik Üretim Tesisinin Siyah Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis	EO+AK Pilot Tesis	EO+AK Pilot Tesis Verim
		Giriş	Çıkış	(%)
KOİ	mg/L	10801	1973	81,73
AKM	mg/L	225	89	60.44
pH	-	7.53	8.85	-
Sıcaklık	C	29.0	30.6	-
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	9020	4220	53.21
Renk	PtCo	5806	73	98.74

- 7. Deneme

Firmanın faaliyet konusu iplik ve kumaş boyama, havlu kumaş dokuma ve konfeksiyonu boyama üzerine olup reaktif boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı $250 \text{ m}^3/\text{gün}$ ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu $1933 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür. Pilot tesis işletme verileri: 3.4 V akım, 1000 A güç, süre 40 dk, harcanan enerji 5.5 kW'dır. Numune rengi kırmızı olup arıtım sonucu Şekil 4.15'de gösterilmektedir. 40. dakikaya kadar olan numuneler 10 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden geçirilmiş numuneye aittir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.15 İplik Ve Kumaş Boyama, Havlu Kumaş Dokuma Ve Konfeksiyonu Boyama Banyosundan Kaynaklanan Kırmızı Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

Tablo 4.17 İplik Ve Kumaş Boyama, Havlu Kumaş Dokuma Ve Konfeksiyonu Boyama Banyosundan Kaynaklanan Kırmızı Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis Giriş	Pilot Tesis Çıkış	Pilot Tesis Verim (%)
KOİ	mg/L	11206	2070	81,52
AKM	mg/L	147	33	77,55
pH	-	10.06	9.60	-
Sıcaklık	C	24.0	23.4	-
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	110900	50400	54,55
Renk	PtCo	1535	46	97,00

- 8. Deneme

Yapılan denemelerde istenilen verim elde edilemediğinden tesis revize edilerek elektrotlar 14 grafit + 14 paslanmaz olacak şekilde değiştirilmiştir. Kapasitesi (200litre) ve kaba filtre (3 adet) sayısında değişiklik yapılmamıştır. Sediment filtre sayısı 3'e çıkarılmıştır. Sırasıyla 10 μm -5 μm -5 μm 'luk sediment filtreler kullanılmıştır. 2 adet küresel aktif karbon filtre sonrasında 0,2 μm 'lik seramik filtre eklenmiştir (3.versiyon akım şeması Şekil 3.5).

1.denemede numune alınan yuvarlak örgü kumaş boyama üzerine faaliyet göstermekte olan firmadan pembe renge sahip 4. Bir numunede çalışma tekrarlanmıştır. Pilot tesis işletme verileri: 3.7 V akım, 1000 A güç, süre 80 dk, harcanan enerji 9,96 kW'dır. Arıtım sonucu renk ölçüm sonuçları Şekil 32'de gösterilmektedir. 80. dakikaya kadar olan numuneler 20 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmıştır. 80 dakika sonunda numune 2 adet aktif karbon filtreden geçirildikten sonra 0,2 μm 'lik seramik filtreden geçirilmiştir. Şekil 4.16'da yer alan son numune görseli seramik filtre çıkışından alınan ve pilot tesisin çıkışı kabul edilen numuneye aittir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.16 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Pembe Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

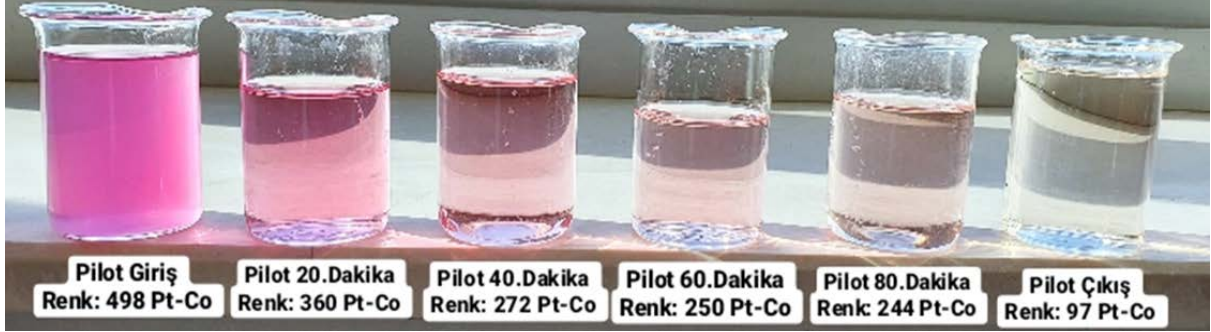
Tablo 4.18 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Pembe Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis	EO+AK	EO+AK+SF	EO+AK Pilot	EO+AK+SF Pilot
		Giriş	Çıkış	Pilot Tesis Çıkış	Tesis Verim (%)	Tesis Verim (%)
KOİ	mg/L	1047	801	709	32,3	10,7
pH	-	10,31	9,90	9,90	-	-
Sıcaklık	°C	24,10	27,20	27,60	-	-
İletkenlik	µS/cm	46200	46200	46200	-	-
Renk	PtCo	561	432	407	23,0	8,7

- 9. Deneme

8.denemede yuvarlak örgü kumaş boyama üzerine faaliyet göstermekte olan firmadan alınmış olan pembe renge sahip numunede %30'luk tuzlu su çözeltisi (20 litre su + 6kg tuz) eklenerek, İletkenliği 46000 µS/cm 'den 71200 µS/cm 'e çıkarılmış çalışma tekrarlanmıştır. Pilot tesis işletme verileri: 3.5 V akım, 1000 A güç, süre 80 dk, harcanan enerji 10 kW'dır. Arıtım sonucu renk ölçüm sonuçları Şekil 4.17'de gösterilmektedir. 80. dakikaya kadar olan numuneler 20 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmıştır. 80 dakika sonunda numune 3 adet sediment filtre sonrası 2 adet aktif karbon filtreden geçirildikten sonra 0,2 µm'lik seramik filtreden geçirilmiştir. Şekil 4.17'de yer alan son numune görseli seramik filtre çıkışından alınan ve pilot tesisin çıkışı kabul edilen numuneye aittir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.19'da verilmiştir.

ölçüm sonuçları Şekil 4.18'de gösterilmektedir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.20'de verilmiştir.



