



---

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ**  
**ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ**  
**BAKANLIĞI**

---

Tekstil Sektöründe Temiz Üretim Uygulamaları Projesi İşi Nihai Raporu



## YÖNETİCİ ÖZETİ

Bu çalışmada, 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 artılamayan 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.

## **TEŞEKKÜR**

Prof. Dr. Bülent KESKİNLER ve Prof. Dr. Ahmet KARAGÜNDÜZ, bu projenin gerçekleşmesine vesile olan Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü'ne ve Gaziantep Organize Sanayi Bölgesi Müdürü M. Özer ÖZCAN'a ve merkezi atıksu arıtma tesisi birim müdürü Meltem Pakize POLAT'a teşekkür eder.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
YÖNETİCİ ÖZETİ	1
TEŞEKKÜR	2
İÇİNDEKİLER	3
TABLOLAR DİZİNİ	4
ŞEKİLLER DİZİNİ	5
KISALTMALAR ve SİMGELER	6
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>7</b>
<b>2. TEORİK ESASLAR</b>	<b>9</b>
2.1. Tekstil Endüstrisi Hakkında Genel Bilgiler	9
2.2. Tekstil Endüstrisi Atıksu Kaynakları ve Özellikleri	12
2.3. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddeler ve Çevresel Riskleri	16
2.4. Elektrokimyasal Arıtım Prosesleri	18
2.4.1. Elektrokimyasal proseslerin avantajları	19
2.4.2. Elektrokimyasal arıtım proseslerini etkileyen parametreler	19
2.4.3. Elektrokoagülasyon prosesi	20
2.4.4. Elektrooksidasyon prosesi	22
<b>3. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b>	<b>24</b>
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>25</b>
4.1. Ham Atıksu Özellikleri ve Analizler	25
4.2. Laboratuvar Ölçekli Elektrooksidasyon Arıtma Sistemine Ait Teknik Bilgiler	27
4.3. Pilot Ölçekli Elektrooksidasyon+Aktif Karbon Arıtma Sistemine Ait Teknik Bilgiler	28
4.4. Pilot Ölçekli Elektrooksidasyon+Aktif Karbon+Nanofiltrasyon Membran Arıtma Sistemine Ait Teknik Bilgiler	29
4.5. Pilot Çalışmalara Ait Sonuçlar	30
<b>5. BULGULAR VE TARTIŞMA</b>	<b>31</b>
5.1. Laboratuvar Ölçekli Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar	31
5.1.1. Aktif Karbon Kumaşın Elektrot Olarak Kullanılması	31
5.1.2. Grafitin Elektrot Olarak Kullanılması	36
5.2. Pilot Ölçekli Elektrooksidasyon+Aktif Karbon (EO+AK) Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar	45
5.3. Pilot Ölçekli Elektrooksidasyon+Aktif Karbon+Nanofiltrasyon (EO+AK+NF) Membran Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar	49
5.4. Geri Kazanılan Tuzlu Su İle Kumaş Boyama Çalışmaları	57
5.4.1. E-kontrol Boyama	57
5.4.2. Jet Boyama	62
5.5. Pilot Ölçekli Prosese Ait İşletme Maliyet Analizi	65
5.6. Pilot Ölçekli EO+AK+NF Membran Arıtma Sisteminin Sağlayacağı Faydalar	66
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>67</b>

## TABLolar DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 1. Farklı tekstil endüstrilerine ait işlem basamakları ve atıksu karakterizasyonu	14
Tablo 2. Tekstil atıksularının karakterizasyonu	26
Tablo 3. Tekstil atıksularının karakterizasyonu	26
Tablo 4. Tekstil boya banyosu atık sularının karakterizasyonu	32
Tablo 5. Elyaf boya banyosu atık sularının karakterizasyonu	36
Tablo 6. Bağımsız değişken aralıkları	37
Tablo 7. Test edilen modeller için regresyon katsayıları	38
Tablo 8. Renk giderme için ANOVA ve uyumsuzluk testleri sonuçları	39
Tablo 9. KOİ giderme için test edilen modeller için regresyon katsayıları	40
Tablo 10. KOİ giderimi için ANOVA ve uyum eksikliği testleri sonuçları	40
Tablo 11. Renk ve KOİ giderme modelleri için performans göstergesi	41
Tablo 12. Deney sonuçları ve beklenen veriler arasındaki tasarım matrisi	41
Tablo 13. Farklı parametreler için başlangıç, son ve standart değerler	45
Tablo 14. Yuvarlak örgü kumaş boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları	46
Tablo 15. Penye kumaş boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları	47
Tablo 16. Akrilik iplik boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları	48
Tablo 17. İplik ve kumaş boyama, havlu kumaş dokuma ve konfeksiyonu boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları	49
Tablo 18. Yuvarlak örgü kumaş boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları	51
Tablo 19. Yuvarlak örgü kumaş boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları	52
Tablo 20. Yuvarlak örgü kumaş boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları	53
Tablo 21. İplik ve kumaş boyama, havlu kumaş dokuma ve konfeksiyonu boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları	55
Tablo 22. Penye kumaş boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları	56
Tablo 23. Pamuklu kumaş boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları	57
Tablo 24. Kumaş boyama banyosu atık sularının EO+AK+NF membran prosesiyle arıtımı için maliyet analizi	65

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1. Tekstil üretim zinciri	10
Şekil 2. Örgü kumaşlara uygulanan ıslak işlemler	11
Şekil 3. Dokuma kumaşlara uygulanan ıslak işlemler	12
Şekil 4. Tekstil endüstrisinin farklı basamaklarında ana kirletici bileşenleri	13
Şekil 5. Boyar madde içeren atıksuların arıtımında kullanılan prosesler diyagramı	17
Şekil 6. EK prosesinin genel mekanizması	21
Şekil 7. EO prosesinin genel mekanizması	23
Şekil 8. Laboratuvar ölçekli EO arıtma sistemi	27
Şekil 9. Pilot ölçekli EO arıtma tesisi	29
Şekil 10. Pilot ölçekli EO+AK+NF membran arıtma tesisi	30
Şekil 11. Akım yoğunluğunun (A) KOİ, (B) renk, (C) klorür, (D) iletkenlik giderme verimliliği üzerindeki etkisi ve (E) pH'ın reaksiyon sırasında zamana göre değişimi.	33
Şekil 12. Çözelti pH'ının (A) KOİ, (B) renk, (C) klorür, (D) iletkenlik giderme verimliliği üzerindeki etkisi ve (E) pH'ın reaksiyon sırasında zamana göre değişimi.	35
Şekil 13. Arıtılmış tekstil boya banyosu atık sularının zamana karşı fotoğrafları.	36
Şekil 14. Elektrooksidasyon deneyleri için kullanılan deney düzeneği	37
Şekil 15. Tasarlanan ANN modeli	38
Şekil 16. (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	43
Şekil 17. (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	44
Şekil 18. Aqua-turkuaz rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması	46
Şekil 19. Opak siyah rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması	47
Şekil 20. Lacivert rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması	48
Şekil 21. Kırmızı rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması	49
Şekil 22. Koyu lacivert rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması	50
Şekil 23. Kırmızı+turuncu+mor rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması	52
Şekil 24. Lacivert+turuncu+mor rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması	53
Şekil 25. Lacivert+siyah rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması	54
Şekil 26. Lacivert+siyah rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması	56
Şekil 27. Fulard boyama makinesinin çalışma prensibi	58
Şekil 28. Sıcak suda kaynatma prosedürü	60
Şekil 29. Kurutma prosedürü	61
Şekil 30. Spektrofotometre cihazı	61
Şekil 31. Jet boyama makinası ve elemanları, 1. Kumaş, 2. Flotte, 3. Düze Sistemi, 4. İlave Tankı	62
Şekil 32. Geri kazanılan tuzlu su ile gerçekleştirilen kumaş boyamaları	65

## KISALTMALAR ve SİMGELER

<b>Kısaltma/Simge</b>	<b>Tanım</b>
AK	Aktif Karbon
AKM	Askıda Katı Madde
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
EK	Elektrokoagülasyon
EO	Elektrooksidasyon
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
NF	Nanofiltrasyon
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TOC	Toplam Organik Karbon
TP	Toplam Fosfor

## 1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışına bağlı olarak gelişen endüstrileşme ile birlikte bütün dünyada su kullanımı artmaktadır. Bununla birlikte su kaynakları hızlı bir şekilde tükenmekte ve temiz su kaynakları kirlenme tehlikesi ile karşı karşıya kalmaktadır. Günümüzde birçok ülkede insanların temiz su kaynaklarına erişimi zorlaşmakta veya tamamen ortadan kalkmaktadır. İçme ve kullanma amacıyla tüketilen suyun yanı sıra endüstri için de suya ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle tekstil endüstrisinde su, proseslerin hemen her basamağında kullanılmakta ve bunun sonucunda büyük miktarlarda atık su oluşmaktadır. Bu endüstrilerde oluşan atık suyun yönetilmesi, arıtılması ve yeniden kullanılabilir hale getirilmesi hem ekonomik olarak hem de tüm insanlığın en büyük ihtiyacı olan su kaynaklarının korunması açısından büyük öneme sahiptir.

Ülkemizde en gelişmiş sektörlerden biri tekstil endüstrisidir. Özellikle ihracatta tekstil ürünleri en üst sıralarda yer almaktadır. Türkiye'nin imalat sanayi üretim değeri toplamının %8.8'ini ve imalat sanayinde yaratılan katma değer %9.9'unu tekstil sektörü sağlamaktadır. Tekstil sektörü, hazır giyim sektörünün tedarik zinciri altında da yer alan geniş kapsamlı üretim yelpazesine sahiptir. Elyaf, iplik, örme/dokuma kumaş, keçe ve tafting yüzeylerin dâhil olduğu dokusuz yüzeyler, ev tekstili ürünleri, halılar, bunların yanında ağ, ip, tekstil kablo, taşıyıcı tekstil bandı, branda, koruyucu bez, filtre, paraşüt, fren bezi gibi teknik kullanıma yönelik teknik tekstiller, tekstil sektöründe yer almaktadır. Türk Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu (GTİP)'nin 50-60 arası fasılları ve 63 fasıl grubunun büyük bir kısmı bu grupta değerlendirilmektedir (Uyanık ve Çelikel, 2019).

Tekstil endüstrisi tabii ve fabrikasyon elyafları kullanarak kumaş ve diğer tekstil ürünleri imal eden bir endüstri dalıdır. Günümüzde tekstil endüstrisi gerek ekonomik büyüklük ve gerekse sağladığı istihdam kapasitesi ile dünya sanayileri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Ülkemizde de tıpkı dünyada olduğu gibi tekstil endüstrisi sağladığı istihdam, ekonomik büyüklük ve ihracat kapasitesi ile önemli ve başlıca sektörler arasındadır. Tekstil endüstrisi büyük ve yaygın olmasının yanı sıra kullanılan elyaflara, hammaddelere ve üretim süreçlerine bağlı olarak çok çeşitli kategorilere ayrılmıştır. Tekstil endüstrisindeki üretim aşamalarına göre, farklı atıksu karakterizasyonuna sahip atıksular oluşmaktadır. Bu atıksuların alıcı ortamlara deşarj edilmeden önce yönetmeliğin ön gördüğü seviyelere kadar arıtılması gerekmektedir. Su tüketiminin oldukça yüksek olduğu tekstil endüstrisi atıksuları hem miktarları hem de bileşimleri açısından oldukça değişkendirler. Bu atıksular kompleks bir yapıya sahip olup yüksek miktarlarda boyar maddeye sahiptirler (Özan, 2012). Ayrıca biyolojik oksijen ihtiyacı



(BOI), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde (AKM), renk vb. gibi pek çok kirletici içermektedirler. Bu kirleticiler nedeniyle tekstil atıksuları biyolojik olarak parçalanması zor organik kirliliğe sahip olup alıcı ortamlarda önemli derecede kirletici etkilere sahiptirler. Ayrıca boyar maddeler sonucunda önemli derecede renk sorunları oluşmaktadır. Renk parametresi; fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle arıtımı ve deşarj kriterlerinin sağlanması zor olan bir parametredir. Renk, ancak ileri arıtma yöntemleri uygulanarak arıtılabilmektedir. Tipik bir boyama prosesinde boyarmaddenin %50-100 arasında kumaşa tutunması sağlanır. Geriye kalan boyarmadde, boya banyosu atıksuyu olarak ya da diğer tekstil yıkama işlemlerinden gelen atıksularla birleştirilerek deşarj edilir (Kapdan ve Kargı, 2000).

Yüksek oranda KOİ ve renk içeren atık suların arıtımı için birçok fiziksel, kimyasal veya biyolojik yöntemler mevcuttur (Namal, 2017). Bu yöntemler arasında elektrokimyasal arıtım yöntemleri, içme ve kullanma suyu standartları ve atıksu deşarjı limitleri ile ilgili düzenlemelerin artmasıyla önem kazanmıştır (Koby ve ark., 2014). Basit işletme parametreleri, çok yönlü prosesler olmaları, yüksek hacimlerde atıksularda uygulanabilirliği elektrokimyasal arıtımın başlıca avantajlarıdır. Elektrokimyasal arıtım proseslerinin genel mekanizmasında koagülasyon, adsorbsiyon, absorpsiyon, çöktürme ve flotasyon prosesleri bulunur. Elektrokimyasal arıtım yöntemleri elektrooksidasyon, elektrokoagülasyon ve elektroflotasyon olarak sıralanabilir. Elektrokimyasal proseslerin en önemli farklılıkları prosesin şekli ve yapısıdır (Elektrot tipi, uygulanılan akım, elektriksel gerilim ve prosesin tipi) (Koby ve ark., 2014).

Bu projenin amacı; tekstil sektöründe temiz üretim kapsamında boyama yapan tekstil işletmelerinde mevcut proses akışını değiştirmeden boya banyo atıksularında KOİ ve renk parametresini düşüren, KOİ ve renk parametrelerini düşürürken çamur oluşturmayan bir arıtma sisteminin tasarlanması, tuzlu suyun geri kazanılması, tasarlanan sisteme yönelik KOİ ve renk giderimi için prototip geliştirilerek pilot ölçekli çalışmaların gerçekleştirilmesi ve pilot çalışmalar sonucunda benzer sorunu yaşayan sektörlerde bu prototipin uygulanabilirliği ile renk giderimi yapılmış ve uygun alkaliniteye getirilmiş tuzlu suyun kumaş boyama ve yıkamada yeniden kullanımının araştırılmasıdır.

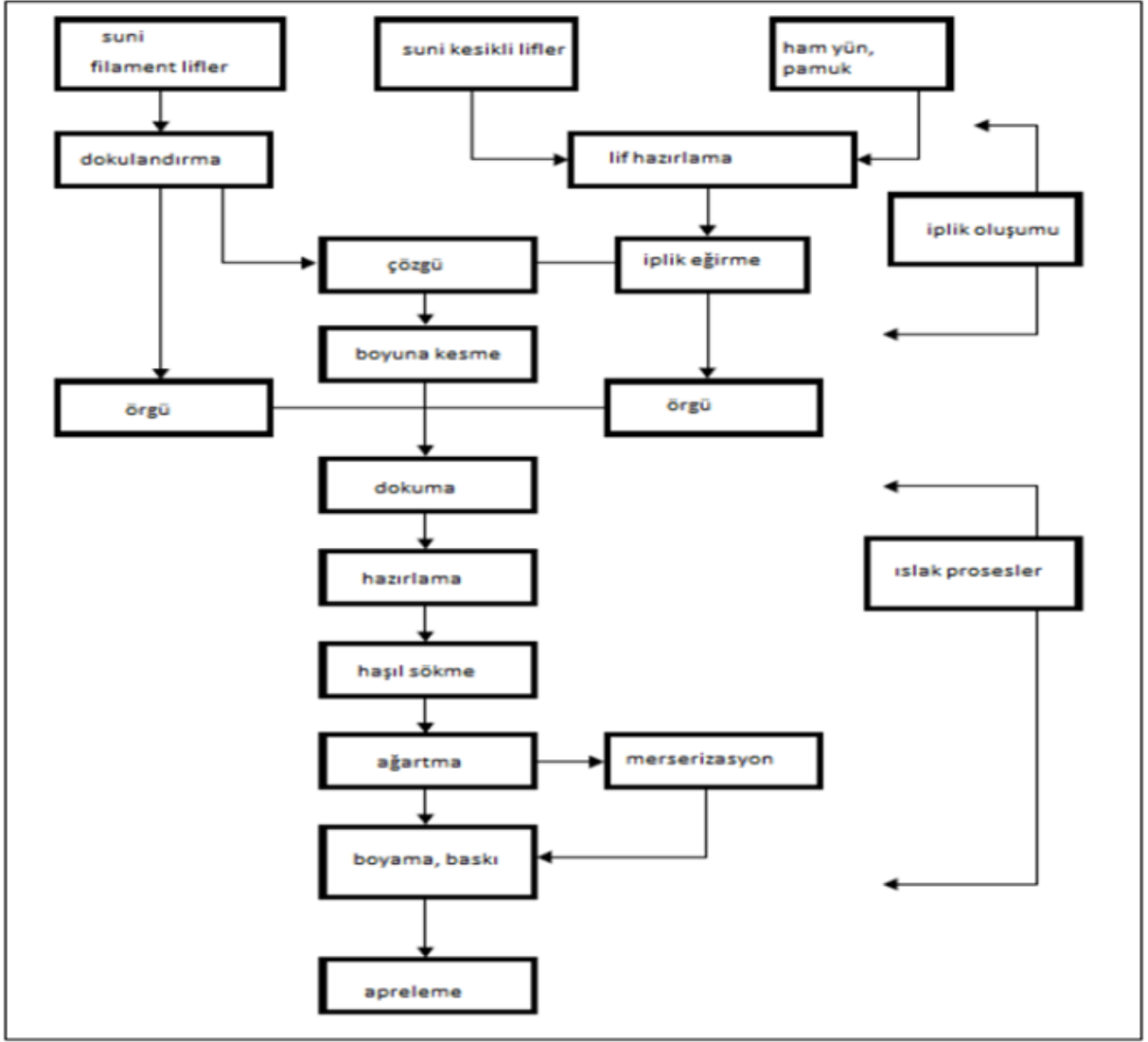
## 2. TEORİK ESASLAR

### 2.1. *Tekstil Endüstrisi Hakkında Genel Bilgiler*

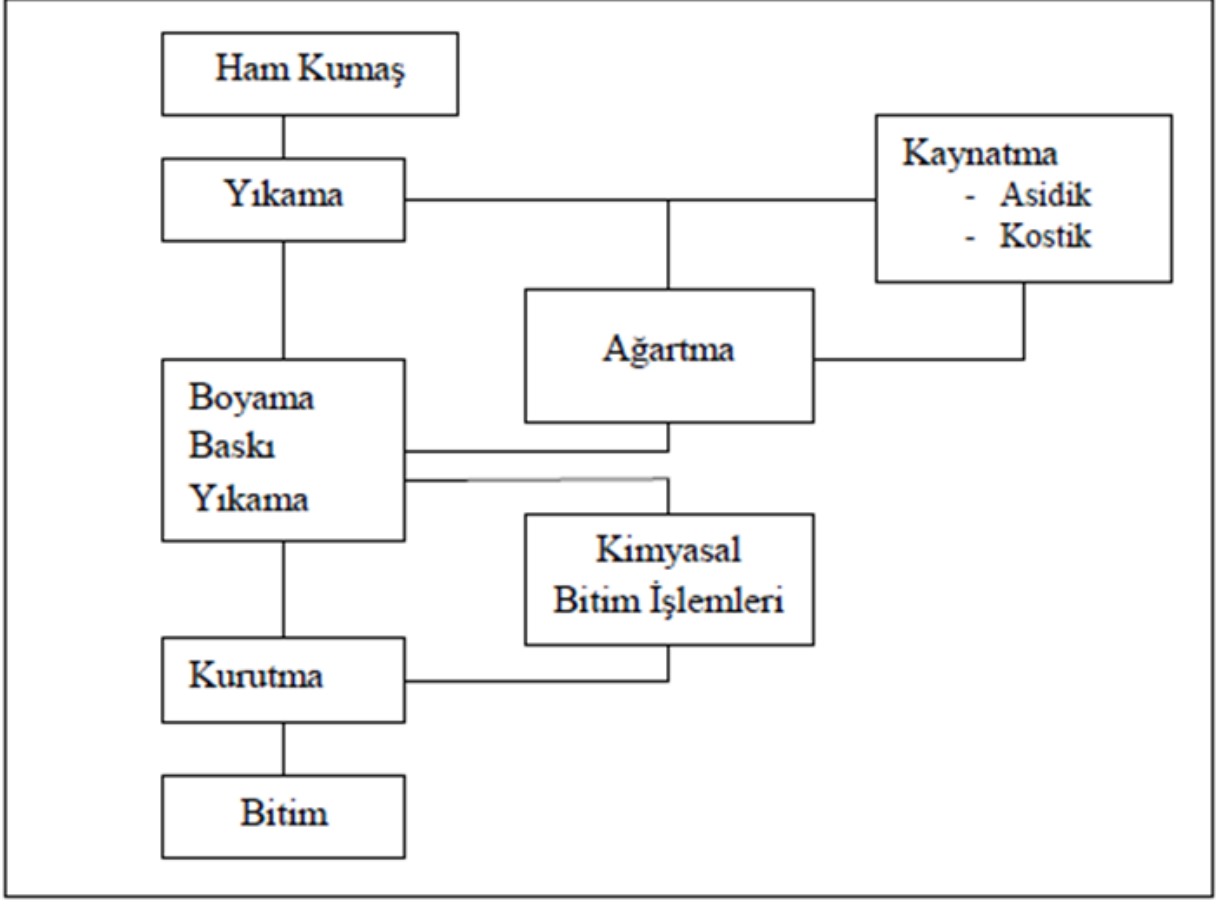
Tekstil endüstrisi doğal ve sentetik elyafları kullanarak kumaş ve diğer tekstil ürünlerini imal eden bir endüstri dalıdır. Tekstil endüstrisi doğal ve fabrikasyon ipliklerin hazırlanması, dokuma, örme veya başka yöntemlerle kumaş, triko, halı gibi tekstil ürünleri haline getirilmesi, iplik ve kumaşlara boya, baskı, apre gibi terbiye işlemlerinin uygulanması faaliyetlerini içerir.

