

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARINDA İNDİGO BOYANIN GERİ KAZANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hacer İNCE

Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Ubeyde İPEK

OCAK-2014

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARINDA İNDİGO BOYANIN GERİ KAZANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hacer İNCE
(102112106)**

Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Ubeyde İPEK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22 Ocak 2014

OCAK-2014

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tez çalışmasında, denim üretiminde kullanılan İndigo boyanın geri kazanımı ile ilgili konu ele alınmıştır. Gerekli malzeme ve atıksular GAP Güneydoğu Tekstil San ve Tic A.Ş tarafından karşılanmıştır.

Tez çalışmalarım sırasında her türlü desteği ve bilgiyi paylaşan danışman hocam Prof. Dr. Ubeyde İPEK'e, bölümde her zaman beni karşılayan, destek veren dostum Dr. Özlem Tepe'ye, değerli bütün bölüm hocalarıma, hep yanımda destek olan eşime ve ağabeyime, zamanlarından çaldığım kızım Ahsen ve oğlum Esat'a en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Gap Güneydoğu Tekstil olarak, bütün olanakları kullanmamda destek olan Direktörümüz Celal Erkuş'a ve Müdürüm İsmet Kalalı'ya, yardımlarından dolayı laboratuvar Şefi Ayşe Genç'e, İndigo boyanın kazanılıp tekrar kullanılması konusunda bana en büyük desteği veren Proses Kontrol Müdürü Osman Tay'a, membran konusunda destek veren Makine Enerji Müdürü Abdullah Dağdelen'e, atıksuları bana temin edip her tür bilgiyi aldığım İndigo İhzar Müdürü Yasin Topçu'ya, İhzar Şefi Ramazan Kesirik'e ve İlker Çilesiz'e, her konuda desteğini esirgemeyen Murat Bozan'a teşekkürlerimi sunarım.

Hacer İNCE

ELAZIĞ – 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	X
SEMBOLLER LİSTESİ	XII
KISALTMALAR.....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. TEKSTİL ATIKSULARININ GENEL ÖZELLİKLERİ	3
2.1. Tekstil Endüstrisi Üretim Basamakları	3
2.1.1. Elyaf Üretimi	4
2.1.2. İplik Üretimi.....	4
2.1.3. İplik Boyama	5
2.1.4. Haşılama	5
2.1.5. Finish İşlemleri	7
2.2. Tekstil Endüstrisinden Kaynaklanan Atıksuların Özellikleri.....	7
2.2.1. Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Özellikleri	8
2.2.2. Tekstil Atıksularının Arıtımı	9
2.3. Tekstil Atıksularının Arıtılmasında Kullanılan Kimyasal Yöntemler.....	11
2.3.1. Oksidasyon	11
2.3.2. H ₂ O ₂ -Fe(II) Tuzları (Fenton Ayırıcı).....	11
2.3.3. Ozon	12
2.3.4. Fotokimyasal Yöntem	13
2.3.5. Sodyum Hipoklorit (NaOCl)	13
2.3.6. Elektrokimyasal Yöntem	14
2.3.7. Kimyasal Floklaştırma ve Çöktürme Yöntemi.....	15
2.3.8. Cucurbituril ile Arıtım.....	15
2.4. Fiziksel Yöntemler	16
2.4.1. Adsorpsiyon.....	16
2.4.2. Membran Filtrasyonu	16
2.4.3. İyon Değişimi	17
2.5. Biyolojik Yöntemler.....	17
2.5.1. Aerobik Yöntem	18
2.5.2. Anaerobik ve Aerobik Yöntemler	19