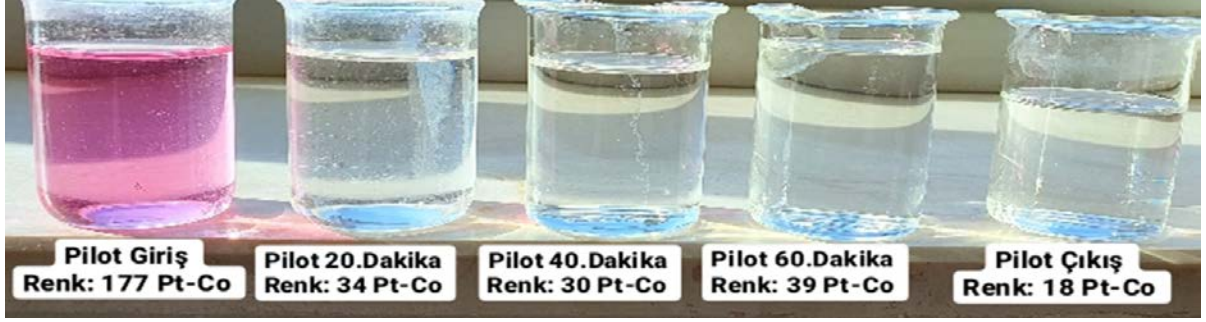
Şekil 4.18 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Pembe Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması (Çalışma 3)

Tablo 4.20 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Pembe Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları (Çalışma 3)

Parametre	Birim	Pilot Tesis Giriş	EO+AK Çıkış	Pilot Tesis Verim (%)
pH	-	10,13	9,95	-
Sıcaklık	°C	22,3	24,80	-
İletkenlik	$\mu\text{S}/\text{cm}$	74600	78600	-
Renk	PtCo	498	97	80,5

- 11. Deneme

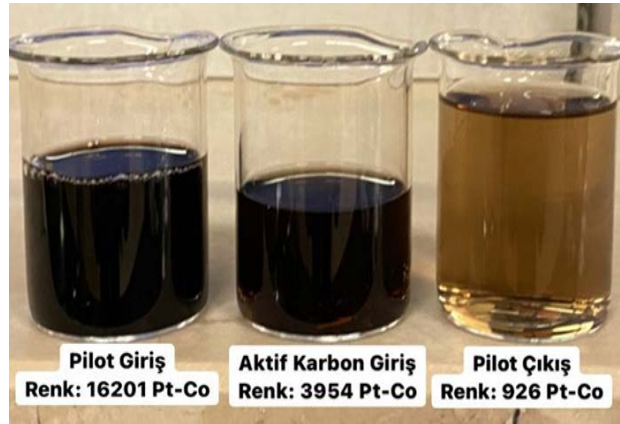
8, 9 Ve 10. Denemede kullanılan yuvarlak örgü kumaş boyama üzerine faaliyet göstermekte olan firmadan alınmış olan pembe renge sahip numune 1:1 oranda seyreltilmiş, %30'luk tuzlu su çözeltisi (20 litre su + 6kg tuz) eklenerek, İletkenliği 46000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den 61500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'e çıkarılmış çalışma tekrarlanmıştır. Pilot tesis işletme verileri: 3.6 V akım, 1000 A güç, süre 60 dk, harcanan enerji 7,52 kW'dır. Arıtım sonucu renk ölçüm sonuçları Şekil 4.19'da gösterilmektedir.



Şekil 4.19 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Pembe Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması (Çalışma 4)

- 12. Deneme

Akrilik iplik boyama üzerine faaliyet göstermekte olan firmadan alınmış olan siyah renge sahip numune 3:2 oranda seyreltilmiş, %30'luk tuzlu su çözeltisi (20 litre su + 6kg tuz) eklenerek, İletkenliği 45500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den 100600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'e çıkarılarak çalışılmıştır. Pilot tesis işletme verileri: 3.6 V akım, 1000 A güç, süre 120 dk, harcanan enerji 22 kW'dır. Arıtım sonucu renk ölçüm sonuçları Şekil 4.20'de gösterilmektedir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.21'de verilmiştir. Çalışma esnasında sistemde yoğun köpürme problemi yaşanmış ancak sebebi bulunamamıştır. 120 dk boyunca yapılan çalışmadan renk giderimi beklenen seviyede olmamıştır.



Şekil 4.20 Akrilik İplik Boya Banyosundan Kaynaklanan Siyah Renge Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

Tablo 4.21 Akrilik İplik Boya Banyosundan Kaynaklanan Siyah Renge Sahip Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis Giriş	Pilot Çıkış	EO+AK Pilot Tesis Verim (%)
KOİ	mg/l	37100	16100	57,7
pH	-	10	9,64	-
Sıcaklık	°C	24,1	28,7	-
İletkenlik	µS/cm	100600	67900	-
Renk	PtCo	16201	926	94,3

- 13. Deneme

Yuvarlak örgü kumaş boyama üzerine faaliyet göstermekte olan firmadan alınmış olan turuncu ve mor renge sahip numune eşit oranda karıştırılarak çalışma yapılmıştır. Boyalı sudan hazırlanan %20'lik tuzlu su çözeltisi (20 litre boyalı su + 4kg tuz) eklenerek, İletkenliği 59400 µS/cm 'e çıkarılarak çalışılmıştır. Pilot tesis işletme verileri: 2,4 V akım, 1000 A güç, süre 80 dk, harcanan enerji 9,9 kW'dır. Arıtım sonucu numune renk değişimleri Şekil 4.21'de gösterilmektedir. Zamana bağlı renk değişimleri Tablo 4.22'de, analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.23'de verilmiştir.



Şekil 4.21 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

Tablo 4.22 Zamana Bağlı Renk Değişimleri Ölçüm Sonuçları

	GİRİŞ	10 DK	20 DK	30 DK	40 DK	50 DK	60 DK	70 DK	80 DK	PİLOT ÇIKIŞ
RENK	670	599	562	464	452	473	400	424	418	264

Tablo 4.23 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis Giriş	EO+AK Çıkış	Pilot Tesis Verim (%)
pH	-	10,51	9,85	-
Sıcaklık	°C	25,8	27,8	-
İletkenlik	µS/cm	59600	62100	-
Renk	PtCo	670	264	60,6

- 14. Deneme

Yuvarlak örgü kumaş boyama üzerine faaliyet göstermekte olan firmadan alınmış olan lacivert renge sahip numunede 1:1 oranda seyreltme uygulanarak çalışma yapılmıştır. %20'lik su çözeltisi (20 litre su + 4kg tuz) eklenerek, İletkenliği 5400 µS/cm'den 29300 µS/cm'e çıkarılarak çalışılmıştır. Pilot tesis işletme verileri: 2,7 V akım, 1000 A güç, süre 100 dk, harcanan enerji 13,3 kW'dır. Arıtım sonucu numune renk değişimleri Şekil 4.22'de gösterilmektedir. Zamana bağlı renk değişimleri Tablo 4.24'de, analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.25'de verilmiştir.