Tekstil sektörü, çok sayıda alt sektörden oluşan heterojen bir yapıya sahiptir. Endüstride sentetik elyaf üretimi; doğal, sentetik elyaf hazırlama ve iplik üretimi; kumaş dokuma, örme, dokusuz yüzeyle (non-woven) kumaş üretimi ve halı imalatı süreçlerini içermektedir. Tekstil endüstrisinde imalat süreçlerinde terbiye, boyama, baskı ve apreleme işlemleri gibi yaş (ıslak) prosesler ile dokuma, örme, eğirme, kurutma, fikse işlemleri gibi kuru proseslerden yararlanılmaktadır. Şekil 1’de tekstil üretim zinciri, Şekil 2’de örgü kumaşlara uygulanan ıslak işlemler, Şekil 3’te ise dokuma kumaşlara uygulanan ıslak işlemler gösterilmektedir.

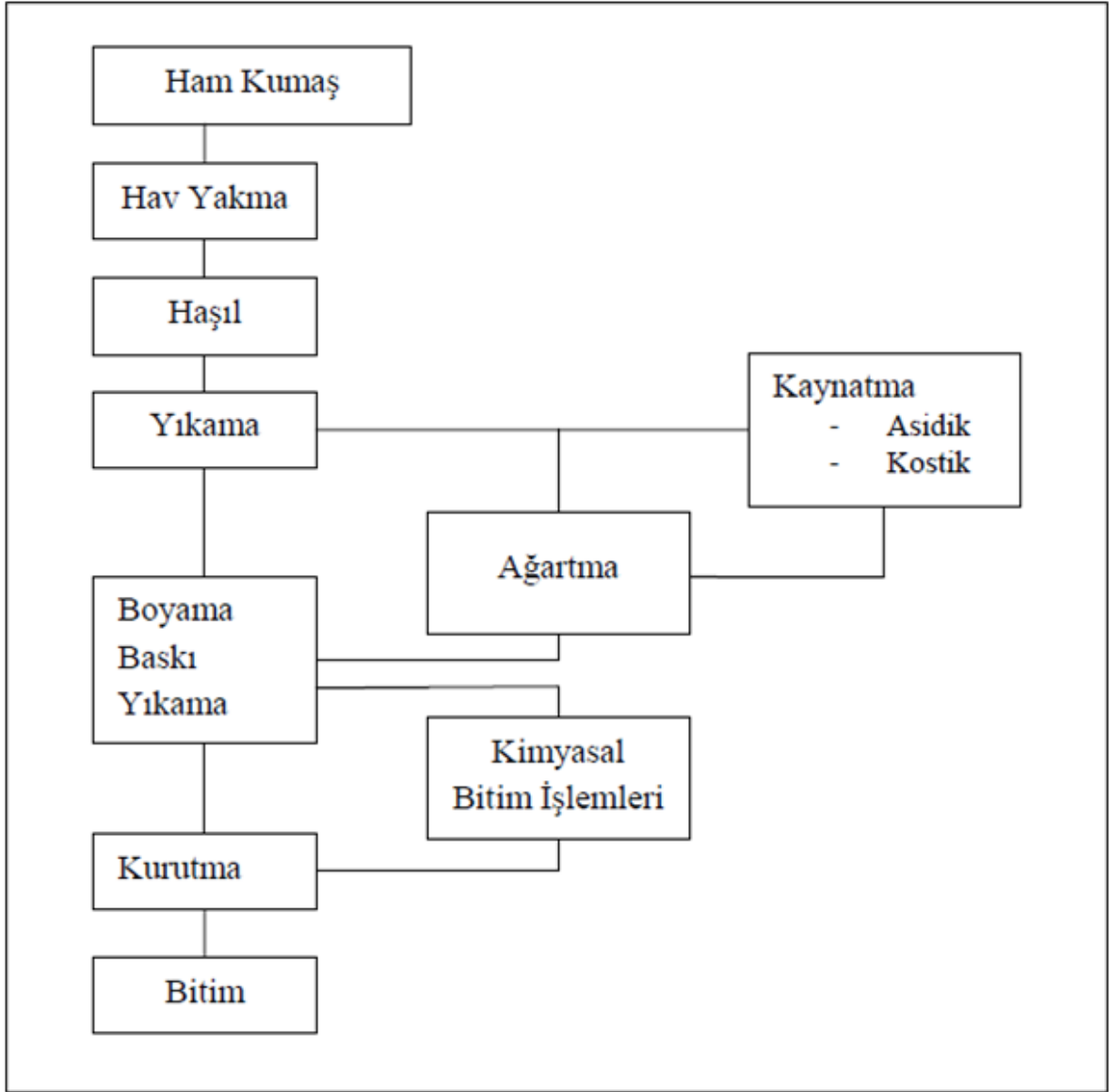
Tekstilde boyama işlemi çok çeşitlidir; elyaf boyama, iplik boyama, kumaş boyama ve parça boyama gibi. Boyamanın hangi boyar maddelerle ve nasıl yapılacağı kumaşın türüne bağlıdır. Kumaşın cinsi (pamuk, ipek, keten, yün, kaşmir, akrilik, naylon, polyester, likralı) boyamada önemlidir. Bazen bir kumaş 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.



Şekil 1. Tekstil üretim zinciri (Ardalı, 2021)



Şekil 2. Örgü kumaşlara uygulanan ıslak işlemler (Ardalı, 2021)



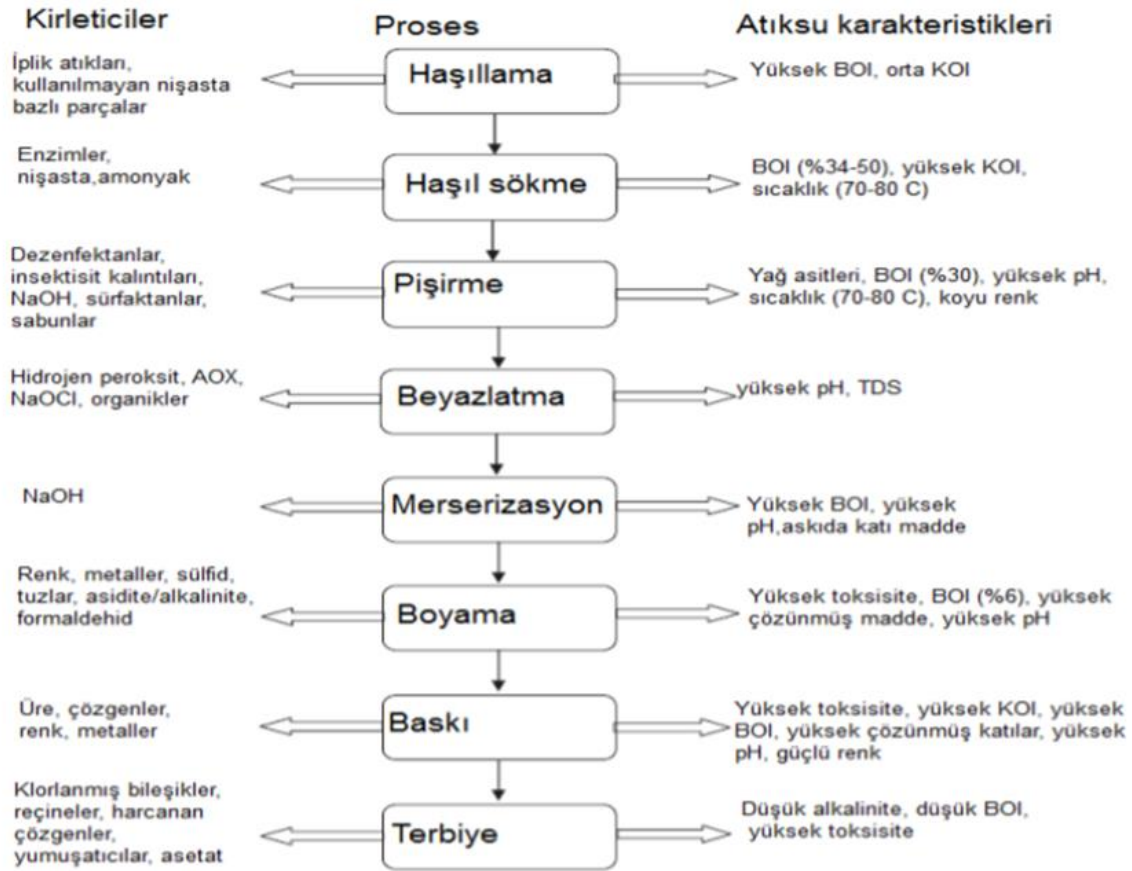
**Şekil 3.** Dokuma kumaşlara uygulanan ıslak işlemler (Ardalı, 2021)

## **2.2. Tekstil Endüstrisi Atıksu Kaynakları ve Özellikleri**

Tekstil endüstrisinde oluşan atıksular genel olarak miktar ve bileşim yönünden oldukça değişkenlik göstermektedir. Her geçen gün yenilenen işletme prosesleri ve uygulanan teknolojilerdeki farklılıklar, oluşan atıksuların bileşimine yansımaktadır. Örneğin, haşılama işleminde açığa çıkan atıksu miktarı düşük, fakat kirlilik yükü yüksek olabilmektedir (toplam KOI'nin yaklaşık %30-70'ini oluşturmaktadır). Yıkama, boyama ve ağartma işlemleri büyük miktarda su kullanımını gerektirdiğinden yüksek hacimli, renkli ve düşük organik madde içeren atıksuların oluşmasına neden olabilmektedir.

Tekstil atıksularının bileşimi uygulanan işletme koşullarına, ıslak ve kuru proses basamaklarında kullanılan farklı organik kökenli bileşiklere, boyamada ve diğer işlemlerde kullanılan organik ve inorganik formdaki kimyasalların çeşitliliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu atıksularda genel olarak, KOI, pH, BOI<sub>5</sub>, renk ve tuzluluk gibi birçok kirlilik parametresi yüksek değerler göstermekte ve endüstrideki farklı teknolojiler paralelinde uygulanan her işlem, açığa çıkan atıksuların standart bir arıtma yöntemi ile arıtılmasını olanaksız hale getirmektedir.

Tekstil sektöründe faaliyet gösteren çoğu işletme; haşılama, haşıl sökme, mersevizasyon, yıkama ve boyama gibi işlem proseslerini içermektedir. Her bir işlemde kullanılan maddeler aynı zamanda atıksuyun kompozisyonunu oluşturmaktadır. Çeşitli tekstil prosesleri sırasında açığa çıkan atıksu miktarları ve atıksu bileşimi Tablo 1’de sunulmuştur. Tablo 1 göz önünde bulundurularak tekstil atıksularının karakterizasyonunda en fazla kirlilik yükü getiren işlem basamakları aşağıda kısaca açıklanmıştır. Şekil 4’te tekstil endüstrisinin farklı proseslerinde ana kirlenici bileşenleri ve atıksu karakteristikleri gösterilmektedir.



Şekil 4. Tekstil endüstrisinin farklı basamaklarında ana kirlenici bileşenleri (Ardalı, 2021).

**Tablo 1.** Farklı tekstil endüstrilerine ait işlem basamakları ve atıksu karakterizasyonu (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 <sub>5</sub> (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
Toplam Askıdaki Katı (mg/L)	Yün	-	1000-26200	900	-	-
	Pamuk	18-800	184-17400	130-25000	120-190	-
	Sentetik	-	600-3300	-	140	-
Toplam Çözünmüş Katı (mg/L)	Pamuk	530-6900	-	4760-19500	-	-
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	Yün	-	5800	-	-	-
	Pamuk	250-2750	-	320	-	-
Toplam Kjeldahl Azotu (mg/L)	Pamuk	70	-	40	-	-
	Sentetik	-	-	-	-	164
Amonyum Azotu (mg/L)	Yün	-	604	-	-	-
	Pamuk	9-19	-	8-19	-	-
Toplam Fosfor (mg/L)	Sentetik	-	-	-	-	129
	Pamuk	4-10	-	6-60	-	-
Fosfat (mg/L)	Sentetik	-	-	-	-	21
	Yün	-	89	-	-	-
Sülfür (mg/L)	Yün	-	0-2	-	-	-
	Pamuk	-	-	-	325-900	-
Sülfat(mg/L)	Pamuk	-	-	-	1750-2690	-
	Genel	-	-	-	-	-
Klorür (mg/L)	Elyaf lar	-	-	90-100	26000	-
	Yün	-	580-55000	-	-	-
Yağ-Gres (mg/L)	Yün	-	580-55000	-	-	-
	Cr <sup>2+</sup> (mg/L)	Yün	-	50	-	-
pH	Yün	-	7.6-10.4	6	4.6-8	-
	Pamuk	8.8-9.2	7.2-13	6.5-13.5	9.2-10.1	-
	Sentetik	-	8-10	-	11.7	-
Su Tüketimi (L .kg <sup>-1</sup> elyaf)	Yün	-	4-77.5	-	40-150	280-520
	Pamuk	-	2.5-43	30-50	38-143	-
	Sentetik	-	17-67	-	38-143	-

*Haşılama ve Haşıl Sökme:* Haşılama; dokuma öncesi yapılan bir dokuma hazırlık işlemidir. Temel olarak iplikleri dokuma sırasındaki maruz kalacağı mekanik etkenlerden korumak ve mukavemet kazandırmak amacı ile yapılmaktadır. Tekstil prosesinin bu aşamasında oluşan atığın büyük kısmı lif havı, iplik atığı ve proseste kullanılan nişasta bazlı haşıldır. Kullanılan haşıl maddeleri bu prosesten çıkan atıksulardaki en büyük kirlilik kaynağını oluşturmaktadır.

Oluşan atıksular hacimsel olarak düşük fakat yüksek seviyelerde KOI, BOI<sub>5</sub> ve AKM içermektedir (Ardalı, 2021).

*Yıkama:* Bu proste pamuktan vaks, yağ ve pamuğun selüloz olmayan diğer bileşenleri sıcak alkali, deterjan veya gliserol eterler gibi sabun çözeltileri ve yıkama solventleriyle uzaklaştırılır. Uygulama sırasında artık kimyasallar suya karışarak kimyasal ve toksik madde içeriği yüksek bir atıksu bileşimi oluştururlar. Atıksuyun pH'ı oldukça alkali olup, 10-11 civarındadır ve yüksek KOI ve katı madde içeriğine sahiptir. Yünün yıkanması ise tekstil endüstrisinde kirlilik yükü en fazla olan basamaktır. Ham yünün yaklaşık ağırlıkça %30-70'i safsızlık (yün yağı, katı madde, dışkı) içermektedir (Ardalı, 2021).

*Yün Karbonizasyonu:* Mekanik işleme veya yıkama ile giderilemeyen yünün içindeki güçlü kirleticilerin giderilmesi için uygulanmaktadır. Uygulamada, yüne zarar vermeyecek şekilde selülozu parçalamak için yüksek sıcaklıkta güçlü asitler kullanılır. Yün karbonizasyon basamağını takip eden işlem basamağına geçmeden önce, kullanılan güçlü asitlerin etkisini gidermek için nötralizasyon ve yıkama gerekmektedir. Bu basamakta oluşan atıksuların organik madde içeriği düşük fakat katı madde içeriği yüksektir (Ardalı, 2021).

*Keçeleştirme:* Bu basamakta daha küçük, mat ve yoğun bir materyal elde etmek için genellikle karbonizasyon basamağından sonra yün elyafa keçeleştirme işlemi uygulanır. Proste kullanılan maddeler sıcak soda çözeltileri ve sülfürik asittir. İşlemi bitirmiş elyaf yıkandığında oluşan atıksu yüksek miktarda BOI<sub>5</sub> içermektedir (Ardalı, 2021).

*Ağartma:* Ağartma işleminin amacı, istenmeyen renkleri bazı kimyasallar yardımı ile gidermektir. Daha çok sodyum hipoklorit, sodyum silikat, hidrojen peroksit ve enzimler gibi ağartma ajanları kullanılır. Yüksek seviyede klorür veya peroksitler biyolojik arıtmada inhibisyon problemine neden olabilirler. Bu basamakta oluşan atıksuyun BOI<sub>5</sub> içeriği düşük, katı madde içeriği yüksektir (Ardalı, 2021).

*Merserizasyon:* Bu işlem, dokumanın parlaklığını artırmak ve boyayı daha iyi tutmasını sağlamak amacıyla uygulanmaktadır. Merserizasyon işleminde en yaygın kullanılan maddelerden biri pH'ı artırmak için eklenen sodyum hidroksittir. Bunun için dokuma %25 kostik soda ile kaplanır ve bu da atıksuyun pH'ını artırmaktadır. Bazen dokumanın parlaklığını artırmak için pamuk mumu da kullanılır. Oluşan atıksuların BOI<sub>5</sub> ve katı madde içeriği düşüktür ancak doğal yağ, NaOH ve pamuk mumu içerir (Ardalı, 2021).