3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN MEMBRAN ÇEŞİTLERİ.....	22
3.1. Mikrofiltrasyon (MF) Membranları ile Arıtım ve Geri Kazanım	22
3.2. Ultrafiltrasyon (UF) Membranları ile Arıtım ve Geri Kazanım	23
3.3. Nanofiltrasyon (NF) Membranları ile Arıtım ve Geri Kazanım	24
3.4. Ters Ozmos (TO) Membranları ile Arıtım ve Geri Kazanım.....	25
3.5. Membran Performansı	26
3.5.1. Akı	26
3.5.2. Giderme Verimi	28
3.6. Tekstil Endüstrisinde Membran Teknolojileri Uygulamaları	28
3.6.1. Membran Teknolojilerinin İşletme Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi	30
3.6.2. Membran Teknolojilerinin Su ve Atıksu Arıtımında Uygulama Alanları ve Geri Kazanım Performansı.....	30
3.6.3. Membran Teknolojisi ile Boyanın Geri Kazanılması.....	32
4. MATERYAL ve METOD	33
4.1. Tesis Bilgileri	33
4.2. Deneysel Düzenek	34
4.3. İndigo Boyanın Özellikleri	37
4.4. İndigo Boyama Prosesinin Özellikleri	37
4.5. Metrohm Cihazının Kullanımı	39
4.6. Boyalı Kumaşın Elektromagnetik Spectrum (Hunterlab) da Okunuşu	40
4.7. Çalışmanın Yöntemi	41
4.7.1. İndigo boya ile Boyamanın Yapılışı	42
4.7.2. Konsantre Çözeltilerden Boyama Yapılması	44
5. BULGULAR.....	46
5.1. Yükseltgen Haldeki Toz İndigo Boyanın Analizi (D1).....	46
5.1.1. İndigo Boyalı Çözelti Hazırlama İşlemi	46
5.1.2. Metrohm Cihazı ile İndigo Konsantrasyonunun Bulunması	47
5.1.3. Geri Kazanılarak Elde Edilen Boya ile Elyaf Boyama İşlemi.....	47
5.2. Yıkama Suyundaki Boya Miktarının Ölçümü (D2)	48
5.2.1. Atıksu Numunesindeki Boya Miktarının Ölçümünde 1. Çalışma	49
5.2.2. Atıksu Numunesindeki Boya Miktarının Ölçümünde 2. Çalışma	49
5.3. 2 g/L İndigo Boya İçeren Çözelti Atıksuyunun 10 Bar Basıçtaki Membran Analizi (D3)	51
5.3.1. Konsantre Çözeltinin 1. Kez (K1) Membrandan Geçirilmesi (D3 – K1).....	51
5.3.2. Konsantre Çözeltinin 2. Kez (K2) Membrandan Geçirilmesi (D3 – K2).....	52
5.3.3. Membran Çıkışından 0,17 g/L Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması (D3 – K1)	54
5.3.4. Membran Çıkışından 0,22 g/L 2. Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması (D3 – K2)	54
5.4. 2 g/L İndigo Boya İçeren Çözelti Atıksuyunun 11 Bar Basıçtaki Membran Analizi (D4)	55

5.4.1. Konsantre Çözeltinin 1. Kez Membrandan Geçirilmesi.....	55
5.4.2. Konsantre Çözeltinin 2. Kez Membrandan Geçirilmesi.....	56
5.4.3. Membran Çıkışından 0,16 g/L Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması (D4 – K1)	58
5.4.4. Membran Çıkışından 0,19 g/L 2. Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması (D4-K2).....	58
5.5. 2 g/L İndigo Boya İçeren Çözelti Atıksuyunun 12 Bar Basıçtaki Membran Analizi (D5)	59
5.5.1. Konsantre Çözeltinin 1. Kez Membrandan Geçirilmesi.....	59
5.5.2. Konsantre Çözeltinin 2. Kez Membrandan Geçirilmesi.....	60
5.5.3. Membran Çıkışından 0,22 g/L Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması.....	62
5.5.4. Membran Çıkışından 0,28 g/L 2. Kez Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması.....	63
5.6. 3 g/L İndigo Boya İçeren Çözelti Atıksuyunun 10 Bar Basıçtaki Membran Analizi (D6)	64
5.6.1. Konsantre Çözeltinin 1. Kez Membrandan Geçirilmesi.....	64
5.6.2. Konsantre Çözeltinin 2. Kez Membrandan Geçirilmesi.....	65
5.6.3. Membran Çıkışından 0,22 g/L Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması.....	67
5.6.4. Membran Çıkışından 0,26 g/L 2. Kez Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması.....	67
5.7. 3 g/L İndigo Boya İçeren Çözelti Atıksuyunun 11 Bar Basıçtaki Membran Analizi (D7)	68
5.7.1. Konsantre Çözeltinin 1. Kez Membrandan Geçirilmesi.....	68
5.7.2. Konsantre Çözeltinin 2. Kez Membrandan Geçirilmesi.....	69
5.7.3. Membran Çıkışından 0,24 g/L Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması (D7 – K1)	71
5.7.4. Membran Çıkışından 0,26 g/L 2. Kez Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması.....	71
5.8. 3 g/L İndigo Boya İçeren Çözelti Atıksuyunun 12 Bar Basıçtaki Membran Analizi (D8)	72
5.8.1. Konsantre Çözeltinin 1. Kez Membrandan Geçirilmesi.....	72
5.8.2. Konsantre Çözeltinin 2. Kez Membrandan Geçirilmesi.....	73
5.8.3. Membran Çıkışından 0,28 g/L Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması.....	75
5.8.4. Membran Çıkışından 0,34 g/L 2. Kez Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması.....	75
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	77
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	88

ÖZET

Bu çalışmada, indigo boya ile boyama yapılan halat boya makinelerinde boyalı çıkan atıksular ters ozmos sistemi kullanılarak, suyun bir kısmı arıtılırken, kalan kısmı konsantre hale getirilmiştir. Konsantre halde elde edilen çözelti ile kumaş boyama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmada indigo boya içeren yıkama suları kullanılmıştır. İndigo boya suda çözünmeyen bir küp boya olduğundan indirgenerek kullanılmaktadır. İlk deneylerde boya çözeltisinden doğal yollarla tekrar yükseltgenerek katı (toz) halde elde edilen madde incelenmiştir. Testler sonucu bu maddenin yükseltgenerek katı hale gelen indigo boya olduğu ayrıca yapılan deneylerle indigo boyanın özelliğini kaybetmediği görülmüştür.