Şekil 4.22 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

Tablo 4.24 Zamana Bağlı Renk Değişimleri Ölçüm Sonuçları

	Giriş	20 Dk	40 Dk	60 Dk	80 Dk	100 Dk	Pilot Çıkış
Renk	4700	225	116	92	91	100	23

Tablo 4.25 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları

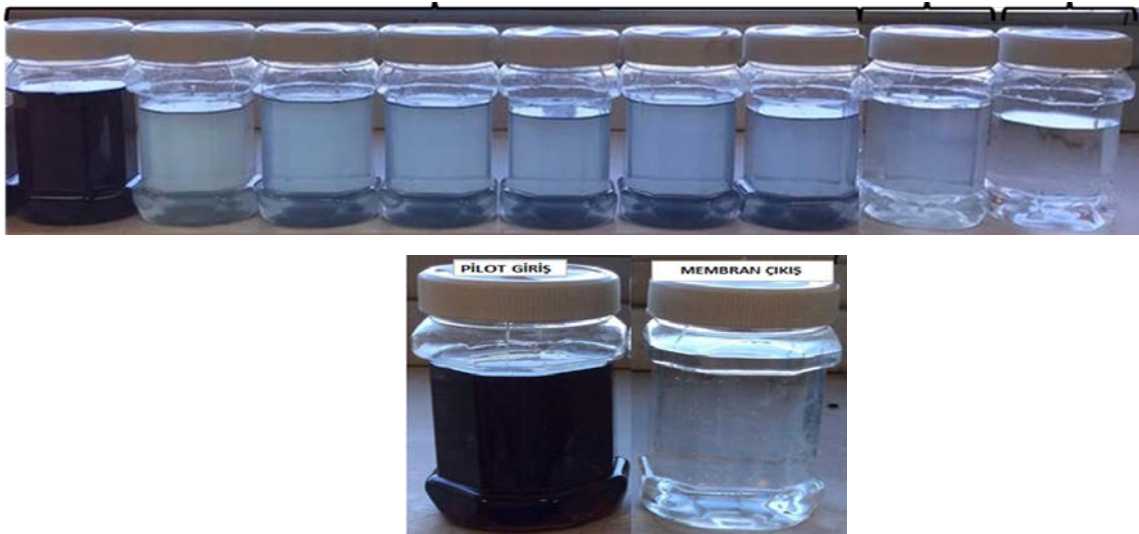
Parametre	Birim	Pilot Tesis Giriş	Pilot Tesis Çıkış	Pilot Tesis Verim (%)
KOİ	mg/l	6905	1045	84,9
pH	-	10,20	9,51	6,8
Sıcaklık	°C	24,6	26,50	-
İletkenlik	µS/cm	29500	30500	-
Renk	PtCo	4700	23	99,5

4.3 Pilot Ölçekli Elektrooksidasyon+Aktif Karbon+Nanofiltrasyon (EO+AK+NF) Membran Çalışmalarından Elde Edilen Sonuçlar

Pilot ölçekli EO+AK+NF membran tesisi 5 farklı firmada işletilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda detaylı olarak sunulmuştur.

- 1. Firma

Firmanın faaliyet konusu yuvarlak örgü kumaş boyama üzerine olup reaktif boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı 200 m³/gün ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu 450 m³/gün'dür. Pilot tesis işletme verileri: 4 V akım, 1000 A güç, 60 dk. süre, harcanan enerji 8.55 kW'dır. Numune rengi koyu lacivert olup arıtım sonucu Şekil 4.23'de gösterilmektedir. 60. dakikaya kadar olan numuneler 10 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden ve NF membrandan geçirilmiş numuneye aittir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.26'da verilmiştir.



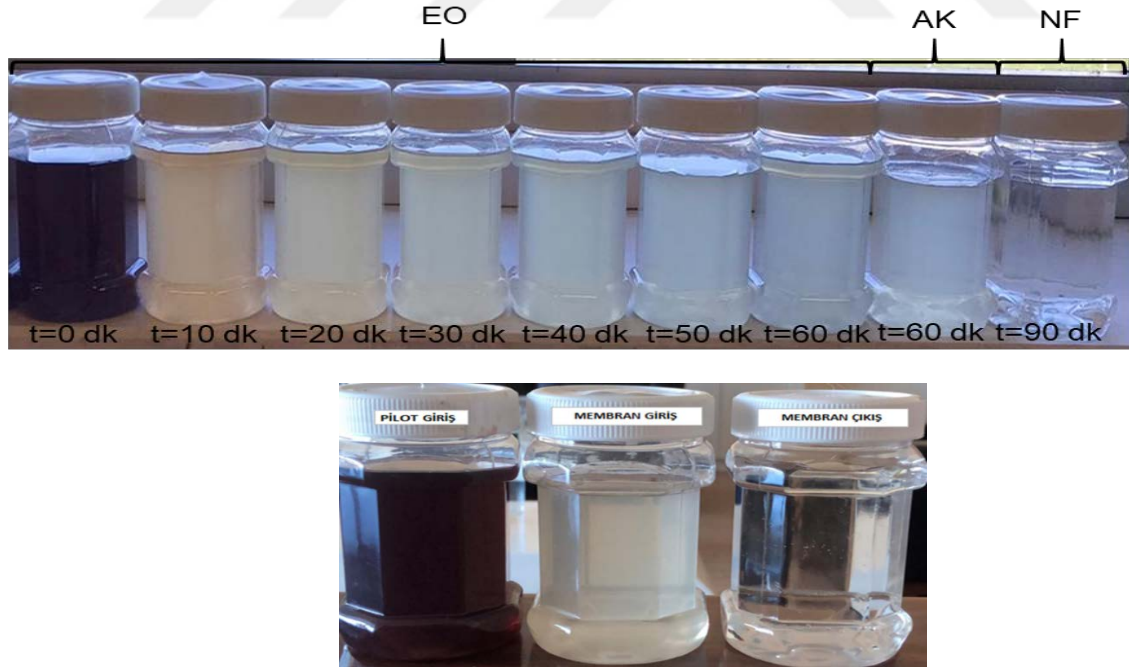
Şekil 4.23 Koyu Lacivert Rengine Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

Tablo 4.26 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis	Pilot Tesis Çıkış	EO+AK+NF
		Giriş		Pilot Tesis Verim (%)
AKM	mg/L	151	0	100.00
pH	-	10.4	9.3	-
Sıcaklık	°C	22.9	23.1	-
İletkenlik	µS/cm	52600	43100	19.96
Renk	PtCo	1497	24	98.37

• 2. Firma

Firmanın faaliyet konusu yuvarlak örgü kumaş boyama üzerine olup reaktif boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı 200 m³/gün ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu 450 m³/gün'dür. Pilot tesis işletme verileri: 4 V akım, 1000 A güç, 60 dk. süre, harcanan enerji 8.09 kW'dır. Numune rengi kırmızı+turuncu+mor olup arıtım sonucu Şekil 4.24'de gösterilmektedir. 60. dakikaya kadar olan numuneler 10 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden ve NF membrandan geçirilmiş numuneye aittir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.27'de verilmiştir.