*Boyama:* Tekstil endüstrisinde dokumaya renk vermek için genellikle katran veya petrol bazlı ara ürünlerden elde edilen sentetik boyalar kullanılır. Boyama liflere renk verme prosesidir.



Sadece boya banyosunda değil, boyama sonrası sırasında da çok su tüketimi gerçekleşmektedir. Boyama işleminde lif üzerine boyanın tutunmasını artırmak için metaller, tuzlar, formaldehit, sülfür, sülfür, yüzey aktifler gibi atıksuda temel kirlilik yaratan kimyasallar suya eklenebilmektedir. Boyama prosesi sonrasında genellikle yüksek renk ve düşük organik madde içeriğine sahip atıksular oluşmaktadır (Ardalı, 2021).

*Baskı:* Bu proseste kullanılan materyaller boyamada kullanılanlarla aynıdır, basamaklar arasındaki tek fark elyafın sadece belirli bölgelerinin boyanmasıdır. Açığa çıkan atıksu renkli olup, inceltici, boyar madde, üre, sürfaktan ve solventler gibi çeşitli kimyasallar içermektedir. Bu proses basamağında oluşan atıksu, endüstri atıksuyunun KOI, renk ve azot parametrelerinin değerlerini artırıcı özellik taşımaktadır (Ardalı, 2021).

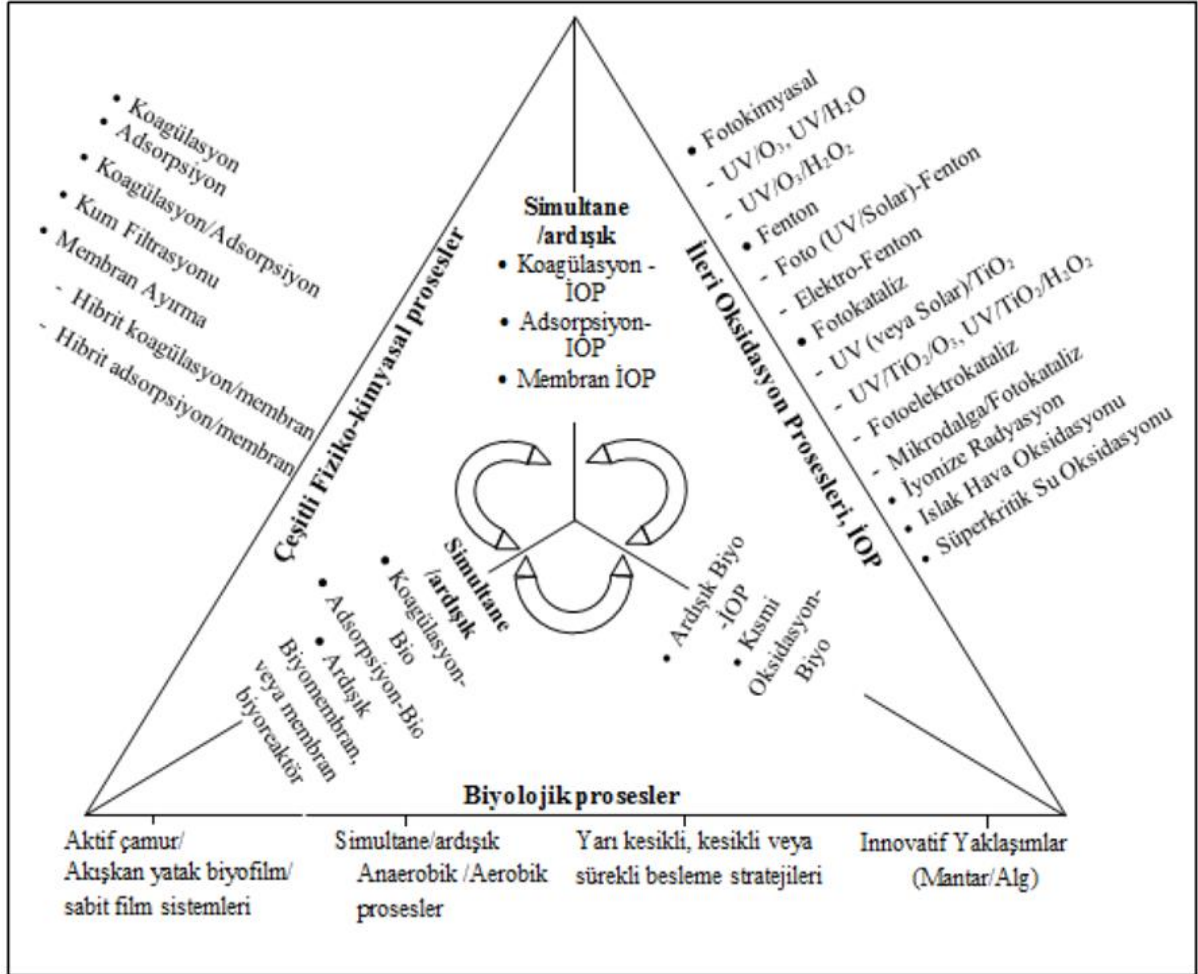
*Apreleme (Bitim İşlemleri):* Apreleme, dokumaya istenilen özelliklerin kazandırıldığı son aşamadır. Pamuk dokumalara geçici nişasta aprelemesi yapılır. Son tekstil dokumasına antimikrobiyal özellik kazandırmak ve ürünü mikrobik saldırılardan korumak için biyosit özellikli apreleme ajanları kullanılır. Biyositler (halojenli difenil alkanlar veya eterler) temelde inorganik veya organik kökenli sentetik kimyasallardır. Bunlar, üretilen tekstil materyalini mikrobiyolojik bozunmadan korumak için kullanılan dezenfektan veya kimyasallardır (Ardalı, 2021).

### **2.3. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddeler ve Çevresel Riskleri**

Boyar maddeler, kromoforlardan ve kromofor grubunun özelliklerini artıran ve destekleyen oksokrom adı verilen gruplardan oluşmaktadır. Organik bir molekül içinde renkli görünümü sağlayan atom, atom grubu veya elektronlara kromofor denir. Kromofor grupları, azo (-N=N-), karbonil (-C=O), metil (-CH=) ve nitro (-NO<sub>2</sub>) gruplarıdır. Bu boyar maddeler içinde üretilen yıllık boya miktarının ağırlıkça %70'ini oluşturan boyar madde türü, bir veya daha fazla azo bağı (-N=N-) içermeleri ile karakterize edilen azo boyalardır.

Tekstil proses atıksuları genellikle 10-20 mg/L konsantrasyon aralığında boyar madde içermektedir ve oldukça renkli atıksulardır. Herhangi bir arıtım uygulanmadan alıcı ortama direkt deşarj edildiklerinde bazı problemlere neden olabilmektedirler. Bu problemlerden en önemlileri, boyaların toksik etki göstermeleri ve doğada biyoakümülyasyona neden olmalarıdır. Boyar maddeler kimyasal ve fotolitik olarak stabil olduklarından, doğal çevrede inatçı ve kalıcıdır. Tüm bu sebeplerden dolayı, arıtılmadan çevreye deşarjı ekotoksik risk oluşturma, ayrıca estetik problemlere neden olmaktadır.

Tekstil atıksularından rengin gideriminde birçok fizikokimyasal ve biyolojik prosesler kullanılmaktadır. Bu prosesler genel olarak incelendiğinde, biyolojik yöntemler fiziksel ve kimyasal yöntemlere göre ekonomik ve çevre dostu olması bakımından avantajlıdır. Ancak, yapılan çalışmalarda bu renk giderim proseslerinden sadece tek birinin kullanılmasının çoğu kez yeterli olmadığı, birçok yöntemin bir arada kullanımının teknik ve ekonomik olarak daha uygun olduğu gösterilmiştir. Şekil 5'te boyar madde içeren atıksuların arıtımında kullanılan proseslere ait diyagram gösterilmektedir.



**Şekil 5.** Boyar madde içeren atıksuların arıtımında kullanılan prosesler diyagramı (Ardalı, 2021).

Tekstil terbiye endüstrisi biyolojik olarak parçalanabilen ya da parçalanamayan birçok bileşik kullanır. Atıksudaki yabancı maddelerin çoğu biyolojik olarak parçalanabilir olmamasına rağmen bazı durumlarda açık kanala deşarjlar, biyolojik ayrışma safhası boyunca kanalizasyon suyunun oksijen seviyesini, sağlıklı su kalitesi için gerekli değerin altına düşürebilir ve suyun bozulmasına öncelik edebilir.

Kimyasal madde ve suyun yoğun miktarda kullanımı, fazla miktarda ve çok kirli atıksuların oluşumuna neden olur. Dünya genelinde yılda 700000 ton boya üretildiği literatürde belirtilmiştir. Tekstil endüstrisi bir ton ürün başına tipik olarak 200-350 m<sup>3</sup> atıksu üretir, ortalama kirlilik her ton için 100 kg KOI olarak belirtilmiştir.

Tekstil endüstrisi atıksuları yüksek konsantrasyonda boyar madde, BOI, KOI ve AKM ihtiva eden atıksulardır. Bu yüksek oranda KOI ve renk verici maddeler atıksuyu estetik olarak kötüleştirerek, normal hayat için gerekli olan çözünmüş oksijen miktarını azaltmakta ve atıksuyun arıtımını güçleştirmektedir.

Tekstil atıksularının arıtımı için fiziksel, kimyasal ve biyolojik metotların çeşitli bileşimlerinden meydana gelen geleneksel metotlar mevcuttur. Yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtma proseslerinin çoğu, boya, KOI ve bulanıklık gideriminde etkili olmalarına rağmen renk gidermede etkisiz kalmaktadırlar. Bu nedenle elektrokimyasal arıtım prosesleri en etkili proseslerin başında gelmektedir.

#### ***2.4. Elektrokimyasal Arıtım Prosesleri***

Su kalitesi, suyun çeşitli kullanımları veya süreçleri sürdürmek için uygunluğunu ifade etmek için kullanılan bir terimdir. Suyun kalitesi; konsantrasyon açısından tanımlanabilir ve suyun içindeki fiziksel özellikleri ile birlikte suda bulunan organik ve inorganik malzemeyi belirtir. Yüzey 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. Bu etkilerden bazıları, evsel, endüstriyel, kentsel ve diğer atık suların su yollarına deşarjı gibi kirletici faaliyetlerdir. 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., 20074). Elektrokimyasal arıtma işlemleri, özellikle elektrokoagülasyon (EK), elektroflotasyon (EF), ve elektrooksidasyon (EO) 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 (CO<sub>2</sub>) ve su (H<sub>2</sub>O) gibi son ürünlere dönüştürmektir. EK ve EO süreçleri, 1946'dan bu yana çeşitli atık suların (içme suyu arıtımı, evsel atıksu, tekstil atıksuları, restoran atıksuları, boyalı atıksular, mezbaha atıksuları, süt endüstrisi atıksuları, sızıntı suları, kağıt endüstrisi atıksuları, deterjan atıksuları ve maden atıksu) arıtılması için başarıyla uygulanmıştır (Song ve ark., 2017).

#### 2.4.1. Elektrokimyasal proseslerin avantajları

- a) Kullanımı kolay işletme parametreleri ile iyi bir verim elde edilebilmektedir.
- b) İyi derecede renk ve koku giderimi elde edilir.
- c) Aynı anda birden fazla organik kirletici giderimi sağlanabilir.
- d) Düşük maliyeti gerektirir.
- e) Daha az kimyasal madde kullanılır.
- f) Elektrokoagülasyon sonucu oluşan çamur formu çoğunlukla metal hidroksitler şeklindedir.
- g) Elektroflotasyonda gaz kabarcıkları elektroliz süresince kirleticileri taşıyarak daha küçük kirletici konsantrasyonlarını bile flotasyon mekanizmasıyla giderebilmektedir.
- h) Özellikle elektrooksidasyon sonucu oluşan anodik klor, dezenfektan gibi davranır (Işık, 2020).

#### 2.4.2. Elektrokimyasal arıtım proseslerini etkileyen parametreler

*Elektrot Tipi:* Elektrokoagülasyonda sonucu etkileyen en önemli parametrelerin başında şüphesiz elektrot tipi seçimi gelir. Elektrokimyasal arıtım türünü belirlediği gibi kirletici giderim verimini de dorudan etkiler. Farklı prosesler için farklı oluşumlar gerçekleştiği için elektrot tipi büyük önem taşımaktadır. Örneğin, elektrokoagülasyon yöntemi için seçilen elektrot türleri akım ile birlikte ortamda çözünürken, elektrooksidasyon prosesinde OH• radikalleri oluşturup herhangi bir çözünme söz konusu olmamaktadır. Elektrokoagülasyon yöntemi için demir ve alüminyum elektrotlar yaygın şekilde kullanılırken elektrooksidasyonda

bu elektrotların yerini, titan, platin, rutenyum vb. elektrotlar almaktadır. Farklı atıksular için farklı elektrot tipleri daha verimli sonuçlar verebilir.

*Akım Yoğunluğu:* Elektrokimyasal arıtımda önemli iletme artlarından biri de akım yoğunluğudur. Akım yoğunluğunun optimizasyonu elektrokimyasal arıtım yöntemi için çok önemlidir. Gerekenden fazla akım yoğunluğu uygulandığında maliyet artışı oluşabileceği gibi eğer elektrokoagülasyon yöntemi uygulanıyor ise akım yoğunluğuna paralel olarak çamur oluşumu da artacaktır. Ayrıca arıtım çalışmalarında akım yoğunluğu ile arıtım süresi yakından ilişkilidir.

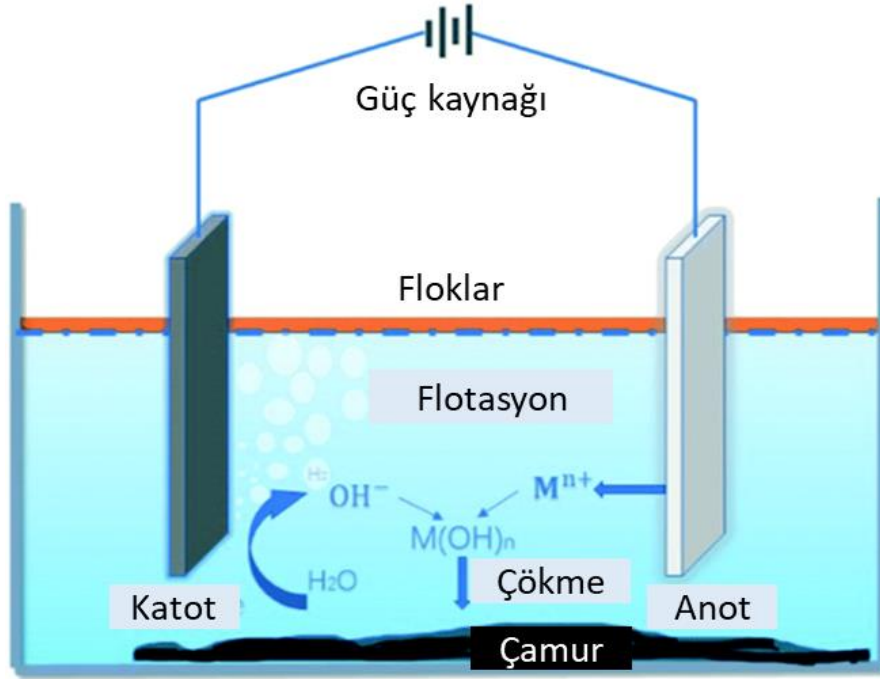
*pH:* pH, ortamda oluşan elektrolitik reaksiyonları doğrudan etkilediği için büyük öneme sahiptir. Gerek elektrooksidasyon için hidroksil radikallerinin oluşumu ve gerekse elektrokoagülasyon için metal hidroksitlerin oluşumunda pH birinci dereceden etkilidir. Belli pH değerleri dışında koagülantlar oluşmayacağı gibi hidroksil radikallerinin oluşum yüzdesi de büyük oranda azalacaktır. Ayrıca prosesler sonucunda pH'nın değişimi de söz konusudur. Elektrooksidasyonun baskın olduğu durumlarda pH giderek düşerken elektrokoagülasyon uygulamalarında pH'nın giderek artışı gözlenmektedir

*Arıtım Süresi:* Yapılacak çalışmalarda, arıtım süresinin optimizasyonu gerekir. Aksi takdirde gerekenden az bir arıtım süresi uygulandığında ihtiyaç duyulan verim sağlanamayabileceği gibi uzun süreli arıtmalar ise gerek maliyet açısından ve gerekse çamur ve köpük oluşumu bakımından uygun değildir.

### 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, adsorbsiyon, çöktürme ve flotasyon proseslerine dayanmaktadır. Proses, demir ve/veya alüminyum gibi anotundan koagülantların üretilmesine ve katot üzerinde elektroliz yapılmasına ve bu sayede kirleticiler maddelerin flotasyon yoluyla giderilmesine yardımcı olmaktadır (Kobyas 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 6). Bunlar;

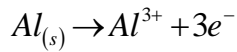
- i) elektrotların yüzeyinde meydana gelen reaksiyonlarla metal hidroksitlerin oluşumu,
- ii) sıvı fazda kirletici maddelerle metal hidroksitlerle koagülasyonun oluşturulması ve
- iii) kirleticilerin adsorpsiyon, pıhtılaşma çökeltmesi veya yüzdürme mekanizmaları ile uzaklaştırılması (Moreno-Casillas ve ark., 2007).



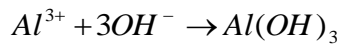
Şekil 6. EK prosesinin genel mekanizması (Işık, 2020).

Bir EK işleminde demir ve alüminyum reaksiyonları aşağıdaki gibi tanımlanır:

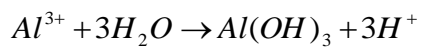
Anotta alüminyum elektrot için:



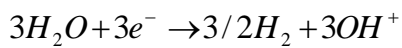
Alkali şartlarda:



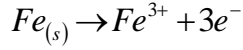
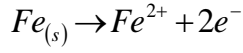
Asidik şartlarda:



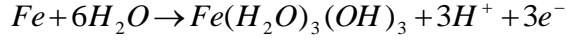
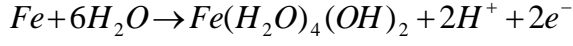
Katotta alüminyum elektrot için:



Anotta demir elektrot için:



Demir iyonlarının hidrolizi ve demir hidroksitlerin ve polihidroksitlerin oluşumu

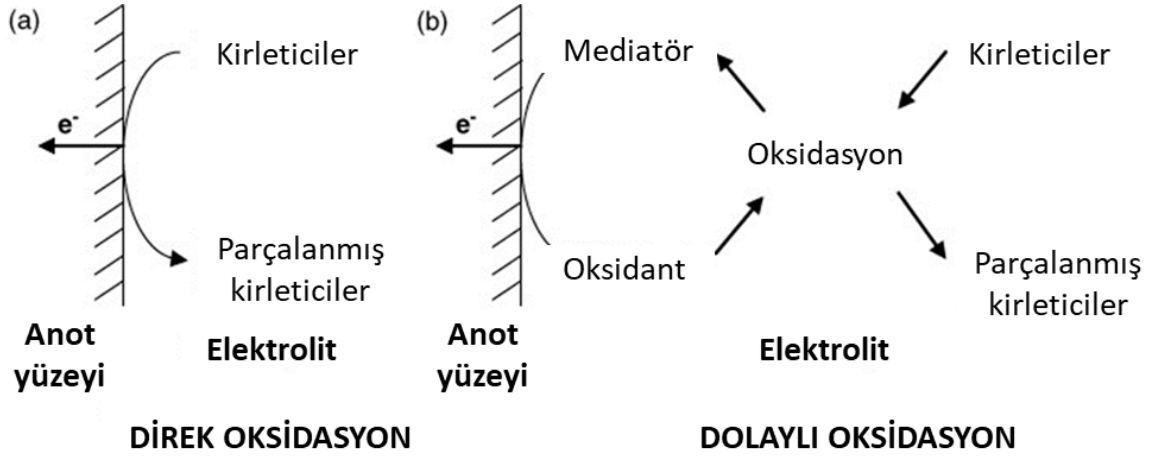


Yukarıdaki reaksiyonlardan görüldüğü üzere elektrokoagülasyon; yumaklaşma ve yüzdürme işlemlerinin bir bileşimidir. Katottan çıkan hidrojen gazı kabarcıkları, oluşan yumaklara yapışarak onların yüzeye iletilmelerine zorlar ve bu sonuç elektrokagülasyon işlemine elektroflotasyonun eşlik ettiğinin bir göstergesidir.

#### 2.4.4. Elektrooksidasyon prosesi

Elektrooksidasyon; grafit, titanyum, platin, bor kaplı elmas gibi çözünmeyen bir anot malzemesi kullanılarak organik maddelerin doğrudan veya dolaylı olarak oksitlenmesi temeline dayanır. Organik kirlilikler elektrooksidasyon prosesi ile anot yüzeyinde parçalanabilir (Carbonio ve ark., 2009; Anglada ve ark., 2009). Prosesin şeması Şekil 3'de gösterilmiştir. Biyolojik olarak parçalanması zor olan organik bileşikler ise biyobozunur organik bileşiklere veya CO<sub>2</sub> veya H<sub>2</sub>O gibi son ürünlere dönüştürülür. Elektrooksidasyon prosesinde aktif rol oynayan elektrot anottur. Bu nedenle, bu süreçte etkili olan ana parametre anotun katolitik aktivitesidir. Ayrıca akım, sıcaklık, pH ve organik bileşiklerin ve diğer oksidanların difüzyon hızı da önemlidir. Elektrolitik hücrede organik kirleticilerin oksidasyonu iki farklı yolla gerçekleşir (Şekil 7) (Naumczyk ve ark., 1996):

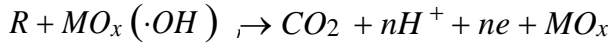
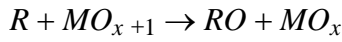
- i) Doğrudan anodik oksidasyon
- ii) Dolaylı oksidasyon. Eğer anot yeterince yüksek bir potansiyele sahipse, içindeki klorür iyonları klorine dönüşebilir veya organik bileşiklerin doğrudan oksidasyonu gibi ikincil reaksiyonlar da oluşabilir (Vlyssides ve ark., 1997).



Şekil 7. EO prosesinin genel mekanizması (Vlyssides ve ark., 1997).

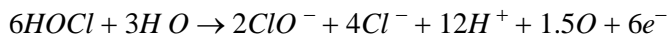
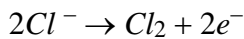
Atıksu içerisinde bulunan organik bileşiklerin doğrudan oksidasyon hızı, anodun aktif noktalarına organik bileşiklerin difüzyon hızı ve uygulanan akım şiddeti yardımıyla anodun katalitik aktivitesine bağlıdır. Dolaylı oksidasyon boyunca organik bileşiklerin oksidasyonun da etkili olan klor, hipoklorit, hidrojen peroksit ve ozon gibi ajanlar anodik olarak üretilebilir (Särkkä ve ark., 2015).

Anotta ve Katotta Meydana Gelen Reaksiyonlar:



Burada; R, organik bileşikler; n, anot yüzeyinde adsorbe edilmiş olan  $\cdot OH$ 'nin sayısıdır. Elektrokimyasal arıtım boyunca organik bileşiklerin sadece belirli bir kısmı parçalanır ve eğer tamamen ortamdan uzaklaştırılmak istenirse kombine bir ilave arıtım gerektirebilir. Elektrooksidasyon prosesi boyunca gerçekleşen dolaylı reaksiyonlar aşağıda gösterilmiştir. Hipoklorit ( $ClO^-$ ) atıksu ortamında organik maddeleri oksitleyebilen güçlü bir oksitleyicidir.

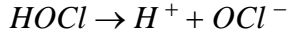
Anodik reaksiyonlar:



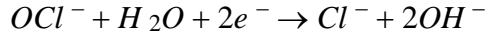
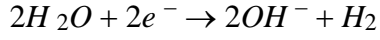
Çözelti reaksiyonları:







Katodik reaksiyonlar:



### 3. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Endüstriyel atık suların kirletici parametreleri ve debilerinin endüstrinin çeşidine göre değişiklik göstermesinden dolayı, kullanılacak arıtım tipleri birbirinden farklılık göstermektedir. Literatürde, elektrokimyasal arıtım prosesleri ile arıtılabilecek kirletici türü yağ ve emülsiyonlardan, organik maddelere, inorganik kirleticilerden partiküller maddelere ve mikroorganizmalara kadar geniş bir aralık içerdiğinden dolayı endüstriyel atık su arıtımı için farklı arıtım yöntemleri kullanılmaktadır.

Elektroliz yönteminde, asit boyaların demir hidroksit oluşumu ile etkili bir şekilde giderilmesi gerçekleştirilmektedir (Dörtkol, 2014). Laboratuvar ölçekli çalışmalarda %80 renk giderimi sağlanmıştır. Konvansiyonel yöntemlere nazaran, koagülasyon, elektroliz ve aktif çamur sistemlerinin toplamı daha ucuz ve daha etkili KOİ giderimine sahiptir (Baburşah, 2004; Namal, 2017). Fotokataliz yönteminde ise UV ışınları, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub> heterojen katalizörlerin birlikte kullanımı ile boya çözeltilerinde renk giderimi sağlanır (Baburşah, 2004). Bu sistemde tam renk giderimi sağlanamamakla birlikte toplam olarak %90 karbon giderimi elde edilebilmektedir (Erol, 2007). UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ise oldukça yavaş, maliyetli ve tam ölçekli uygulamalarda UV/TiO<sub>2</sub> prosesine göre daha az etkilidir. Buna bağlı olarak kısa reaksiyon sürelerinde etkili bir KOİ giderimine ulaşılırken çamur ve tuz oluşumu da olmamaktadır. UV geçirimsizliğinin belli boya çözeltilerinde sınırlı olmasından dolayı ozondan sonra son arıtım basamağı olarak UV teknolojisinin kullanımı daha iyi sonuçlar vermektedir (Baburşah, 2004). Biyolojik olarak arıtılmış çıkış suyuna uygulanan fotokatalitik oksidasyon prosesleri ile ilave olarak %97 KOİ giderimine ulaşılmaktadır. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için yatırım maliyeti ve işletme maliyetleri yüksek olmasının yanında kimyasal tüketimi çok düşük olsa da enerji tüketimi çok yüksektir (Dörtkol, 2014). Atıksulardan boya gideriminde kullanılan diğer bir proses ise elektrokoagülasyon prosesidir. Elektrokoagülasyon atıksu içerisinde genellikle demir ya da alüminyumdan yapılan çözünebilir anotların elektriksel olarak çözünmesi ile metal

hidroksitlerin oluşturulduğu bir prosestir. Gelişmiş ülkelerde bu yöntem endüstriyel atıksuların arıtımında sıklıkla kullanılmaktadır (Raghu ve Basha, 2007).

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

Özyonar ve Karagözoğlu (2012) yapmış oldukları çalışmada, bir tekstil sanayi atıksuyunun elektrokoagülasyon prosesi ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla monopolar paralel bağlı alüminyum elektrotlarının kullanıldığı, elektrokoagülasyon prosesinin performansı araştırılmıştır. Elektrokoagülasyon prosesinde; toplam organik karbon (TOC), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI), renk ve bulanıklık giderim verimi üzerine; başlangıç pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresinin etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek EC prosesinin optimum koşulları; başlangıç pH:3, akım yoğunluğu 100 A/m<sup>2</sup> ve elektroliz süresi 20 dak olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar neticesinde TOK, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimleri sırasıyla %82.6, %72.5, %97.7 ve %98.7'dir. Ayrıca yapılan çalışmada KOİ parametresi açısından arıtılmış suyun Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen deşarj limit değerini sağladığı rapor edilmiştir.

#### **4. MATERYAL ve YÖNTEM**

##### ***4.1. Ham Atıksu Özellikleri ve Analizler***

GAOSB atıksuları 2021 yılının çeşitli zaman aralıklarında farklı tekstil firmalarından temin edilmiştir. Tekstil atıksularının spesifik özellikleri Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir. Atıksu karakterizasyonu için kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI), toplam çözünmüş katılar (TDS) ve toplam süspansiyon halindeki katılar (AKM), sırasıyla 5220C, 2540C ve 2540D standart metotlarına göre ölçülmüştür. Deneyleerde KOİ analizi için kapalı reflüx titrimetrik yöntem kullanılmıştır. Gravimetrik bir yöntem olan TDS analizi için numune, atıksu darası alınmış krozedede 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 süzülmüştür. 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.

Giderim verimleri (R, %) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$R = \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \times 100 \quad (1)$$

Burada, C<sub>o</sub> başlangıç konsantrasyonu ve C<sub>t</sub>, herhangi bir zamanda ölçülen konsantrasyondur.

**Tablo 2.** Tekstil atıksularının karakterizasyonu

PARAMETRE	BİRİM	AKRİLİK İPLİK BOYAMA	VİSKON BOYAMA	ELYAF-KUMAŞ BOYAMA	PENYE KUMAŞ BOYAMA	ELYAF BOYAMA	İPLİK-KUMAŞ HAVLU BOYAMA	GAOSB ATIKSU KANAL DEŞARJ STANDARTI
KOİ	mg/L	1420	1101	3990	248	833	2445	2200
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	57	2	2400	12	116	300	498
Yağ ve Gres	mg/L	5.6	18.4	13.6	15.6	22.4	26.4	100
pH	-	5.58	11.26	10.75	8.65	9.47	1.88	6-9
Sıcaklık	°C	44.3	21.1	24.4	23.9	30.3	21.9	-
İletkenlik	µS/cm	1337	18430	49600	3030	2750	88200	-
Renk	PtCo	170	469	247700	2213	1882	127500	260

**Tablo 3.** Tekstil atıksularının karakterizasyonu

PARAMETRE	BİRİM	İPLİK-KUMAŞ HAVLU BOYAMA	MELİKE TEKSTİL VİSKON BOYAMA	ELYAF-KUMAŞ BOYAMA	GAOSB ATIKSU KANAL DEŞARJ STANDARTI
KOİ	mg/L	6020	1840	81300	2200
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	860	7	400	498

Yağ ve Gres	mg/L	14.8	5.2	24	100
pH	-	10.74	10.63	10.38	6-9
Sıcaklık	°C	22.8	22.5	22.0	-
İletkenlik	µS/cm	97500	23000	140800	-
Renk	PtCo	157600	369	170300	260

#### 4.2. Laboratuvar Ölçekli Elektrooksidasyon Arıtma Sistemine Ait Teknik Bilgiler

Tekstil atıksularının arıtımına yönelik elektrooksidasyon (EO) deneyleri, 250 mL çalışma hacmine sahip borosilikat cam malzemeden yapılmış bir reaktörde (500 mL) yapılmıştır (Şekil 8). Oda sıcaklığında ( $25 \pm 1$  °C) sabit bir reaksiyon sıcaklığı elde etmek için sıcaklık kontrolünde 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/m<sup>2</sup>) 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 8. Laboratuvar ölçekli EO arıtma sistemi

### 4.3. 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. Belirlenen 32 adet firmanın 4 tanesinde tekstil boya banyo sularının elektrooksidasyon yöntemi ile pilot ölçekli tesiste arıtımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 9). 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. Tesis kapasitesi 200 litre olup 1 adet kaba filtre, 2 adet reaktör haznesi, 28 adet grafit elektrot (14 anot + 14 katot), 5 adet 5 µm’luk 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.





**Şekil 9.** Pilot ölçekli EO arıtma tesisi

#### ***4.4. 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. Belirlenen 32 adet firmanın 5 tanesinde tekstil boya banyo sularının nanofiltrasyon membran destekli elektrooksidasyon+aktif karbon yöntemi ile pilot ölçekli tesiste arıtımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 10). 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, 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.



Şekil 10. Pilot ölçekli EO+AK+NF membran arıtma tesisi

#### ***4.5. 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  $\Delta E$  değerine göre doğrudan nihai sonucu sağlar.  $\Delta E$  değeri 0 ile 100 aralığında değişim gösterebilir. Ancak tekstil için kabul edilebilir  $\Delta E$  değeri 1.00'dir.  $\Delta E$  değeri  $\leq 1$  bulunursa, insan gözü tarafından görülemediği anlamına gelir.  $\Delta E$  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.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 5.1. Laboratuvar Ölçekli 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.

#### 5.1.1. 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 A/m<sup>2</sup>), 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'te verilmiştir.



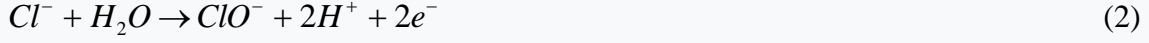
**Tablo 4.** Tekstil boya banyosu atık sularının karakterizasyonu

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

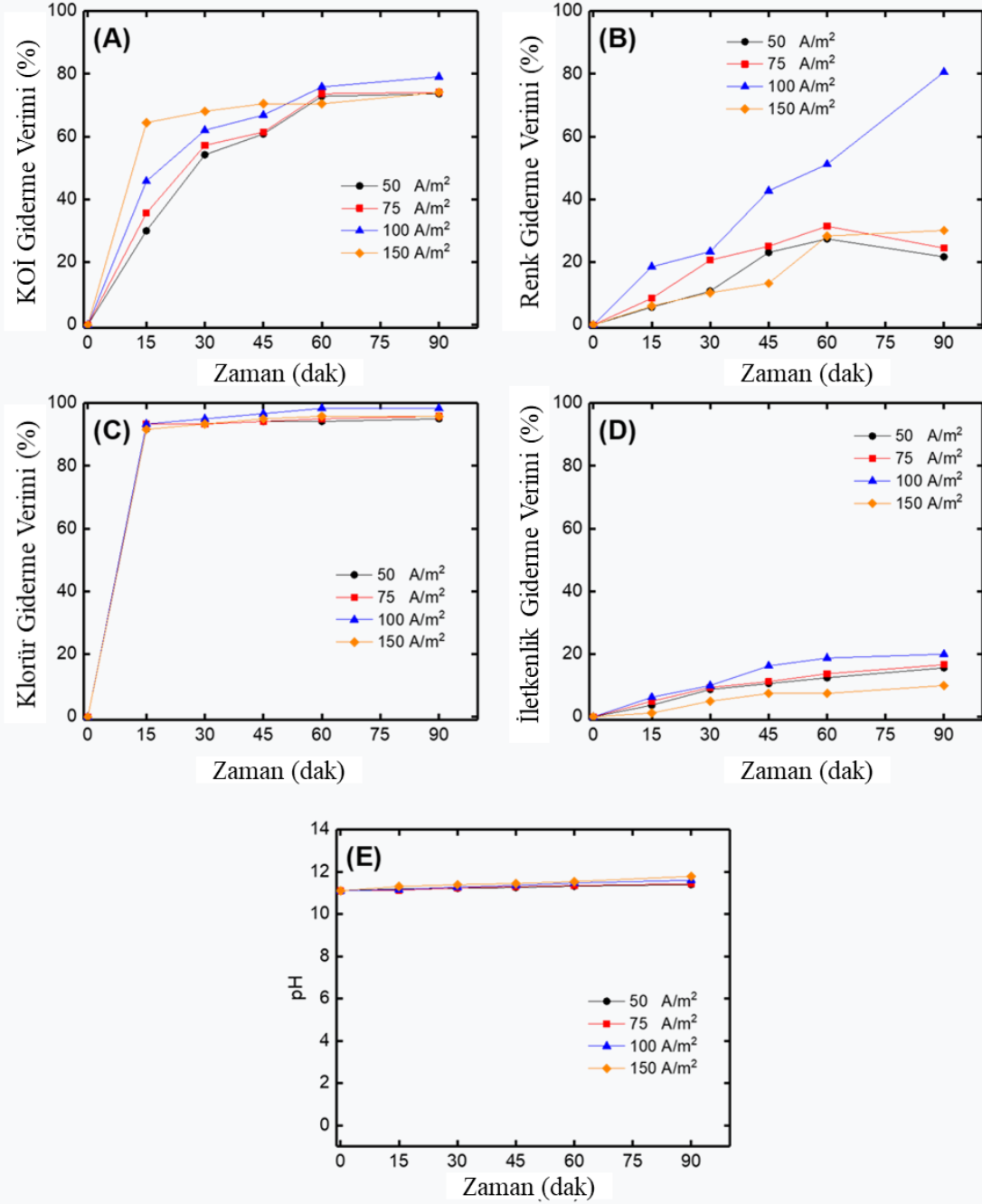
Anot/katot elektrot çiftleri olarak aktif karbon kumaş kullanılmıştır. Elektrotlar Norm Technologies firmasından (Türkiye) temin edilmiştir. Anot/katod elektrot çiftlerinin boyutları 5 cm genişlik x 8 cm yükseklik x 1 mm kalınlık, toplam etkin alan 40 cm<sup>2</sup> ve elektrotlar arası mesafe 2 cm olacak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

- Akım yoğunluğunun giderim verimliliğine etkisi

Elektrokimyasal reaktör farklı akım yoğunluğu (50, 75, 100, 150 A/m<sup>2</sup>) koşullarında çalıştırılmıştır. Sonuçlar, akım yoğunluğu arttırıldığında KOİ, renk, klorür, iletkenlik giderme verimlerinin etkilendiğini göstermiştir. KOİ ve renk giderme verimleri, 50-150 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğu için sırasıyla %73.6–79.1 (Şekil 11A) ve %21.7–80.6 (Şekil 11B) aralığında değişim göstermiştir. Klorür ve iletkenlik giderme verimleri, 50-150 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğu için sırasıyla %95.0–98.3 (Şekil 11C) ve %10.1–20.2 (Şekil 11D) aralığında değişmiştir. Uygulanan akım yoğunluğu 50'den 150 A/m<sup>2</sup>'ye yükseltildiğinde atıksuyun pH değeri 11.40'tan 11.79'a yükselmiştir (Şekil 11E). Sonuçlar, uygulanan akım yoğunluğu 150 A/m<sup>2</sup>'ye ulaştığında KOİ ve renk giderme verimlerinin azaldığını ve hipokloritin elektrojenerasyon hızının azaldığını göstermiştir. Klorürlerin aracılı oksidasyon için en yaygın türler olduğu iyi bilinmektedir ve Denklem 2'nin reaksiyonuna göre tekstil boya banyosu atıksuyu kolaylıkla hipoklorite dönüştürülebilen klorürler içerir (Sirés ve diğerleri, 2014).



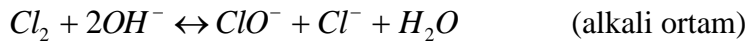
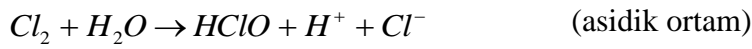
Bu nedenle, Denklem (2)'deki yan reaksiyon daha yüksek bir voltaj uygulandığında katotta oluşmaya başlar. Suyun pH'sı yüksek olması nedeni ile Hipoklorit ( $ClO^-$ ) ana ürün klor ( $Cl_2$ ) gazı çıkışı da söz konusudur. Bu reaktif türler, birçok organik bileşikle hızlı reaksiyona girme ve mineralizasyonlarını artırma eğilimindedir. Reaksiyon sonunda reaksiyon ortamında herhangi bir çamur oluşumu gözlemlenmemiştir.