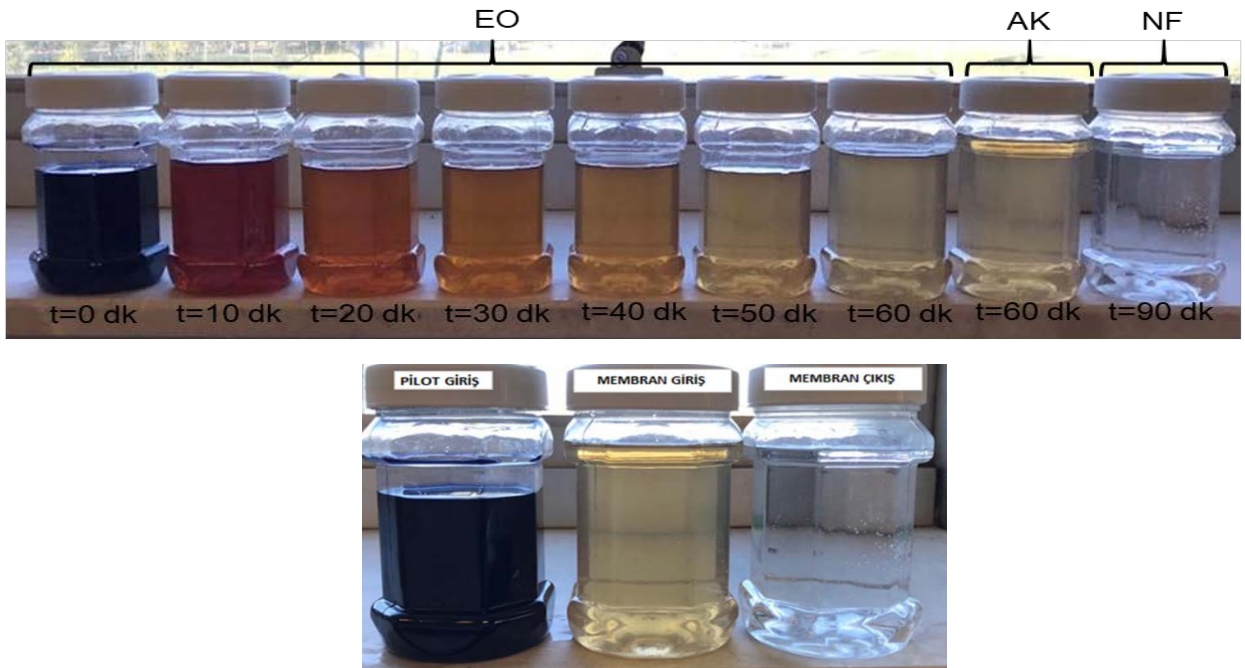
Şekil 4.24 Kırmızı+Turuncu+Mor Rengine Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

Tablo 4.27 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis	EO+AK+NF Pilot	Pilot Tesis Verim
		Giriş	Tesis Çıkış	(%)
AKM	mg/L	181	0	100.00
pH	-	10.3	9.3	-
Sıcaklık	°C	23.6	23.2	-
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	59600	52100	12.58
Renk	PtCo	938	12	98.72

- 3. Firma

Firmanın faaliyet konusu yuvarlak örgü kumaş boyama üzerine olup reaktif boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı $200 \text{ m}^3/\text{gün}$ ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu $450 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür. Pilot tesis işletme verileri: 4 V akım, 1000 A güç, 60 dk. süre, harcanan enerji 7.78 kW'dır. Numune rengi lacivert+turuncu+mor olup arıtım sonucu Şekil 4.25'de gösterilmektedir. 60. dakikaya kadar olan numuneler 10 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden ve NF membrandan geçirilmiş numuneye aittir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.28'de verilmiştir.



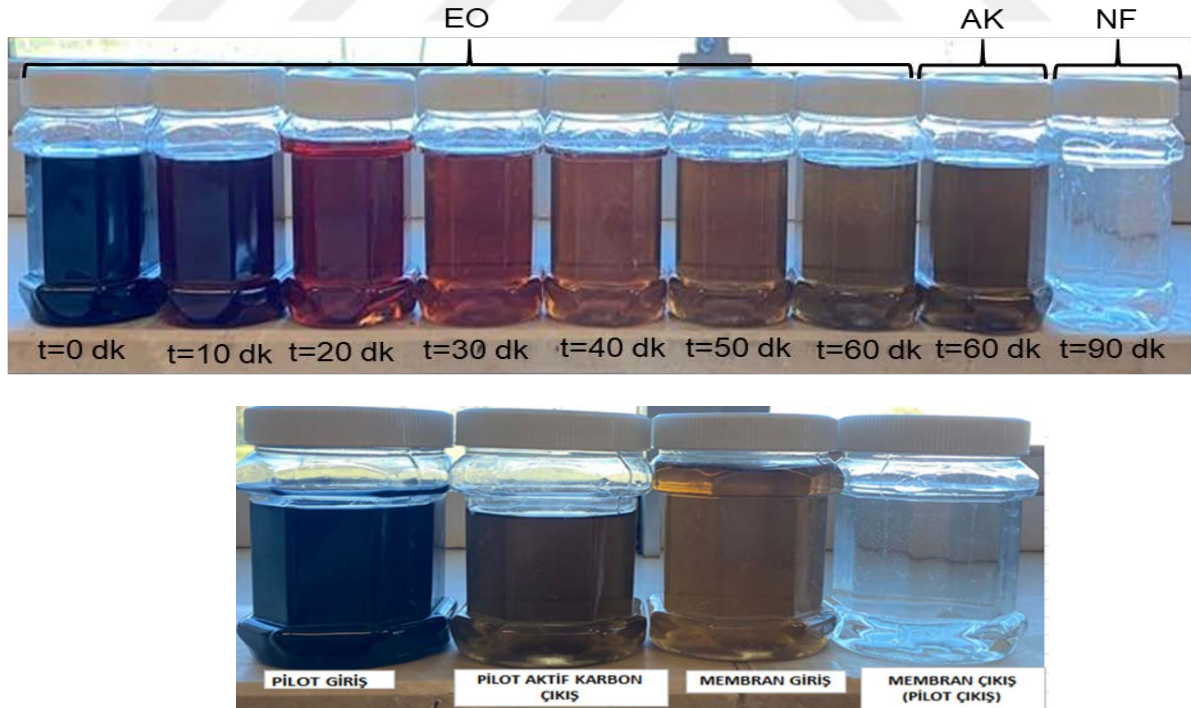
Şekil 4.25 Lacivert+Turuncu+Mor Rengine Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

Tablo 4.28 Yuvarlak Örgü Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis Giriş	EO+AK+NF	
			Pilot Tesis Çıkış	Pilot Tesis Verim (%)
AKM	mg/L	215	0	100.00
pH	-	10.9	9.4	-
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	72200	51600	28.53
Renk	PtCo	9844	12	99.88

• 4. Firma

Firmanın faaliyet konusu iplik ve kumaş boyama, havlu kumaş dokuma ve konfeksiyonu boyama üzerine olup reaktif boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı $250 \text{ m}^3/\text{gün}$ ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu $1933 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür. Pilot tesis işletme verileri: 3.9 V akım, 1000 A güç, 60 dk. süre, harcanan enerji 7.97 kW'dır. Numune rengi lacivert+siyah olup arıtım sonucu Şekil 4.26'da gösterilmektedir. 60. dakikaya kadar olan numuneler 10 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden ve NF membrandan geçirilmiş numuneye aittir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.29'da verilmiştir.