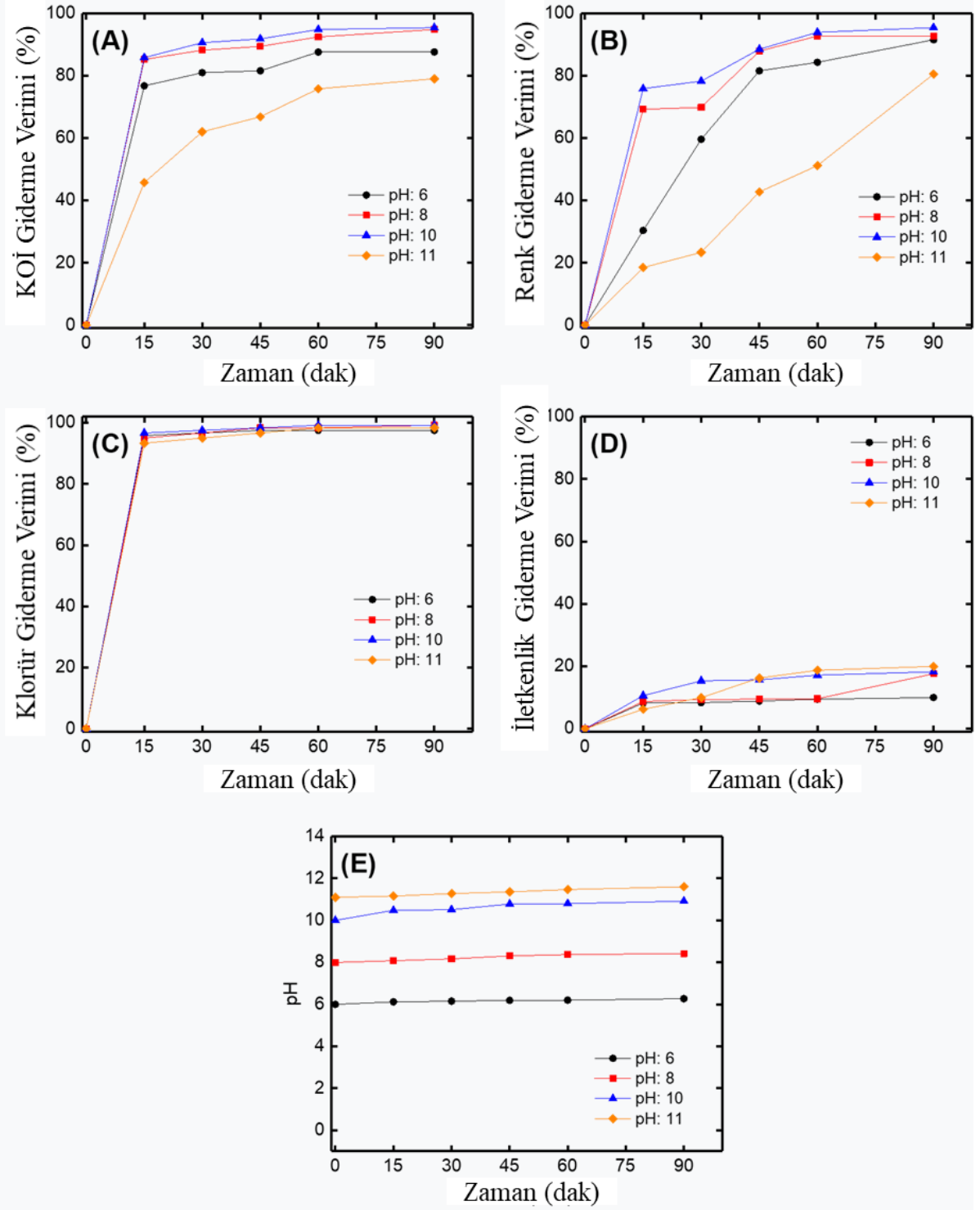
**Şekil 11.** Akım yoğunluğunun (A) KOİ, (B) renk, (C) klorür, (D) iletkenlik giderme verimliliği üzerindeki etkisi ve (E) pH'ın reaksiyon sırasında zamana göre değişimi.

- 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 12A) ve %80.6–95.5 (Şekil 12B) aralığında artmıştır. Klorür ve iletkenlik giderme verimleri, sırasıyla 6-11 çözelti pH'ında %97.5–99.2 (Şekil 12C) ve %10.0–20.2 (Şekil 12D) aralığında artmıştır. Çözelti pH'ı 6'dan 11'e yükseltildiğinde pH 6.27'den 11.60'a yükselmiştir (Şekil 12E).

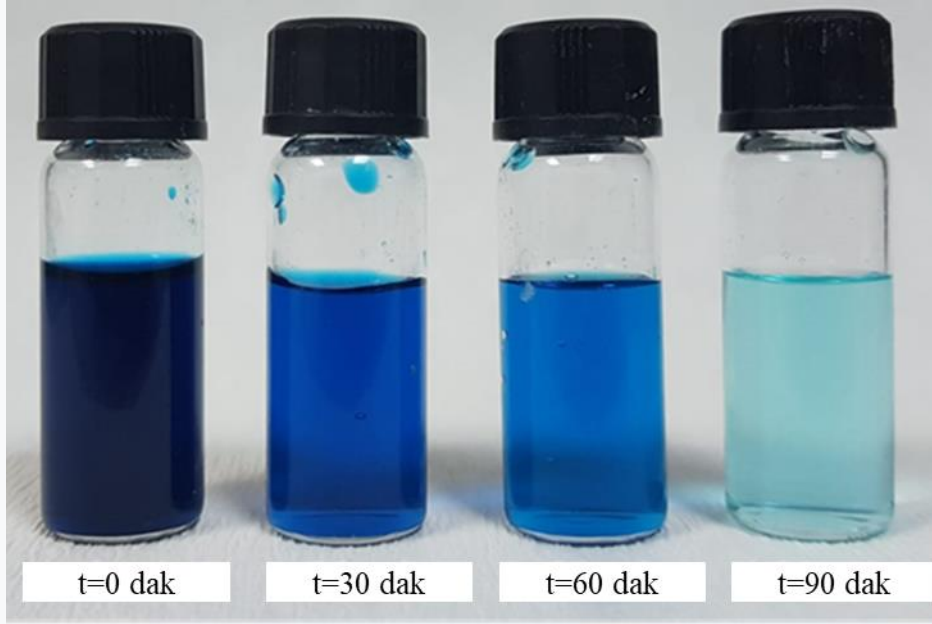


HOCl iyonik türlerin %84'ü pH 6.8'de, %0.34'ü ise pH 10'da bulunur. pH 10'da birincil tür  $ClO^-$  iyonudur (Niedz ve Bausher, 2002). Çalışmada düşük pH değerlerinde (pH=6) yüksek pH değerlerine göre daha düşük KOİ ve renk verimleri elde edilmiştir. Oksidasyon veriminin düşmesi düşük pH değerlerinde HOCl türlerinin iyonlaşmasının azalmasıyla açıklanabilir.  $HClO \leftrightarrow H^+ + ClO^-$  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 KOİ ve renk giderme verimlerini olumsuz etkilemiştir.



**Şekil 12.** Çözelti pH'nın (A) KOİ, (B) renk, (C) klorür, (D) iletkenlik giderme verimliliği üzerindeki etkisi ve (E) pH'ın reaksiyon sırasında zamana göre değişimi.

Arıtılmış tekstil boya banyosu atık sularının fotoğrafları Şekil 13'te gösterilmektedir. 90 dakikalık elektrooksidasyondan sonrasında renk yoğunluğu önemli ölçüde azalmıştır.



**Şekil 13.** Arıtılmış tekstil boya banyosu atık sularının zamana karşı fotoğrafları

#### 5.1.2. 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 (Elfgi, 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.

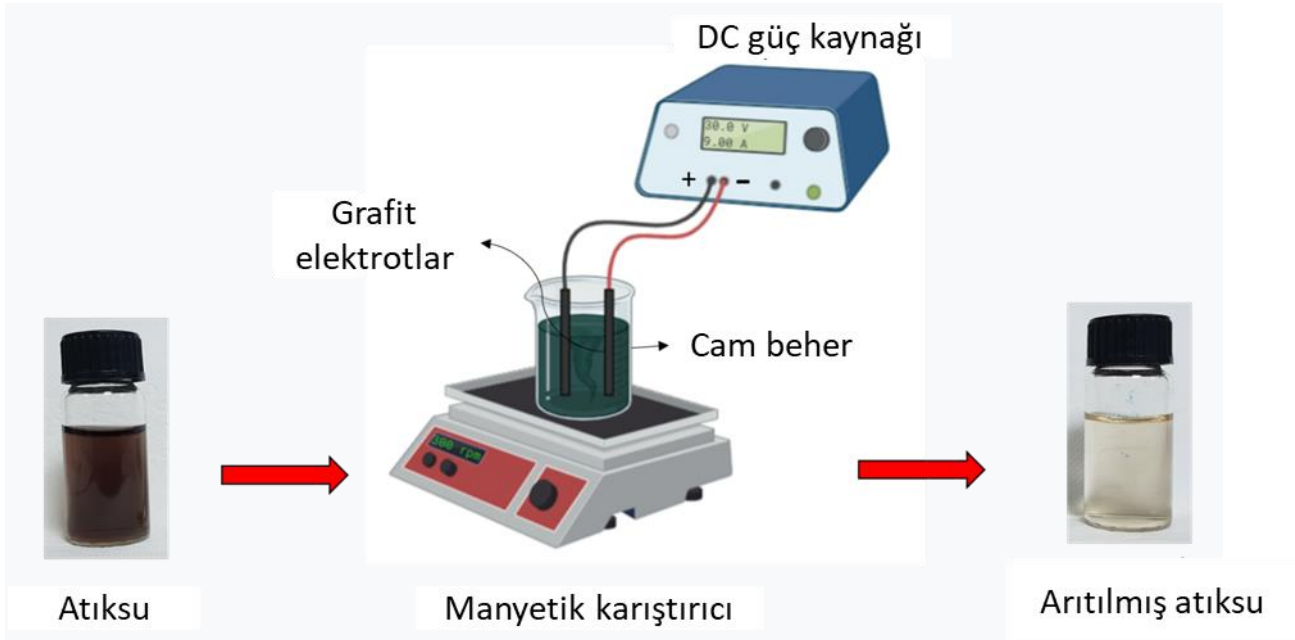
Çalışmada kullanılan elyaf boya banyosu atık sularının karakterizasyonu Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Elyaf boya banyosu atık sularının karakterizasyonu

Parametre	Birim	Değer
KOİ	mg/L	185.8
AKM	mg/L	12

pH	-	6.9
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	3030
Renk	Pt-Co	2213
Klorür	mg/L	1451

Anot/katot elektrot çiftleri olarak grafit kullanılmıştır. Anot/katod elektrot çiftlerinin boyutları 5 cm genişlik x 8 cm yükseklik x 2 mm kalınlık, toplam etkin alan  $40 \text{ cm}^2$  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 (Şekil 14). Akım yoğunluğunun ve atıksu pH'nın KOİ, renk, klorür ve iletkenlik giderme verimleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



**Şekil 14.** Elektrooksidasyon deneyleri için kullanılan deney düzeneği

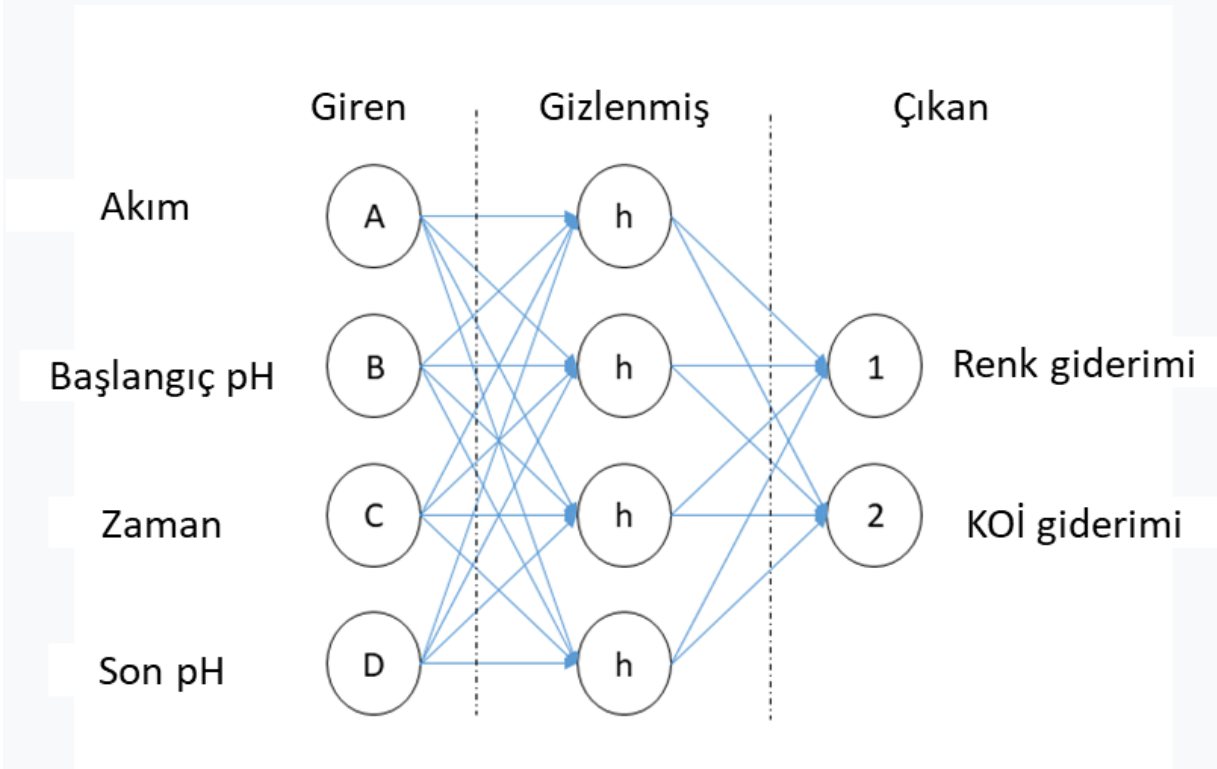
Faktörlerin aralıkları birçok kriter gereğince seçilmiştir. Tablo 6, değişkenleri ve aralıklarını göstermektedir. Toplamda, parametre değişikliklerinin KOİ ve renk üzerindeki etkilerini izlemek için 20 deney gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 6.** Bağımsız değişken aralıkları

Değişken	Birim	Faktör	Düşük	Yüksek	- $\alpha$	+ $\alpha$
Akım	$\text{A/m}^2$	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 15'te gösterilmektedir.



Şekil 15. 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 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7. Test edilen modeller için regresyon katsayıları

Kaynak	Sıralı p-değeri	Uyum eksikliği p-değeri	Ayarlanmış R <sup>2</sup>	Tahmin edilen R <sup>2</sup>
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 8'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 R<sup>2</sup> ile makul bir şekilde uyumlu olan 0.91 tahmini bir R<sup>2</sup>'ye sahiptir. Ayrıca 31.42 model oranı 4'ten büyük olduğu için model yeterli bir tahmine sahiptir.

**Tablo 8.** 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 ayarlanmıştır. İkinci dereceden model en yüksek regresyon değerlerine sahip olmuştur (Tablo 9). İkinci dereceden model, 0.97'lik ayarlanmış bir R<sup>2</sup>'ye sahipken, tahmin edilen R<sup>2</sup> 0.95'e sahiptir. İkinci dereceden model, 44.12 oranıyla yeterli kesinliğe sahiptir.



**Tablo 9.** KOİ giderme için test edilen modeller için regresyon katsayıları

Kaynak	Sıralı p-değeri	Uyum eksikliği p-değeri	Ayarlanmış R <sup>2</sup>	Tahmin edilen R <sup>2</sup>
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 10).

**Tablo 10.** 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 <sup>2</sup>	1332.68	1.00	1332.68	151.46	3.06E-09
Artık	131.98	15.00	8.80	-	-
Uyumsuzluk	119.10	10.00	11.91	4.62	0.05
Saf hata	12.89	5.00	2.58	-	-

Buna göre geliştirilen model, Denklem 5'te gösterildiği gibi KOİ'nin giderim verimliliğini tahmin etmek için kullanılabilir.

$$COD\ Removal\ (\%) = -3.482 + 1.068 * Akım - 1.823 * pH + 0.115 * Zaman - 0.004Akım^2 \quad (5)$$

- ANN sonuçları

Renk ve KOİ giderimini tahmin etmek için kullanılan ANN Şekil 16'da gösterilmiştir. Geliştirilen ANN, Levenberg Marquartz (LM) algoritması ile bir dönüşüm fonksiyonu olarak

log sigmoidal ile test edilmiştir (Hammoudi ve ark., 2019). Tablo 11, ağın performansını ve farklı göstergelere dayalı hata hesaplamasını göstermektedir.

**Tablo 11.** 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 <sup>2</sup> 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 (Gadekar 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 (R<sup>2</sup>) 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 12'de gösterilmektedir.

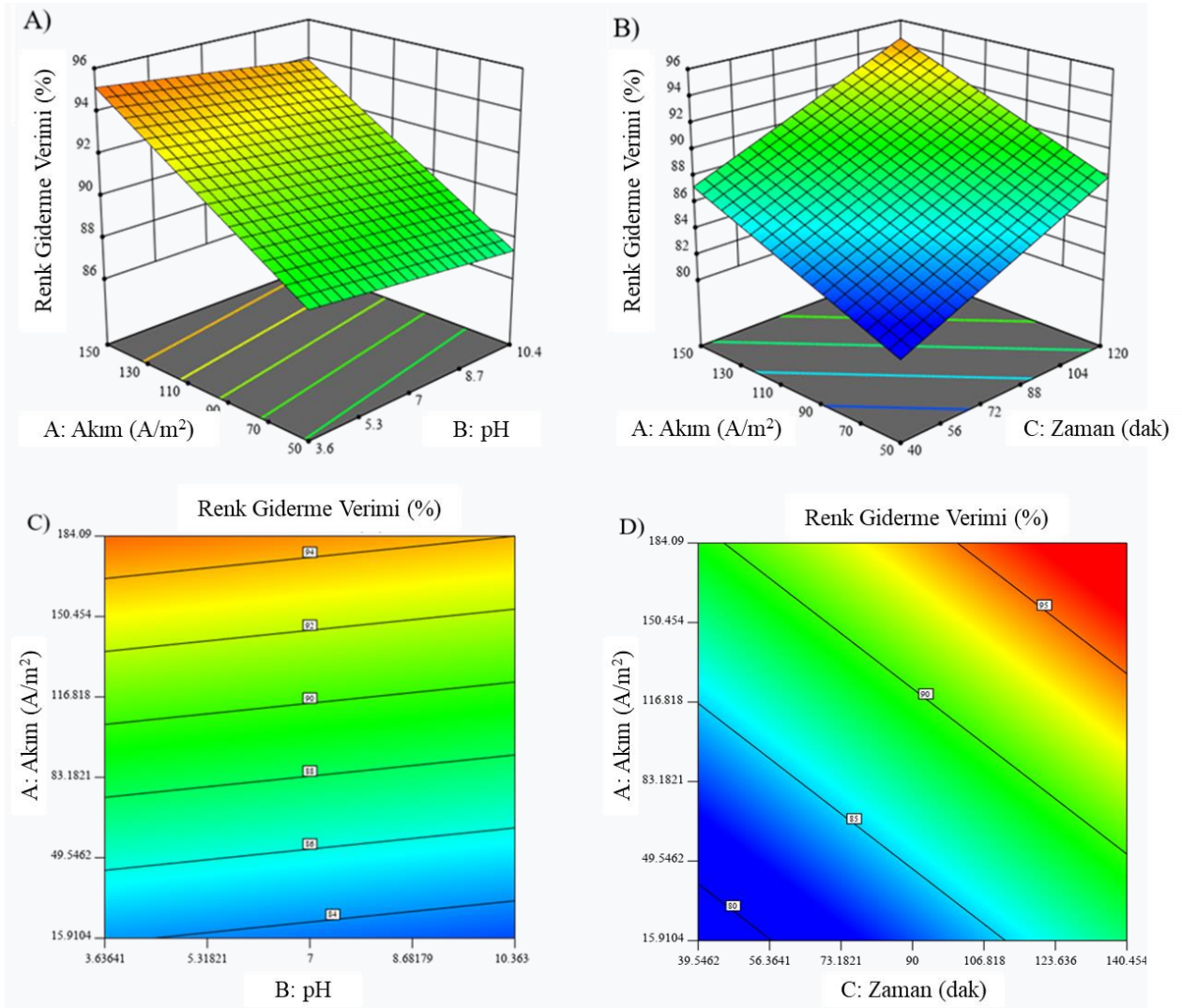
**Tablo 12.** Deney sonuçları ve beklenen veriler arasındaki tasarım matrisi

Deney	Akım (A/m <sup>2</sup> )	pH	Zaman (dak)	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

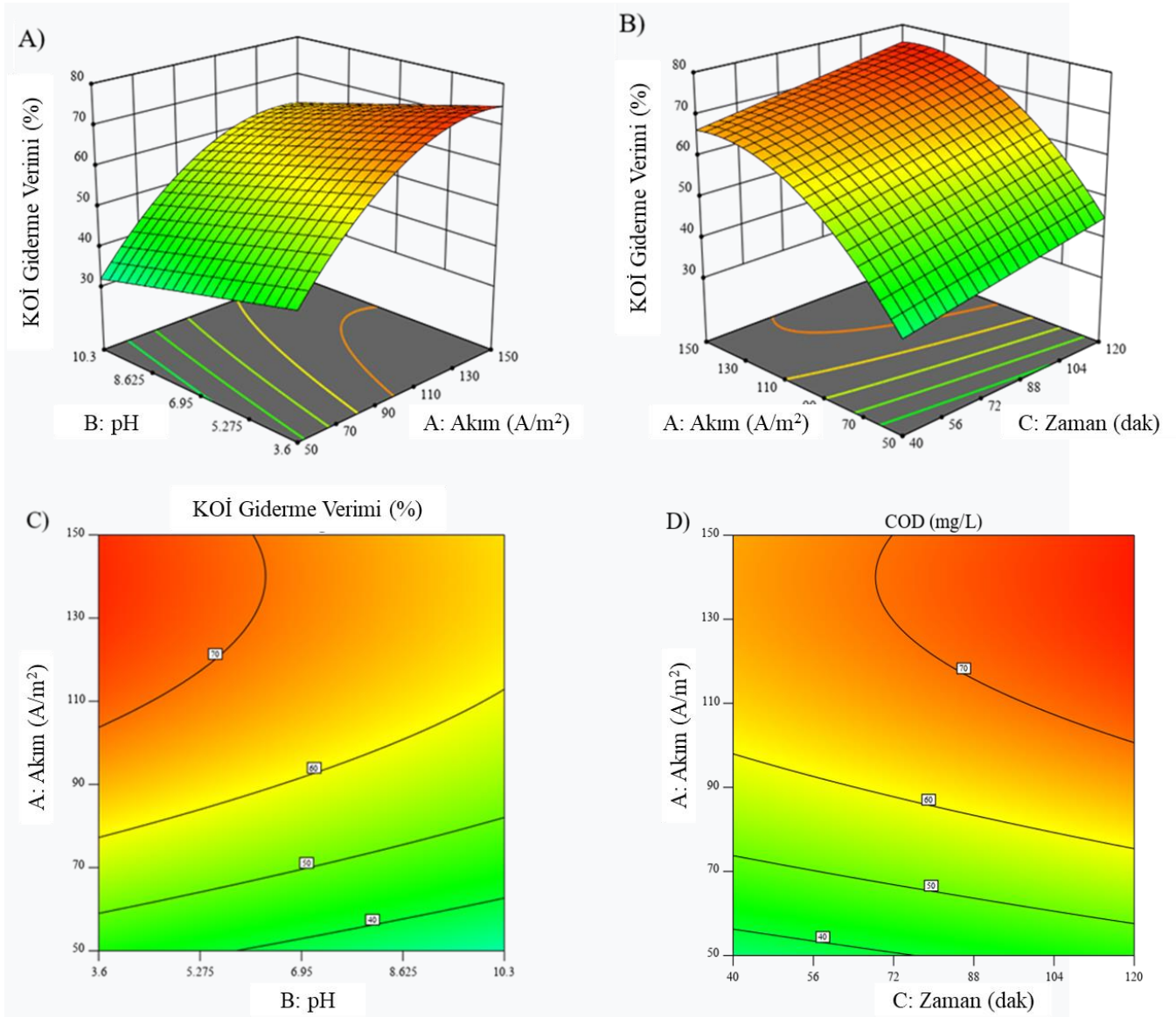
- Paramere etkileri

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/m<sup>2</sup>) maruz bırakılmıştır. Akım yoğunluğu, renk giderme ile doğrusal orantılıdır (Şekil 16A ve 16B). Maksimum renk giderme verimi (%95) 150 A/m<sup>2</sup>'de meydana gelirken, minimum renk giderme verimi 50 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda %82 olmuştur. Şekil 16C ve 16D, akım, pH ve zamandaki değişikliklerle birlikte elektrooksidasyon işlemi kullanılarak rengin giderilmesi için kontur haritasını göstermektedir.



**Şekil 16.** (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 17A). KOİ giderimi ile uygulanan akım arasındaki ilişkinin ikinci dereceden olduğu bulunmuştur (Şekil 17B). Daha yüksek akım yoğunluğunda maksimum KOİ giderim verimi %76 iken, daha düşük bir değerde minimum %31 olarak ölçülmüştür (Şekil 17C). Tekstil atık suyu 1451 mg/L konsantrasyonda klorür içermekte olup reaksiyonun sonunda klorür konsantrasyonu 70 mg/L'ye azalmıştır.



**Şekil 17.** (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

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 16C ve Şekil 17C). 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 16D ve Şekil 17D). 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.

Grafit elektrot ile tekstil atıksu arıtımı için optimum koşullar belirlenmiştir. Maksimum renk ve KOİ giderimi, 150 A/m<sup>2</sup> akım, pH 5 ve 120 dakika reaksiyon süresinde elde edilmiştir. Optimum koşullarda renk giderim verimi %96.6 ve KOİ giderim verimi %77.7 olarak elde edilmiştir (Tablo 13). Tekstil atık suyunun grafit elektrotlar tarafından elektrooksidasyonu, atıksuyun SKKY deşarj kriterlerini karşılamak için rengi ve KOİ'yi başarılı bir şekilde giderdiği görülmüştür.

**Tablo 13.** Farklı parametreler için başlangıç, son ve standart değerler

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

## ***5.2. Pilot Ölçekli Elektrooksidasyon+Aktif Karbon (EO+AK) Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar***

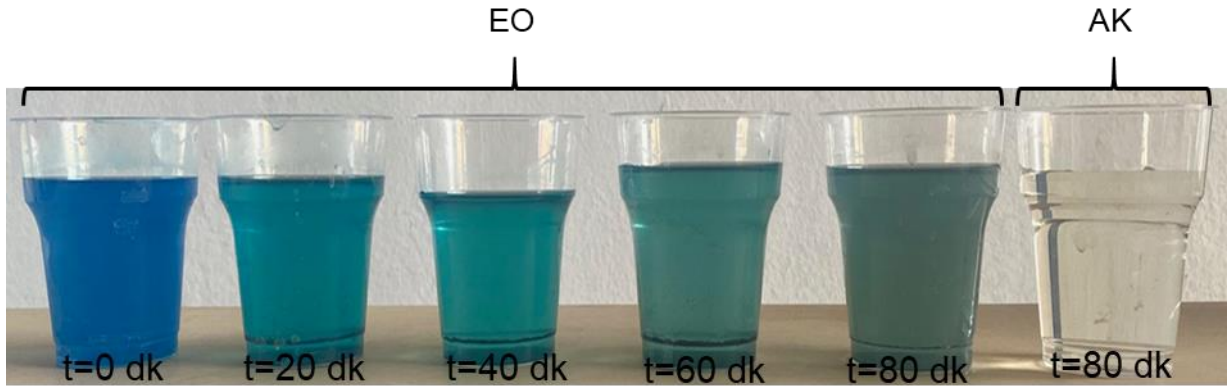
Pilot ölçekli elektrooksidasyon+aktif karbon (EO+AK) tesisi, 4 farklı firmada işletilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda detaylı olarak sunulmuştur. Boya banyosu atıksularının sürekli EO+AK sisteminde arıtılması sırasında suyun sıcaklığı yaklaşık olarak 2-3 °C yükselebilir. Suyun sıcaklığının yükselmesi 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 dak açık/10 dak 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. Firma

Firmanın faaliyet konusu yuvarlak örgü kumaş boyama üzerine olup reaktif boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı 240 m<sup>3</sup>/gün ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu 1707.8 m<sup>3</sup>/gün'dür. Pilot tesis işletme verileri: 3.4 V akım, 1000 A güç, süre 80 dak, harcanan enerji 10 kW'dır. Numune rengi aqua-turkuaz olup arıtım sonucu Şekil 18'de gösterilmektedir. 80. dakikaya kadar olan numuneler 20 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden geçirilmiş numuneye aittir.



**Şekil 18.** Aqua-turkuaz rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması

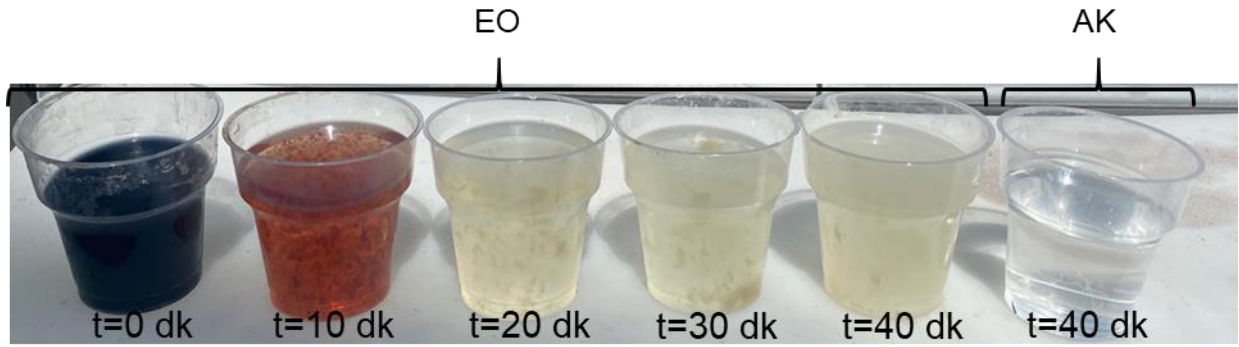
Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 14'te verilmiştir.

**Tablo 14.** Yuvarlak örgü kumaş boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları

Parametre	Birim	EO+AK Pilot Tesis Giriş	EO+AK Pilot Tesis Çıkış	EO+AK Pilot Tesis Verim (%)	GAOSB Atıksu Kanal Deşarj Standartı
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	950	66	93.05	498
Yağ ve Gres	mg/L	14.8	4.8	67.57	100
pH	-	10.15	9.06	-	6-9
Sıcaklık	°C	24.1	24.6	-	-
İletkenlik	µS/cm	103500	70200	32.17	-
Renk	PtCo	342300	68	99.98	260

- 2. Firma

Firmanın faaliyet konusu penye kumaş boyama üzerine olup reaktif ve dispers boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı 90 m<sup>3</sup>/gün ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu 565 m<sup>3</sup>/gün'dür. Pilot tesis işletme verileri: 3.6 V akım, 1000 A güç, süre 40 dak, harcanan enerji 5 kW'dır. Numune rengi opak siyah olup arıtım sonucu Şekil 19'da gösterilmektedir. 40. dakikaya kadar olan numuneler 10 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden geçirilmiş numuneye aittir.



**Şekil 19.** Opak siyah rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması

Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 15'te verilmiştir.

**Tablo 15.** Penye kumaş boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları

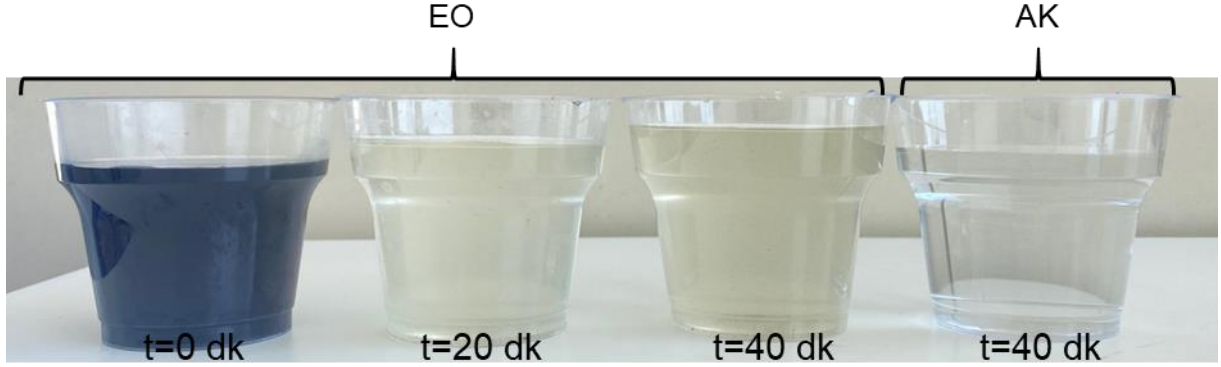
Parametre	Birim	EO+AK Pilot Tesis Giriş	EO+AK Pilot Tesis Çıkış	EO+AK Pilot Tesis Verim (%)	GAOSB Atıksu Kanal Deşarj Standartı
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	56	3	94.64	498
Yağ ve Gres	mg/L	13.2	3.6	72.73	100
pH	-	8.43	9.40	-	6-9
Sıcaklık	°C	25.5	25.7	-	-
İletkenlik	µS/cm	24200	19440	19.66	-
Renk	PtCo	2263	11	99.51	260

- 3. Firma

Firmanın faaliyet konusu akrilik iplik üzerine olup reaktif ve dispers boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı 200 m<sup>3</sup>/gün ve OSB verilerine göre



günlük ortalama atıksu oluşumu 450 m<sup>3</sup>/gün'dür. Pilot tesis işletme verileri: 3.5 V akım, 1000 A güç, süre 40 dak, harcanan enerji 6 kW'dır. Numune rengi lacivert olup arıtım sonucu Şekil 20'de gösterilmektedir. 40. dakikaya kadar olan numuneler 20 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden geçirilmiş numuneye aittir.



**Şekil 20.** Lacivert rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması

Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 16'da verilmiştir.

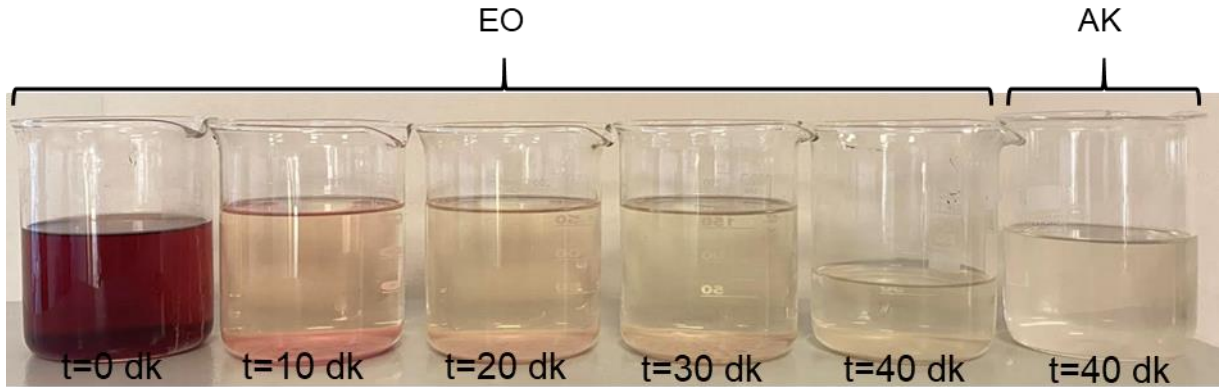
**Tablo 16.** Akrilik iplik boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları

PARAMETRE	BİRİM	EO+AK PİLOT TESİS GİRİŞ	EO+AK PİLOT TESİS ÇIKIŞ	EO+AK PİLOT TESİS VERİM (%)	GAOSB ATIKSU KANAL DEŞARJ STANDARTI
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	225	89	60.44	498
pH	-	7.53	8.85	-	6-9
Sıcaklık	°C	29.0	30.6	-	-
İletkenlik	µS/cm	9020	4220	53.21	-
Renk	PtCo	5806	73	98.74	260

- 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 m<sup>3</sup>/gün ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu 1933 m<sup>3</sup>/gün'dür. Pilot tesis işletme verileri: 3.4 V akım, 1000 A güç, süre 40 dak, harcanan enerji 5.5 kW'dır. Numune rengi kırmızı olup arıtım sonucu Şekil 21'de gösterilmektedir. 40.

dakikaya kadar olan numuneler 10 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden geçirilmiş numuneye aittir.



**Şekil 21.** Kırmızı renge sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması

Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 17’de verilmiştir.

**Tablo 17.** İplik ve kumaş boyama, havlu kumaş dokuma ve konfeksiyonu boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları

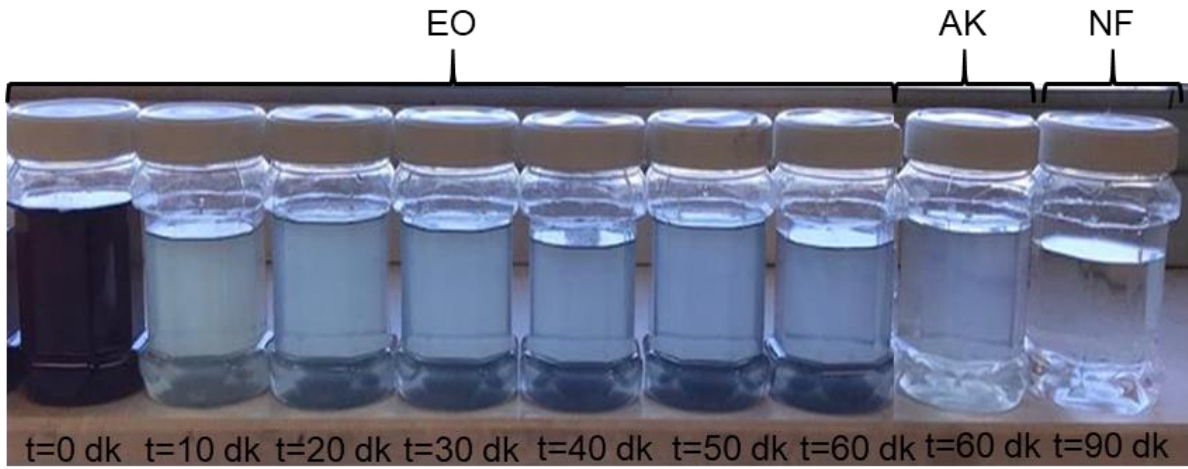
PARAMETRE	BİRİM	EO+AK PİLOT TESİS GİRİŞ	EO+AK PİLOT TESİS ÇIKIŞ	EO+AK PİLOT TESİS VERİM (%)	GAOSB ATIKSU KANAL DEŞARJ STANDARTI
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	147	33	77.55	498
Yağ ve Gres	mg/L	14.8	4.8	67.57	100
pH	-	10.06	9.60	-	6-9
Sıcaklık	°C	24.0	23.4	-	-
İletkenlik	µS/cm	110900	50400	54.55	-
Renk	PtCo	1535	46	97.00	260

### 5.3. 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 m<sup>3</sup>/gün ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu 450 m<sup>3</sup>/gün'dür. Pilot tesis işletme verileri: 4 V akım, 1000 A güç, 60 dak. süre, harcanan enerji 8.55 kW'dır. Numune rengi koyu lacivert olup arıtım sonucu Şekil 22'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.