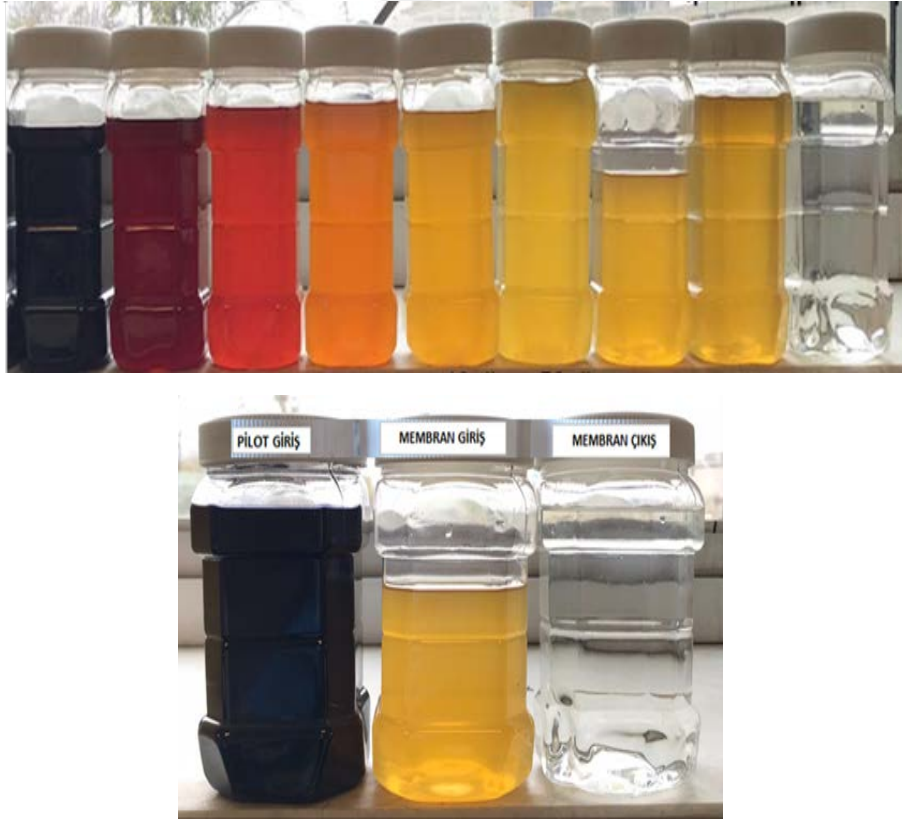
Şekil 4.26 Lacivert+Siyah Rengine Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

Tablo 4.29 İplik Ve Kumaş Boyama, Havlu Kumaş Dokuma Ve Konfeksiyonu Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	EO+AK+NF	EO+AK+NF	Pilot Tesis Verim (%)
		Pilot Tesis Giriş	Pilot Tesis Çıkış	
pH	-	10.	9.41	-
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	72800	65200	10.44
Renk	PtCo	16770	4	99.98

- 5. Firma

Firmanın faaliyet konusu penye kumaş boyama üzerine olup reaktif ve dispers boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı $90 \text{ m}^3/\text{gün}$ ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu $565 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür. Pilot tesis işletme verileri: 4.2 V akım, 1000 A güç, 60 dk. süre, harcanan enerji 7.8 kW'dır. Numune rengi lacivert+siyah olup arıtım sonucu Şekil 4.27'de gösterilmektedir. 60. dakikaya kadar olan numuneler 10 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden ve NF membrandan geçirilmiş numuneye aittir. Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.27 Lacivert+Siyah Rengine Sahip Atıksuyun Pilot Ölçekli Tesiste Arıtılması

Tablo 4.30 Penye Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis	EO+AK+NF	EO+AK+NF
		Giriş	Pilot Tesis Çıkış	Pilot Tesis Verim (%)
AKM	mg/L	171	0	100.00
pH	-	11.4	8.7	-
İletkenlik	µS/cm	39600	32700	17.42
Renk	PtCo	19130	11	99.94

- 6. Firma

Firma Bursa OSB’de bulunmakta olup firmanın faaliyet konusu polyester, pamuk, katyonik, naylon, çift boyama gibi tüm boya çeşitlerini uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı 25 m³/gün’dür. Pilot tesis işletme verileri: 4.0 V akım, 1000 A güç, 60 dk. süre, harcanan enerji 7.5 kW’dır. Tesisten elde edilen analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 4.31’de verilmiştir.

Tablo 4.31 Pamuklu Kumaş Boyama Banyosundan Kaynaklanan Atıksuyun Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Pilot Tesis	EO+AK+NF Pilot	EO+AK+NF Pilot	BOSB Atıksu Kanal
		Giriş	Tesis Çıkış	Tesis Verim (%)	Deşarj Standartı
AKM	mg/L	185	0	100.00	500
TOC	mg/L	404.5	61.9	84.70	-
TKN	mg/L	53.8	2.5	95.35	20
TP	mg/L	5.3	0	100.00	12
pH	-	10.8	9.7	-	6-9
Sıcaklık	°C	21.5	23.0	-	-
İletkenlik	µS/cm	79100	77000	2.65	-
Renk	PtCo	2564	10	99.61	260

Farklı boyama yapan firmaların tüm analiz sonuçlarına bakıldığında pilot tesisin başarılı bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

4.4 Geri Kazanılan Tuzlu Su İle Kumaş Boyama Çalışmaları

4.4.1 E-kontrol boyama

Kumaşlar e-kontrol boyama yöntemine göre boyanmıştır. Bu sistemde fiksaj verimi yüksek olup yıkamada su tüketimi azdır ve dolaylı ısıtma sistemleri için uygundur.

➤ Kullanılan Boya ve Miktarları

2.4 g Lemafix Amber CAN, 2.8 g Fast Red CA, 3.8 g Blue CA boya türleri tartılıp 300 mL NF çıkış suyu ile tamamlanır.

➤ Kullanılan Kimyasallar ve Miktarları

SERAGAL MIP (10 g/L) ve SERACAN MLU (5 g/L) kimyasalları toplam 100 mL olacak şekilde hazırlanarak 300 mL boya içerisinde eklenip karıştırılır. % 20'lik soda çözeltisi (20 g soda 100 mL NF çıkış suyu ile tamamlanır) hazırlanarak çözelti içerisinde eklenip tekrar karıştırılır. Boyanın kumaşı daha hızlı ıslatabilmesi için 2 mL'de ıslatıcı madde eklenir. Toplam 500 mL boya çözeltisi hazırlanmış olur. pH ayarlaması yapılır.

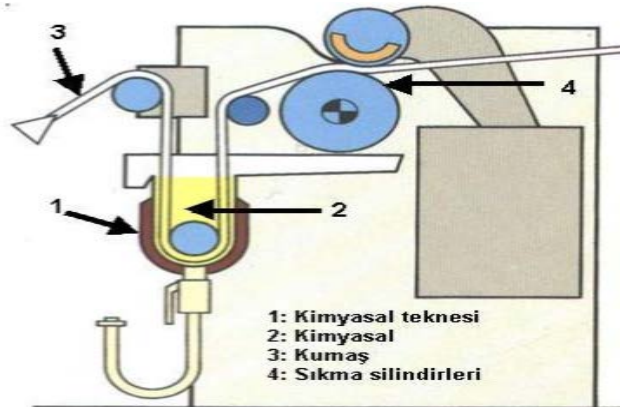
➤ Fulard Boyama Makinesi

Bu yöntemde de miyusal maddeler flotte olarak adlandırılır ve tekstil ürününe emdirme işlemi yapılır. Sonrasında kumaş sıkılarak flottenin fazlası silindirler ile uzaklaşmış ve sistemin başına emdirme teknesine döndürülmüş olur (Şekil 4.28). Kumaş yüzeyine aktarılan kimyasalların yayılımında fulard ve sıkma silindirleri önemlidir.

Sıcaklık: 25-30 °C

Sıkma: %70

Hız: 3.5 m/sn



Şekil 4.28 Fulard Boyama Makinesinin Çalışma Prensibi

➤ E- Kontrol Makinesi

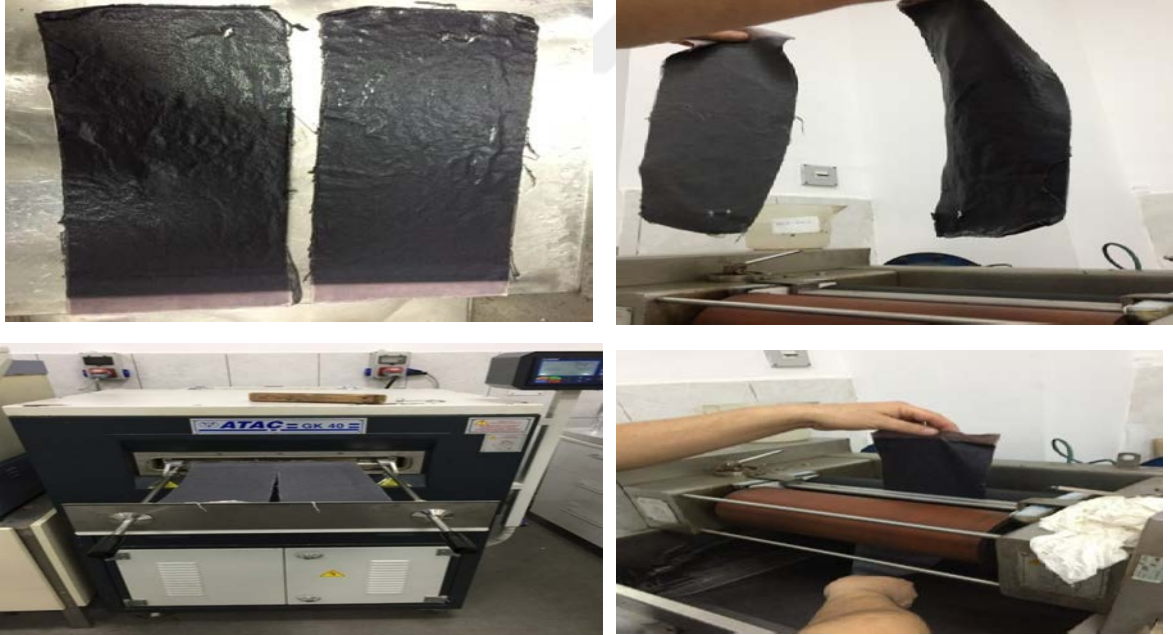
E-kontrol işlemi, kumaşa fulardda emdirilen boyar maddenin %25 nem oranına sahip odada, 120 ile 130 °C sıcaklıkta kurutulmasıdır. Bu kurutucu oda içinde kumaş yüzeyinin sıcaklığı 68°C'yi geçmemektedir. E kontrol makinesinde fikse edildikten sonra kumaş soğuk su ile yıkanır.

➤ Sıcak Suda Kaynatma

Su kaynadıktan sonra kumaş 3 dk. bekletilir (Şekil 4.29). Bittikten sonra tekrar soğuk su ile yıkanıp kurutulur (Şekil 4.30).



Şekil 4.29 Sıcak Suda Kaynatma Prosedürü



Şekil 4.30 Kurutma Prosedürü

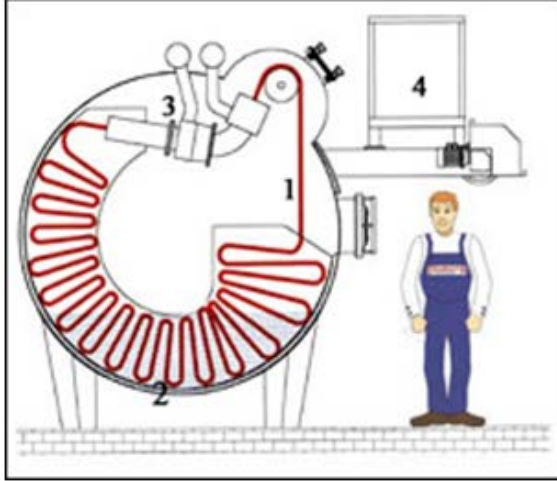
Numunenin standart boyama da olup olmadığı spektrofotometre kullanılarak ΔE değerine göre doğrudan nihai sonuç elde edilir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31 Spektrofotometre Cihazı

4.4.2 Jet Boyama

Jet boyama makinesi; yüksek sıcaklık ve basınçta, çektirme yöntemiyle, pamuk/sentetik ve karışım kumaşların boyanması ve ön işlemlerinde yaygın kullanıma sahip makinelerdir. Bu makinelerde kumaş ve flotte aynı zamanda sirküle edilmektedir. Düzeler; basınçla, hızlanan kumaşı sürüklenmesini, flottenin sirkülasyonu sağlayarak flottenin kumaşla temasını arttırmaları. Kumaşın hızı dakikada 400-700 m arasında olup, kırışıklık oluşma ihtimali düşüktür. Şekil 4.32’de jet boyama makinesi verilmiştir. Hava basıncı ile kumaş hareketinin desteklenerek çalışan makineler günümüzde az kullanılmaktadır.



Şekil 4.32 Jet boyama makinesi ve elemanları, 1. Kumaş, 2. Flotte, 3. Düze Sistemi, 4. İlave Tankı

Proje kapsamında farklı firmalardan ve farklı banyo formülasyonlarından alınan numuneler ile renk ve KOİ giderim çalışmaları gerçekleştirilmiş olup sistemin çalışma koşulları optimize edilmiştir. Geri kazanılan su ile açık ve koyu renkli boyalar kullanılarak 30 cm×30 cm boyutlarına sahip kumaşların boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.33’de görüldüğü gibi tüm kumaş boyamaları

testi geçmiştir. Böylece önerilen proses sayesinde boyama için gerekli olan hem su tüketimi hem de tuz tüketimi azalmış olacaktır.



Şekil 4.33 Geri Kazanılan Tuzlu Su İle Gerçekleştirilen Kumaş Boyamaları

4.5 Pilot Ölçekli Proses Ait İşletme Maliyet Analizi

1 m³ atık suyun geri kazanılması için gerekli enerji ve maliyet analizi aşağıda verilmektedir (Tablo 4.32).