Şekil 22. Koyu lacivert rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması

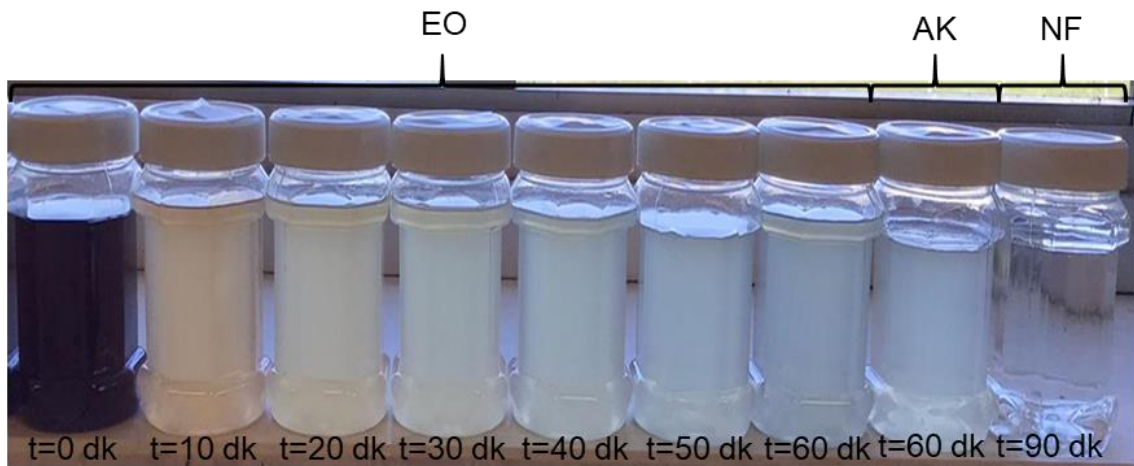
Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 18’de verilmiştir.

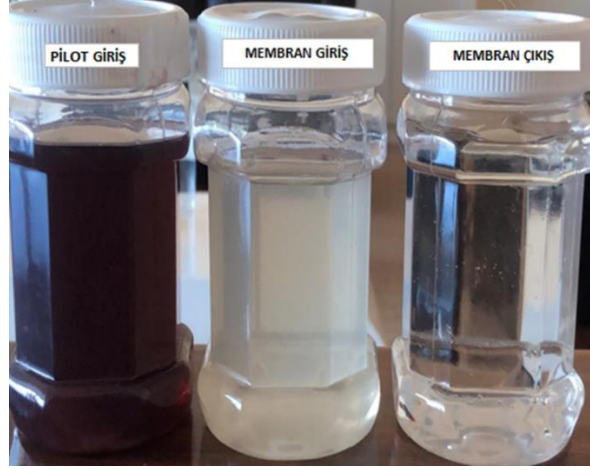
**Tablo 18.** Yuvarlak örgü kumaş boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları

Parametre	Birim	EO+AK+NF Pilot Tesis Giriş	EO+AK+NF Pilot Tesis Çıkış	EO+AK+NF Pilot Tesis Verim (%)	GAOSB Atıksu Kanal Deşarj Standartı
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	151	0	100.00	498
pH	-	10.4	9.3	-	6-9
Sıcaklık	°C	22.9	23.1	-	-
İletkenlik	µS/cm	52600	43100	19.96	-
Renk	PtCo	1497	24	98.37	260

- 2. Firma

Firmanın faaliyet konusu yuvarlak örgü kumaş boyama üzerine olup reaktif boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı 200 m<sup>3</sup>/gün ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu 450 m<sup>3</sup>/gün’dir. Pilot tesis işletme verileri: 4 V akım, 1000 A güç, 60 dak. süre, harcanan enerji 8.09 kW’dır. Numune rengi kırmızı+turuncu+mor olup arıtım sonucu Şekil 23’te gösterilmektedir. 60. dakikaya kadar olan numuneler 10 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden ve NF membrandan geçirilmiş numuneye aittir.





**Şekil 23.** Kırmızı+turuncu+mor rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması

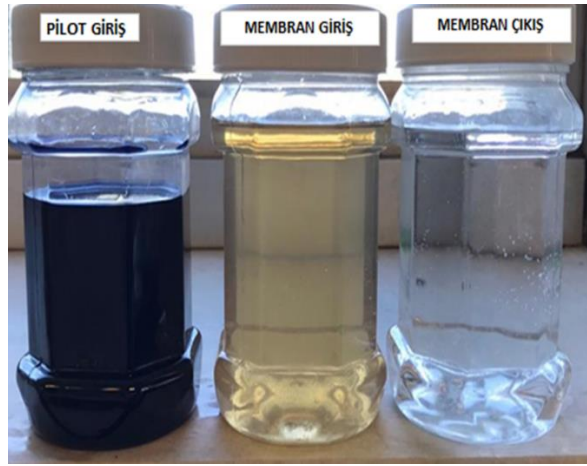
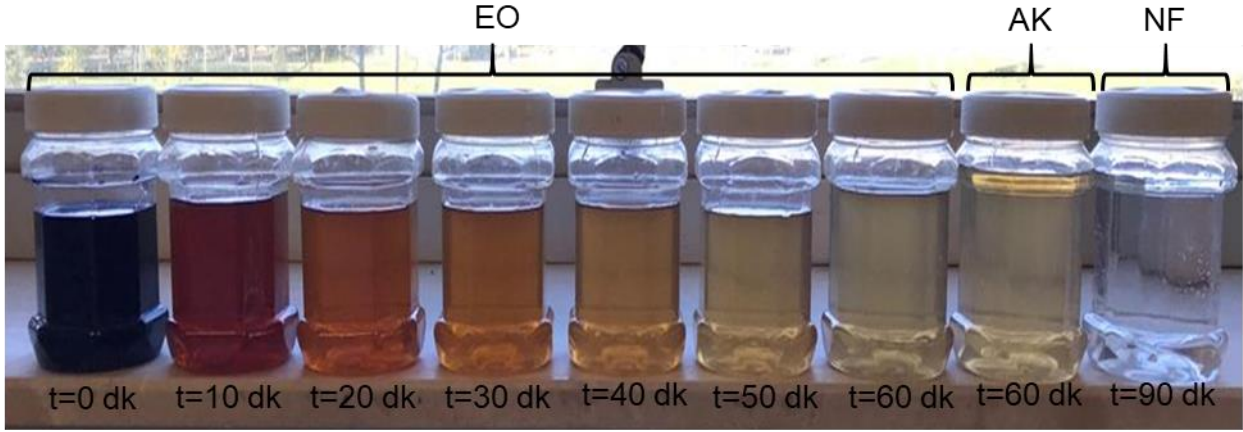
Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 19’da verilmiştir.

**Tablo 19.** Yuvarlak örgü kumaş boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları

PARAMETRE	BİRİM	EO+AK+NF PİLOT TESİS GİRİŞ	EO+AK+NF PİLOT TESİS ÇIKIŞ	EO+AK+NF PİLOT TESİS VERİM (%)	GAOSB ATIKSU KANAL DEŞARJ STANDARTI
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	181	0	100.00	498
pH	-	10.3	9.3	-	6-9
Sıcaklık	°C	23.6	23.2	-	-
İletkenlik	µS/cm	59600	52100	12.58	-
Renk	PtCo	938	12	98.72	260

- 3. Firma

Firmanın faaliyet konusu yuvarlak örgü kumaş boyama üzerine olup reaktif boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı 200 m<sup>3</sup>/gün ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu 450 m<sup>3</sup>/gün’dir. Pilot tesis işletme verileri: 4 V akım, 1000 A güç, 60 dak. süre, harcanan enerji 7.78 kW’dır. Numune rengi lacivert+turuncu+mor olup arıtım sonucu Şekil 24’te gösterilmektedir. 60. dakikaya kadar olan numuneler 10 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden ve NF membrandan geçirilmiş numuneye aittir.



**Şekil 24.** Lacivert+turuncu+mor rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması

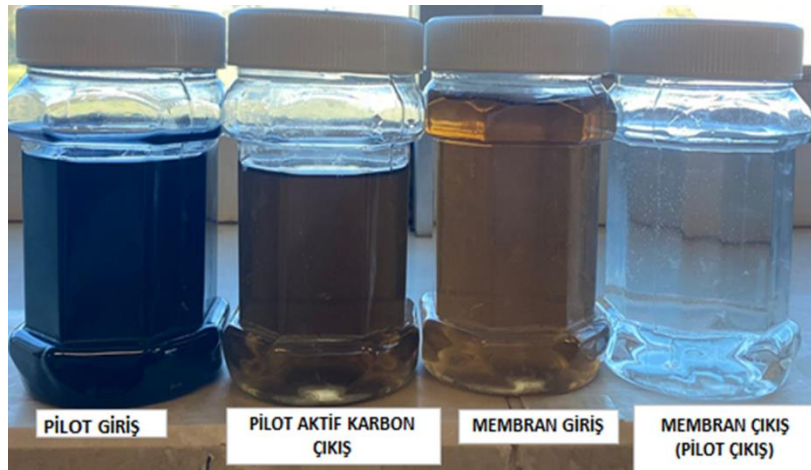
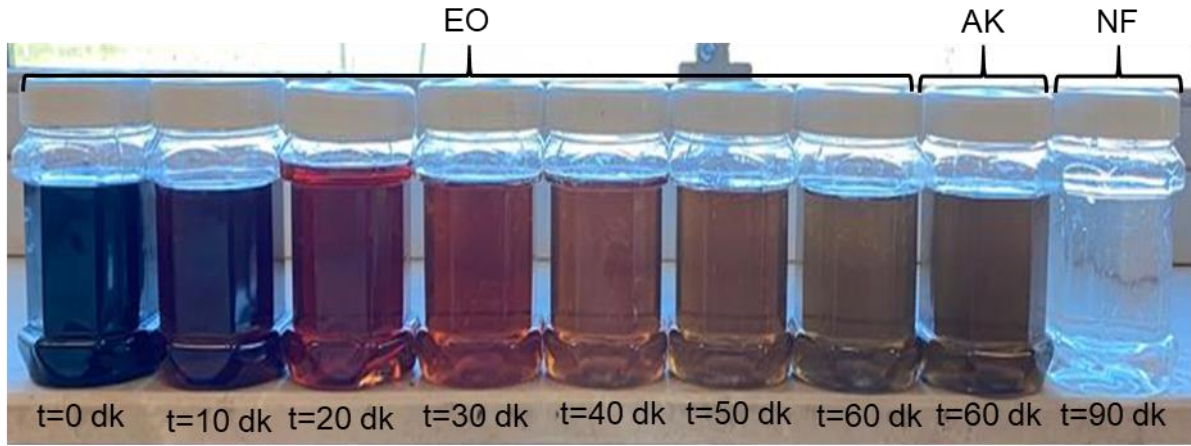
Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 20’de verilmiştir.

**Tablo 20.** Yuvarlak örgü kumaş boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları

Parametre	Birim	EO+AK+NF Pilot Tesis Giriş	EO+AK+NF Pilot Tesis Çıkış	EO+AK+NF Pilot Tesis Verim (%)	GAOSB Atıksu Kanal Deşarj Standartı
Askıda Katı Madde (AKM )	mg/L	215	0	100.00	498
pH	-	10.9	9.4	-	6-9
Sıcaklık	°C	21.6	21.6	-	-
İletkenlik	µS/cm	72200	51600	28.53	-
Renk	PtCo	9844	12	99.88	260

- 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 m<sup>3</sup>/gün ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu 1933 m<sup>3</sup>/gün'dür. Pilot tesis işletme verileri: 3.9 V akım, 1000 A güç, 60 dak. süre, harcanan enerji 7.97 kW'dır. Numune rengi lacivert+siyah olup arıtım sonucu Şekil 25'te gösterilmektedir. 60. dakikaya kadar olan numuneler 10 dakika aralıklarla EO reaktörünün içinden alınmış olup son numune AK filtreden ve NF membrandan geçirilmiş numuneye aittir.



Şekil 25. Lacivert+siyah rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması

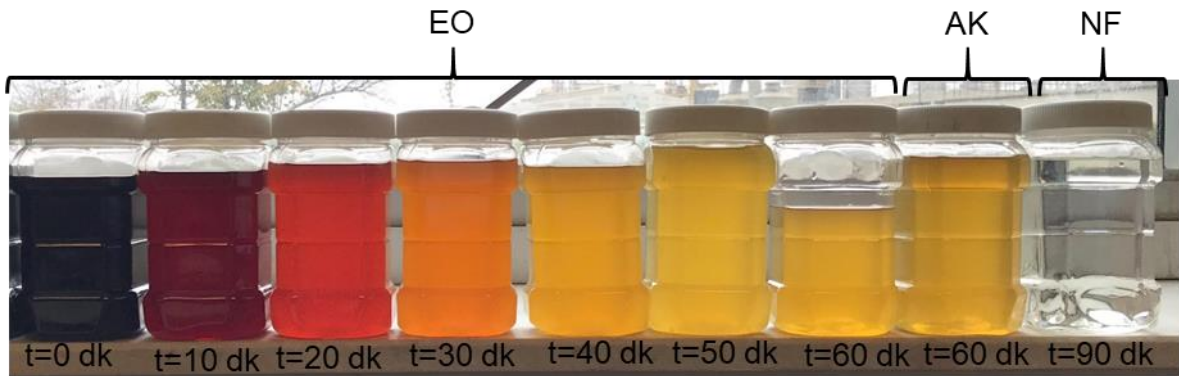
Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 21’de verilmiştir.

**Tablo 21.** İplik ve kumaş boyama, havlu kumaş dokuma ve konfeksiyonu boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları

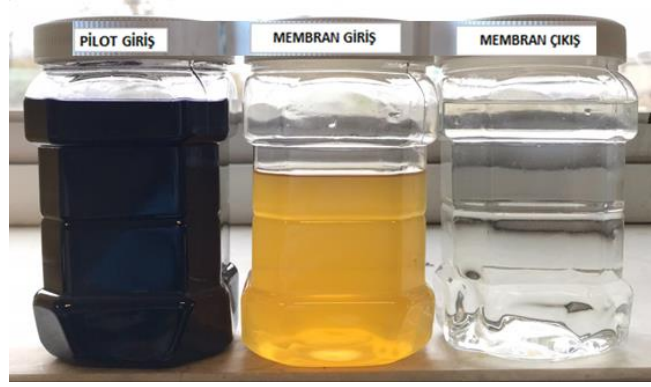
Parametre	Birim	EO+AK+NF Pilot Tesis Giriş	EO+AK+NF Pilot Tesis Çıkış	EO+AK+NF Pilot Tesis Verim (%)	GAOSB Atıksu Kanal Deşarj Standartı
Askıda Katı Madde (AKM )	mg/L	120	0	100.00	498
pH	-	10.	9.41	-	6-9
Sıcaklık	°C	22.8	23.9	-	-
İletkenlik	µS/cm	72800	65200	10.44	-
Renk	PtCo	16770	4	99.98	260

- 5. Firma

Firmanın faaliyet konusu penye kumaş boyama üzerine olup reaktif ve dispers boyama metodunu uygulamaktadır. Günlük ortalama boya banyosu deşarjı 90 m<sup>3</sup>/gün ve OSB verilerine göre günlük ortalama atıksu oluşumu 565 m<sup>3</sup>/gün’dür. Pilot tesis işletme verileri: 4.2 V akım, 1000 A güç, 60 dak. süre, harcanan enerji 7.8 kW’dır. Numune rengi lacivert+siyah olup arıtım sonucu Şekil 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.







**Şekil 26.** Lacivert+siyah rengine sahip atıksuyun pilot ölçekli tesiste arıtılması

Analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 22’de verilmiştir.

**Tablo 22.** Penye kumaş boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları

Parametre	Birim	EO+AK+NF Pilot Tesis Giriş	EO+AK+NF Pilot Tesis Çıkış	EO+AK+NF Pilot Tesis Verim (%)	GAOSB Atıksu Kanal Deşarj Standartı
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	171	0	100.00	498
pH	-	11.4	8.7	-	6-9
Sıcaklık	°C	20.5	24.4	-	-
İletkenlik	µS/cm	39600	32700	17.42	-
Renk	PtCo	19130	11	99.94	260

- 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 m<sup>3</sup>/gün’dür. Pilot tesis işletme verileri: 4.0 V akım, 1000 A güç, 60 dak. süre, harcanan enerji 7.5 kW’dır. Tesisten elde edilen analiz sonucu ve giderim verimleri Tablo 23’te verilmiştir.

**Tablo 23.** Pamuklu kumaş boyama banyosundan kaynaklanan atıksuyun analiz sonuçları

Parametre	Birim	EO+AK+NF Pilot Tesis Giriş	EO+AK+NF Pilot Tesis Çıkış	EO+AK+NF Pilot Tesis Verim (%)	<b>BOSB</b> Atıksu Kanal Deşarj Standartı
Askıda Katı Madde (AKM )	mg/L	185	0	100.00	500
Toplam Organik Karbon (TOC)	mg/L	404.5	61.9	84.70	-
Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)	mg/L	53.8	2.5	95.35	20
Toplam Fosfor (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.

#### **5.4. Geri Kazanılan Tuzlu Su İle Kumaş Boyama Çalışmaları**

##### **5.4.1. E-kontrol boyama**

Kumaşlar e-kontrol boyama yöntemine göre boyanmıştır. Emdirme yöntemine göre, aplikasyonda kurudan-yaşa ve yaştan-yaşa çalışma şekilleri söz konusudur. E-kontrol sistemi, bugüne kadar kullanılan, fular-infrared kurutucu-thermosol olarak uygulanan en ekonomik sürekli yöntemdir. Pamuk veya PES/PAM boyamanın, kolay, hızlı uygulanabilen en gelişmiş yöntemidir. E-kontrol sistemi, tüm indirekt ısıtma sistemleri için uygundur. Fiksaj veriminin yüksek olması, yıkama sırasında daha az su kullanımı demektir.

##### **➤ Kullanılan Boya ve Miktarları**

2.4 g Lemafix Amber CAN, 2.8 g Fast Red CA, 3.8 g Blue CA boyları 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 içerisine eklenip karıştırılır. % 20'lik soda çözeltisi (20 g soda 100 mL NF çıkış suyu ile tamamlanır) hazırlanarak çözelti içerisine eklenip tekrar karıştırılır. Boyanın kumaşı daha hızlı ıslatabilmesi için 2 mL'de ıslatıcı madde eklenir. Toplam 500 mL boya çözeltisi hazırlanmış olur. pH ayarlama yapılır.