Tablo 4.32. Kumaş boyama banyosu atık sularının EO+AK+NF membran prosesiyle arıtımı için maliyet analizi

Parametre	Birim	Değer
Harcanan para		
Spesifik enerji tüketimi	kWh/m ³	40
Enerji maliyeti	TL/m ³	28
Elektrot tüketimi		
Grafit maliyeti	TL/m ³	4
Kazanılan para		
Tuz geri kazanımı	TL/m ³	30
Su geri kazanımı	TL/m ³	10*
Net kar	TL/m ³	8

Gerçek ölçekli tesisin kurulum maliyet analizi aşağıda verilmektedir.

EO+AK+NF tesisi 2 m³/saat kapasiteli olup fiyatı 50.000 \$+KDV'dir. İstenilen debiye göre tesis sayısı arttırılacaktır. Tesiste akım yoğunluğu 200 A/m² olup 140 adet anot ve 140 adet katot içermektedir.

Membranda tüketilecek enerji üretilen m³ su başına 2-5 m³/saat için 1.2-1.5 kWh/ m³, 5-10 m³/saat için 1.0-1.2 kWh/ m³ ve 10-20 m³/saat için 0.9-1.0 kWh/m³ olarak hesaplanmıştır. Grafit elektrotların ömrü 3 yıl ön görülmüştür.

Firmaların ortalama boya banyo sularının 200 m³/gün olduğu dikkate alınırsa günde 20 saat (10 m³/saat) işletilen bir tesis için kendini amorti etme süresi aşağıda hesaplanmıştır.

$$200 \text{ m}^3/\text{gün} \times 8 \text{ TL}/\text{m}^3 = 1600 \text{ TL}/\text{gün net kar}$$

2 m³/saat kapasiteli tesisin fiyatı 50.000 \$+KDV olup 10 m³/saat kapasiteli tesis için 5 adet sistem kurulması gerekir. Toplam tesis yatırım maliyeti $5 \times 50.000 \$ = 250.000 \$ = 3.250.000 \text{ TL} + \text{KDV} = 3.835.000 \text{ TL}$

$$\text{Amorti etme süresi ise } 3.835.000 \text{ TL}/\text{tesis} / 1600 \text{ TL}/\text{gün net kar} = 6.5 \text{ yıl}$$

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Önerilen sistemin sağlayacağı faydalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- EO sistemi diğer sistemlerle kıyaslandığında (elektrokoagülasyon, Fenton, kimyasal koagülasyon/flokülasyon, biyolojik arıtma vb.) çamur oluşturmaması en önemli avantajların başında gelmektedir.
- Çamur üretimi olmadığı için tehlikeli atık çamur oluşumu söz konusu olmayıp çamur bertaraf maliyeti de söz konusu değildir. Böylece işletme maliyeti daha azdır.
- EO sistemi diğer sistemlerle kıyaslandığında daha yüksek renk ve koku giderimine sahiptir.
- EO sistemi EC sistemi ile kıyaslandığında çözünmez, korozyona karşı dayanıklı ve uzun ömürlü elektrot kullanım avantajı sağlar. Elektrokimyasal arıtmada elektrot tüketimi işletme maliyetini etkileyen önemli girdilerden birisidir.
- EO sistemi biyolojik arıtma sistemleriyle kıyaslandığında basit, esnek ve kolay uygulanabilirlik avantajı sunmaktadır. Özellikle OSB’lerde faaliyet gösteren işletmelerde alan çok kıymetli olduğu için kompakt sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır.
- EO sistemi diğer sistemlerle kıyaslandığında (Fenton, kimyasal koagülasyon/flokülasyon vb.) düşük kimyasal kullanımı ve yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi nedeniyle önemli bir avantaj sunmaktadır.
- Elektrooksidasyon prosesi kalıcı organiklerin arıtılmasında etkilidir.
- Tuzluluğu fazla olan sularda düşük volt değerlerinde çalışmak mümkün olup, elektrik maliyeti de buna bağlı azalmaktadır.
- EO sisteminin arkasından membran prosesinin kullanılmasıyla birlikte giriş suyu özellikleri değişse bile her zaman aynı kaliteye sahip su geri kazanımı mümkün olacaktır.
- EO sisteminin arkasından membran NF prosesinin kullanılmasıyla birlikte tekstil atıksuları gibi yoğun tuz içeriğine sahip olan atıksulardan tuz geri kazanımı mümkün olacaktır. Böylece tuz tüketimi azaltılarak işletme maliyetleri azaltılmış olacaktır. Tuzun geri kazanılması atıksulardan kaynaklanan iletkenliğinde önemli derecede azaltılmasını sağlayacaktır.
- EO sisteminin arkasından membran NF prosesinin kullanılmasıyla birlikte arıtım süresi maksimum 1 saate azaltılmış olacaktır. NF konsantrisi tekrar elektrooksidasyon sistemine geri devrettirileceği için bir problem teşkil etmeyecektir.
- Bu endüstri dalında faaliyet gösteren tesislerin atık sularının arıtılması ile çevre kirliliğinin önlenmesinin yanı sıra geri kazanılan suların yeniden kullanılması ile çok değerli olan su kaynaklarımızın da korunmasına katkı sağlanmış olacaktır.

Pilot Tesiste çalışma süresince karşılaşılan problemler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Tekstil-boyama sektöründe boya banyosu atıksularının sıcaklıkları ortalama 50-80 °C arasında değişmektedir. Pilot tesis pompa ve motoru, tekstil boya banyosu atıksularına uygun seçilmediği durumda motorda sürekli ısınma ve sistemde durma problemi yaşanmıştır. Ayrıca su sıcaklığına

uygun reaktör haznesi seçilmemesi sebebiyle haznelerde esneme olmuştur. Burada sistem kurulurken reaktör malzemesi seçiminde atıksuyun sıcaklığı göz önünde bulundurularak uygun malzeme seçilmelidir. Aksi takdirde tekstil sularını soğutma için ekstra havuz/tank gibi bir ünite ihtiyacı oluşmaktadır.

- Yoğun koyu renkli sularda ve reaktör içerisindeki numune sıcaklığı 30°C üzerine çıkması durumunda grafitler çözünerek atıksuya renk vermiştir.
- Dispers boyama atıksularında pıhtılaşma oluşmasından kaynaklı aktif karbon filtrelerinde tıkanma gözlenmiş, buna bağlı sistem kurulumunda bu boyama türünde aktif karbon filtrelerin ömrünün kısılabileceği öngörülmüştür.
- Opak/koyu renkli numunelerde seyreltme yapılmadan yapılan çalışmalarda arıtım süresi uzamış buna bağlı elektrik tüketimi artmıştır.
- Pilot sisteme yapılan revizyonlar sonrası düşük iletkenlikli sularda, elektriksel iletkenliğin düşük olması sebebiyle sistemde aşırı ısınma ve elektrik tüketiminde artış gözlenmiştir. İletkenliğin yükseltilmesi için yapılan çalışmalarda ekstra tuzlu su çözeltisi eklenmiştir.
- Tesisin etkin ve verimli çalışabilmesi için koyu renkli atıksuların nispeten açık renkli sularla karışımının sağlanarak pilot tesise verilmesi, arıtım süresinin kısılması ve elektrik tüketiminin azalmasını sağlamıştır.