### ➤ Fulard Boyama Makinesi

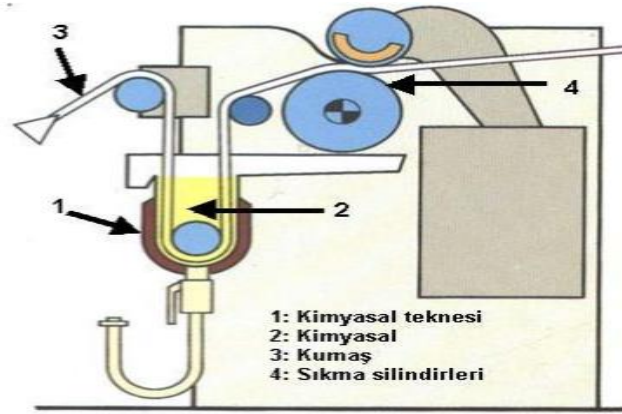
Bu yöntemle göre çalışmada tekstil ürünü, yine kimyasal maddeleri içeren bir çözelti (flotte) ile emdirilir. Emdirilen kumaştaki flottenin fazlası, tekne çıkışındaki silindirler arasından sıkılarak uzaklaştırılır ve yeniden emdirme teknesine döner. Böylece kumaşa aktarılan flotte ile birlikte kimyasal maddeler de düzgün bir şekilde kumaşa aktarılmış olur (Şekil 27).

Fulard kumaşın daldırıldığı bir tekneden ibarettir. Tekneden geçen kumaş üzerindeki fazla banyo çözeltisi daha sonra lastikli sıkma silindirleri tarafından basınç altında sıkıştırılarak geniş alan üzerine yayılır. Tekstil ürünü, yine kimyasal maddeleri içeren bir çözelti (flotte) ile emdirilir. Emdirilen kumaştaki flottenin fazlası, tekne çıkışındaki silindirler arasından sıkılarak uzaklaştırılır ve yeniden emdirme teknesine döner. Böylece kumaşa aktarılan flotte ile birlikte kimyasal maddeler de düzgün bir şekilde kumaşa aktarılmış olur. Banyonun düzgün ve eşit miktarda kumaşın tüm yüzeyine aktarılmasında fulard silindirlerinin ve sıkma silindirlerinin çok büyük önemi vardır.

Sıcaklık: 25-30 °C

Sıkma: %70


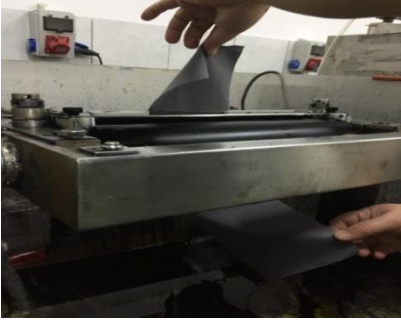
Hız: 3.5 m/sn



Şekil 27. Fulard boyama makinesinin çalışma prensibi





Fulard Makinesi

	Boya çözültisi fulard teknesine dökülür.
	Kumaşı fulard teknesine daldırarak sıkma silindirleri arasında sıkılması sağlanır.
	Kumaşın her yerinin çözülti ile emdirilmiş olmasına ve sıkma sırasında kumaşta kırık olmamasına dikkat etmek gerekir.

➤ E- Kontrol Makinesi

E-kontrol sistemi, bugüne kadar kullanılan, fular-infrared kurutucu-thermosol olarak uygulanan en ekonomik sürekli yöntemdir. Pamuk veya PES/PAM boyamanın, kolay, hızlı uygulanabilen en gelişmiş yöntemidir. E-kontrol, kumaşın fulardda boyar madde emdirildikten sonra nemi özel olarak kontrol edilen bir odada 120 ile 130 °C’de, 2–3 dakika içinde kurutulmasıdır. Bu kurutucu oda içinde nem miktarı %25 olduğundan kumaş yüzey sıcaklığı 68°C’yi aşmamaktadır. E kontrol makinesinde fikse edildikten sonra kumaş soğuk su ile yıkanır.

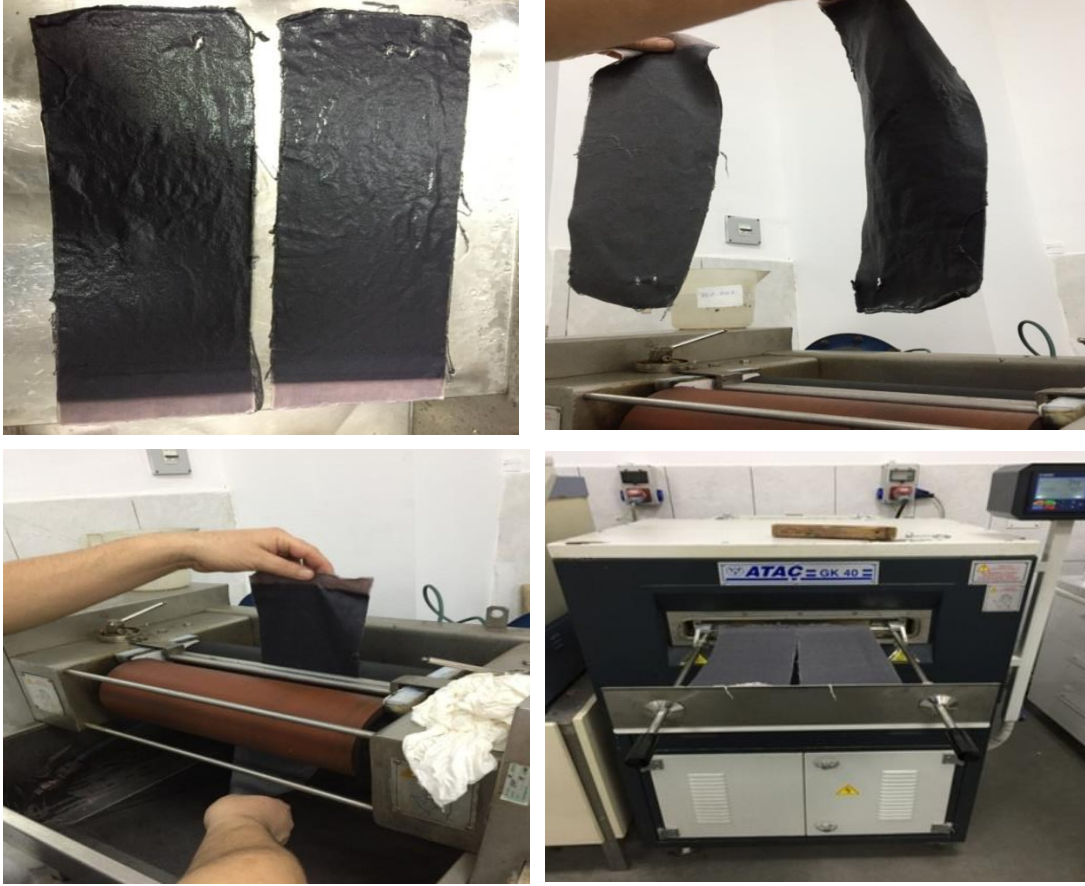
	E-kontrol
	Fulard makinesinden çıkan kumaşlar e-kontrol cihazına yerleştirilir. Gergefe yerleştirilirken kumaşın iğnelere takılması sert bir fırça yardımıyla yapılır.

➤ Sıcak Suda Kaynatma

Su kaynadıktan sonra kumaş 3 dak. Bekletilir (Şekil 28). Bittikten sonra tekrar soğuk su ile yıkayıp kurutulur (Şekil 29).



Şekil 28. Sıcak suda kaynatma prosedürü



**Şekil 29.** Kurutma prosedürü

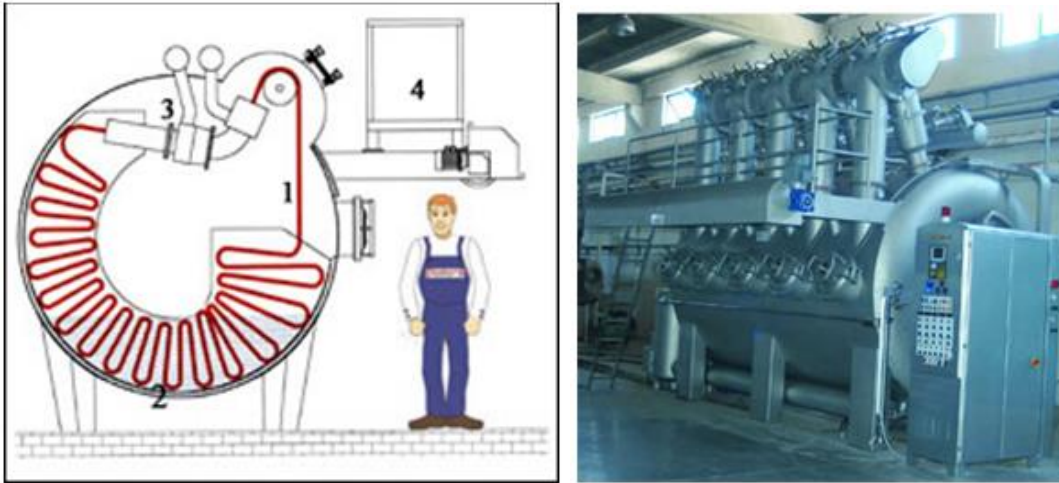
Numunenin standart boyama da olup olmadığı spektrofotometre kullanılarak  $\Delta E$  değerine göre doğrudan nihai sonuç elde edilir (Şekil 30).



**Şekil 30.** Spektrofotometre cihazı

#### 5.4.2. Jet Boyama

Jet boyama makinesi çalışma prensibi jet kumaş boyama makineleri çektirme yöntemi ile kesikli (diskontinü) olarak çalışan, yüksek sıcaklık ve basınç altında tüp veya halat şeklinde örme ve dokuma kumaş boyayabilen makinelerdir (Şekil 31). Günümüzde yaygın olarak kullanılan makinelerdir. Bu makineler pamuk, viskon, sentetik ve bunların karışımı (pamuk/polyester, pamuk/polyamid, viskon/polyester gibi) kumaşların boyanmasında ve ön işlemlerinde kullanılır. 140°C'ye kadar sıcaklık elde edilebilir. Flotte oranı 1:5–1:20 arasındadır. Hem materyalin hem de flottenin aynı anda sirküle olduğu makine tipidir. Asıl kumaş hareketini düzelerden basınçla püskürtülen flotte yapar ve sevk silindiri (haspel) de bunu destekler. Günümüzde kumaş hareketinin hava basıncı ilavesiyle desteklenmesi yöntemiyle çalışan makineler az da olsa kullanılmaktadır.



**Şekil 31.** Jet boyama makinası ve elemanları, 1. Kumaş, 2. Flotte, 3. Düze Sistemi, 4. İlave Tankı

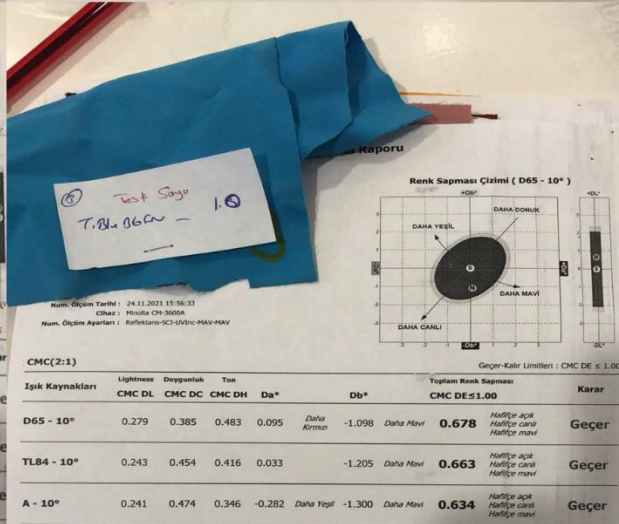
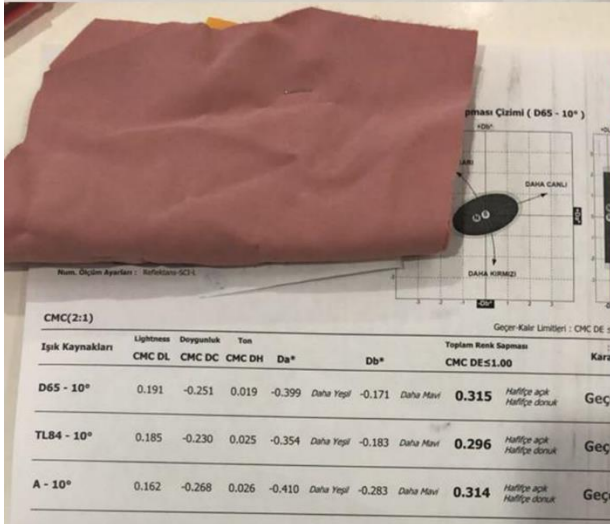
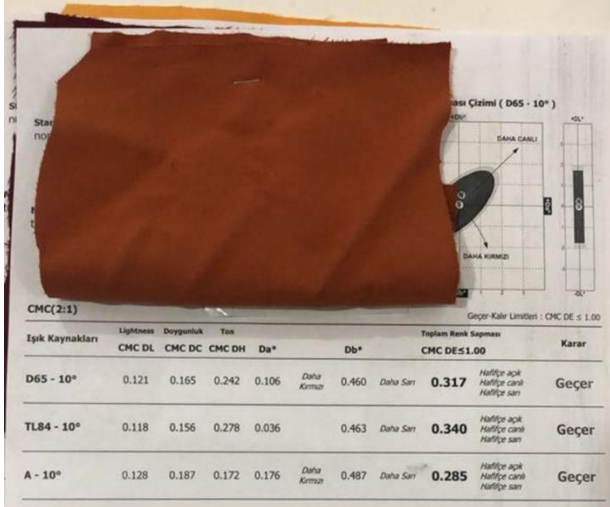
Jet boyama makinesinin çalışma şekli şöyledir. Boyama halat veya tüp halinde yapılır. Makinede hem flotte hem de halat halindeki kumaş büyük bir hızla sirküle edilir. Kumaşın tümünün makine içerisinde her iki dakikada, bir tam devir yapması gerekir. Basınç altındaki kumaş düzeye (daralan kısma) geldiğinde hızlanır ve kumaşı da beraberinde sürükler (Burada kullanılan düzenin görevi hem flottenin sirkülasyonu hem de kumaşın taşınmasını sağlamaktır). Böylece flottenin kumaşa nüfuzu da artar. Sonuçta düzgün bir boyama elde edilir. Kumaş hızı 400-700 m/dakika civarındadır. Kumaş kendiliğinden hareket ettiğinden kırışıklık meydana gelme ihtimali azdır.

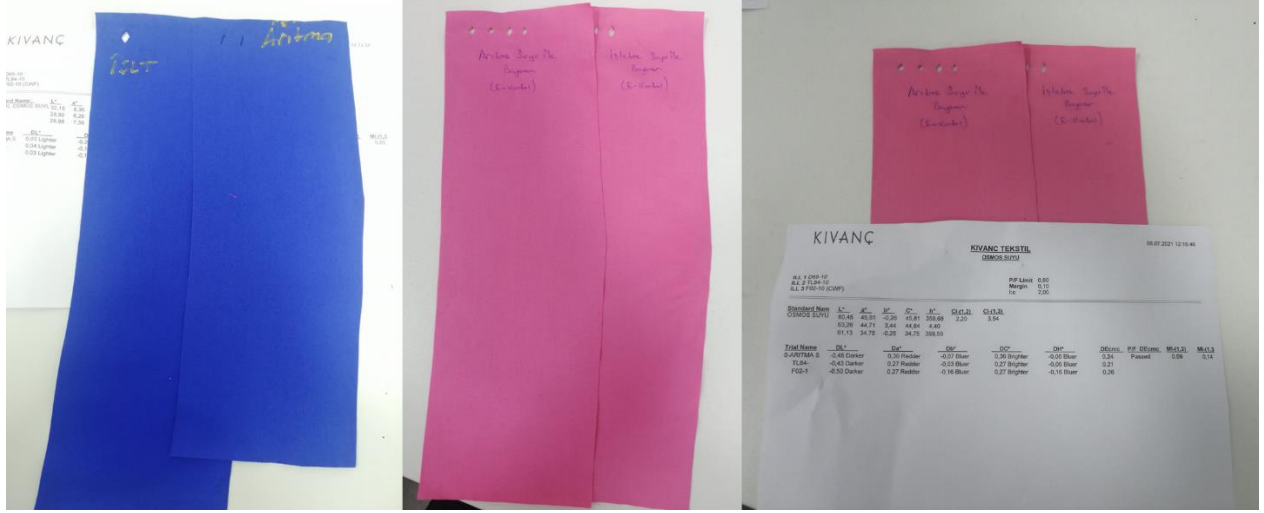
Proje kapsamında farklı firmalardan ve farklı banyo formülasyonlarından alınan numuneler ile renk ve KOİ giderim çalışmaları gerçekleştirilmiş olup sistemin çalışma koşulları optimize

edilmiştir. Geri kazanılan su ile açık ve koyu renkli boyalar kullanılarak 30 cm×30 cm boyutlarına sahip kumaşların boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 32’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.

Geri kazanılan tuzun kumaş boyamada kullanılacağı durumda iletkenlik değerine göre boyama yapılacaktır. Burada 3 durum söz konusudur. Birinci durumda iletkenlik fazla ise su ile gerekli iletkenlik değerine kadar seyreltilecektir. İkinci durumda iletkenlik değeri uygun ise direk kullanılacaktır. Üçüncü durumda iletkenlik değeri düşük ise tuz ilavesiyle gerekli iletkenlik değeri sağlanacaktır.







Şekil 32. Geri kazanılan tuzlu su ile gerçekleştirilen kumaş boyamaları

### 5.5. Pilot Ölçekli Proses Ait İşletme Maliyet Analizi

1 m<sup>3</sup> atık suyun geri kazanılması için gerekli enerji ve maliyet analizi aşağıda verilmektedir (Tablo 24).

**Tablo 24.** Kumaş boyama banyosu atık sularının EO+AK+NF membran prosesiyle arıtımı için maliyet analizi

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

\* GAOSB Müdürlüğü tarafından verilen bilgiye göre

Gerçek ölçekli tesisin kurulum maliyet analizi aşağıda verilmektedir.

EO+AK+NF tesisi 2 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli olup fiyatı 50.000 \$+KDV'dir. İstenilen debiye göre tesis sayısı arttırılacaktır. Tesiste akım yoğunluğu 200 A/m<sup>2</sup> olup 140 adet anot ve 140 adet katot içermektedir.

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

Firmaların ortalama boya banyo sularının 200 m<sup>3</sup>/gün olduğu dikkate alınırsa günde 20 saat (10 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli tesisin fiyatı 50.000 \$+KDV olup 10 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli tesis için 5 adet sistem kurulması gerekir. Toplam tesis yatırım maliyeti  $5 \times 50.000 \$ = 250.000 \$ = 3.250.000 \text{ TL} + \text{KDV} = 3.835.000 \text{ TL}$

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

### **5.6. Pilot Ölçekli EO+AK+NF Membran Arıtma Sisteminin Sağlayacağı Faydalar**

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 **gelemedir.**
- 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.
- Kalıcı organik bileşiklerin gideriminde EO prosesleri önemli bir rol oynamaktadır.
- Aynı akım yoğunluğunda düşük volt değerinin gözlenmesi tuzlu atıksular için olası bir durum olmakla beraber volt değerinin düşmesi ile birim elektrik maliyeti düşmektedir. Bu

sonuç özellikle tekstil atıksuları gibi yoğun tuz içeriğine sahip olan atıksuların arıtılmasında EO prosesini avantajlı hale getirmektedir.

- 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 konsantresi 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.

## **KAYNAKLAR**

Anglada, A., Urtiaga, 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 o<sub>2</sub>-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

Elfighi, 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.

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., Szyrkowicz, 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.