Sonuç olarak tekstil atıksularının arıtımında EO+AK+NF sisteminin yüksek verimde çalıştırılabilmektedir. Çalışmanın uygulanabilirliğini kısıtlayan en büyük etmen enerji giderleridir. Ancak; 15.06.2022 tarihli 31867 sayılı resmi gazetede yayımlanan Çevre Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun'un 6.Madde'sinde, 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 29. maddesinin üçüncü fıkrasında değişikliğe gidildiği, arıtılmış atıksuların kullanımını arttırmak amacıyla ileri arıtma yöntemleriyle arıtılan atıksuların yeniden kullanılması ve kullanım oranına göre enerji teşviğinin %100 'e kadar verilebileceği hususu belirtilmiştir. Bu durumda yapılan pilot çalışmada kuruluşların enerji teşviğinden faydalanabileceğinden çalışma fizibildir.

KAYNAKLAR

- Anglada, A., Urriaga, A. and Ortiz, I., 2009. Pilot scale performance of the electrooxidation of landfill leachate at boron-doped diamond anodes. *Environmental Science and Technology*, 43(6), 2035-2040.
- Ardalı, Y., *Tekstil Endüstrisi Atıksu Kaynakları ve Özellikleri Boyama* <https://avys.omu.edu.tr/public>, 2021
- Baburşah, S., “Tekstil Endüstrisi Atıksularının Gerikazanımı ve Yeniden Kullanılması” İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 117s, İstanbul, 2004
- Brillas, E., Bastida, R.M., Llosa, E. and Casado, J., 1995. Electrochemical destruction of aniline and 4-chloroaniline for wastewater treatment using a carbon-ptfe o₂-fed cathode. *Journal of the Electrochemical Society*, 142(6), 1733–1741.
- Carbonio, E.A., Nagao, R., Gonzalez, E.R. and Varela, H., 2009. Temperature effects on the oscillatory electro-oxidation of methanol on platinum. *Physical chemistry chemical physics : PCCP*, 11(4), 665-670
- Dörtkol M., “Doğal ve Modifiye Kil ile Sulu Çözeltilerden Boyar Madde Giderimi” Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 86s, Nevşehir, 2014
- Elfghi, F. A hybrid statistical approach for modeling and optimization of RON: A comparative study and combined application of response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN) based on design of experiment (DOE)," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 113, p. 264–272, 2016.
- Erol, E., “Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtımı” Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 82, Kocaeli, 2007.
- Hammoudi, A. Moussaceb, K. Belebchouche C. Dahmoune, F. Comparison of artificial neural network (ANN) and response surface methodology (RSM) prediction in compressive strength of recycled concrete aggregates, *Construction and Building Materials*, vol. 209, pp. 425-436, 2019.
- <https://gaosb.org/tr/genel-sayfa/kurumsal/tarihce-1.html>
- <https://mevsu-api.csb.gov.tr/api/mevzuat/DosyaGetir?path=20220615-8.pdf>
- Işık, M., Sponza, D.T., Simüle tekstil atıksuyunun anaerobik/aerobik arıtımı, *Ekoloji*, 14(53) (2004) 1-8.
- İlhan F, Kurt U, Apaydın Ö, Arslankaya Ö, Gönüllü MT. Elektrokimyasal Arıtım ve Uygulamaları: Katı Atık Sızıntı Suyu Çalışması. 2007, AB Sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu.
- Kapdan, İ.K., Kargı, Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtım ile Giderimi, *Turk J Engin Environ Sci*, 24 (2000) , 161 – 169.
- Koby M., Gengec E., Sensoy M.T., Demirbas E., Treatment of textile wastewater by electrocoagulation using Fe and Al electrodes: Optimisation of operating parameters using central composite design, *Coloration Technology*, 130 (2014) 226-235
- Mohamed, Z.E. Using the artificial neural networks for prediction and validating solar radiation, *Journal of the Egyptian Mathematical Society*, vol. 27, p. 47, 2019.

Moreno-Casillas, H.A., Cocke, D.L., Gomes, J.A.G., Morkovsky, P., Parga, J.R. Peterson, E., Electrocoagulation mechanism for COD removal, *Separation and Purification Technology*, Volume 56, Issue 2, 15 August 2007, Pages 204-211

Namal, O.Ö., *Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Kullanılan Proseslerin Araştırılması*, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt 6(ICOCEE 2017 Özel Sayı) 388-396 2017.

Naumczyk, J., Szpyrkowicz, L. and Zilio-Grandi, F., 1996. Electrochemical treatment of textile wastewater. *Water Science and Technology*, 34(17), 17-24.

Niedz, R.P., Bausher, M.G., 2002. Control of In vitro contamination of explants from greenhouse- and field-grown trees. *Vitr. Cell. Dev. Biol. - Plant* 38, 468–471.

Özan, K. *Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında kullanılmak üzere lab/pilot ölçekte membran biyoreaktör tasarımı ve imalatı*, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, 2012.

Özyonar, F. Karagözoğlu, B., *Elektrokoagülasyon Prosesi ile Tekstil Sanayi Atıksuyunun Arıtımı* Treatment of Textile Wastewater by Electrocoagulation Process, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(1) (2012) 29-37.

Raghu, S., Basha, C.A., “Chemical or electrochemical techniques, followed by ion exchange, for recycle of textile dye wastewater” *Journal of Hazardous Materials*, 149, 324-330, 2007

Saleh, M. Yalvaç, M, Arslan, H. Optimization of Remazol Brilliant Blue R Adsorption onto *Xanthium Italicum* using the Response Surface Method, *Karbala International Journal of Modern Science*, vol. 8, no. 1(8), 2019.

Särkkä, H., Bhatnagar, A., Sillanpää, M., Recent developments of electro-oxidation in water treatment — A review, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, Volume 754, 1 October 2015, Pages 46-56

Sirés, I., Brillas, E., Oturan, M.A., Rodrigo, M.A., Panizza, M., 2014. Electrochemical advanced oxidation processes: Today and tomorrow. A review. *Environ. Sci. Pollut. Res.*

Song, P., Yang, Z., Zeng, G., Yang, X., Xu, H., Wang, L., Xu, R., Xiong, W., Ahmad, K., 2017. Electrocoagulation treatment of arsenic in wastewaters: A comprehensive review. *Chem. Eng. J.* 317, 707–725.

Umran, T.U; Koparal, A.S and Ulker, B.O. 2009 Electrocoagulation of Vegetable oil Refinery Wastewater Using Aluminium electrodes. *Environmental Management* 90, 428-433.

Uyanık, S., Çelikel, D.C., *Türk Tekstil Endüstrisi Genel Durumu*, *Teknik Bilimleri Dergisi*, Cilt 9, Sayı 1, 32-41, 2019

Vardar B. *Treatment of Textile Industries Reactive Dye Baths by Electrochemical Methods*. MSc, İstanbul University, İstanbul, Turkey. 2006

Vlyssides, A.G., Israilides, C.J., Loizidou, M., Karvouni, G. and Mourafeti, V., 1997. Electrochemical treatment of vinasse from beet molasses. *Water Science and Technology*, 36(2-3), 271–278.