İndigo boyanın özelliğini kaybetmemesi neticesinde membran sistemi kullanılarak boya çözeltisi konsantre hale getirilmiş, kumaş numunelere boyanarak, konsantre hale gelmiş ve indirgenen indigo boya içeren atıksudan tekrar boyama yapılacağı görülmüştür.

İndigo boyama makinelerinin yıkama teknelerinden atıksu alınmıştır. İçerisinde 0,1 g/L den az boya ihtiva eden atıksular membrandan geçirilerek konsantre çözelti elde edilmiştir. Konsantre çözelti 2. Kez membrandan geçirilerek daha yoğun boya içeren çözelti elde edilmiştir. 2. Kez konsantre hale getirilen boyalı çözelti ile kumaş boyama yapılmış, renk değerleri kontrol edilmiştir.

3 g/L indigo boya içeren boyama çözeltisinden elde edilen yıkama atıksu 12 bar basınçta 1. kez membrandan geçirildiğinde elde edilen konsantre çözeltide 0,28 g/L boya olduğu görülmüştür. 0,28 g/L boya içeren çözelti ile boyanan referans renk kabul edilen kumaşın rengi karşılaştırıldığında %18,16 oranında daha koyu mavi renk elde edilmiştir.

2.kez membrandan geçirilen konsantre çözeltide 0,34 g/L boya olduğu görülmüştür. 0,34 g/L boya içeren çözelti ile boyanan kumaşın rengi, 0,1 g/L boya içeren atıksuyla boyanan referans renk kabul ettiğimiz kumaşın rengi karşılaştırıldığında %26,56 oranında daha koyu mavi renk elde edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda görülmüştür ki, membran sistemi ile atıksular arıtılırken bir yandan da elde edilen konsantre çözelti ile boyama yapılabilir.

Anahtar Kelimeler: Tekstil, Atıksu, İndigo Boya, Membran, Metrohm Cihazı

SUMMARY

Recycling Indigo Dye From Waste Water in Textile Industry

In this study, the wastewater that contains indigo dye from rope dyeing machines uses the method of reverse ozmosis system; a portion of water is treated, while the remaining portion was concentrated. And the resulting concentrated solution was used to dye the fabric.

In this practice, washing water containing the indigo dye was used. Since the Indigo dye is a water-insoluble vat dye, it was used by reducing. In initial experiments, the dye which has been oxidized again naturally to obtain solid (powder) from the solution was investigated. Tests showed that this material was oxidized and become indigo dye without losing dye property.

Resulting Indigo dye without losing property has been used with membrane systems to concentrate the solution, the fabric samples has been dyed with it, the waste water which was reduced, concentrated and containing indigo dye can be used to re-dye.

Indigo dyeing wastewater from the washing tub of the machines has been gotten. The waste water which has less than 0.1 g/L of dye was passed through the membrane and was resulted in a concentrated solution. The concentrated solution has been passed through membrane for the second time to have more concentrated solution. This solution has been also used to dye the fabric and the color values have been checked.

The waste water that was obtained from the solution which contains 3 g/L of indigo dye was passed through the membrane for the first time with the 12 bar of pressure was observed with 0,28 g/L of dye in it. Fabric has been dyed with this 0,28 g/L dye solution and reference color of the fabric was compared with new dyed fabric and result was darker blue with an increasing number of 18.6%.

The solution was passed through for the second time and it was resulted with 0,34 g/L of dye in the solution. This solution which contains 0,34 g/L of dye has been used to dye a fabric and the fabric was compared with the reference fabric that has been dyed with 0,1 g/L of dye and the result was 26.5% darker blue.

It has been observed in this study that the waste water which has been treated with the membrane system can also be used as a concentrated solution for dying.

Key Words: Textile, Waste Water, Indigo Dye, Membrane, Metrohm Device.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Tekstil işletmesi iş akış şeması (Gap Güneydoğu Tekstil San ve Tic A.Ş)	3
Şekil 2.2. İndigo boya makinesinde ipliklerin boyama işlemi	5
Şekil 2.3. Haşıl makinesinde gerçekleşen haşıllama işlemi	6
Şekil 2.4. Finish işlemleri	7
Şekil 3.1. MF membranların işleyişi	23
Şekil 3.2. UF membranların görünüşü	24
Şekil 3.3. NF membranların işleyişi	25
Şekil 3.4. Ters ozmos membranın görünüşü	26
Şekil 3.5. Membran teknolojilerin tutma ve ayırma aralıkları	31
Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan membran sistemi	34
Şekil 4.2. Ters ozmos ünitesi (TO membranı, basınç motoru ve basınç göstergesi)	35
Şekil 4.3. TO membran ile deney düzeneği	35
Şekil 4.4. TO değiştirilen membran.....	36
Şekil 4.5. TO girişindeki atıksu ve TO çıkışındaki ürün suyu	37
Şekil 4.6. İndigo boya makinesindeki teknelerden boyanan ipliğin görüntüsü.....	38
Şekil 4.7. Geri kazanılan boya miktarından hazırlanan çözeltinin metrohm cihazı ile ölçülmesi	40
Şekil 4.8. Oksijenle yükseltgenerek silindirlerden kazıyarak aldığımız boya kalıntılarının indirgenme işlemi.....	43
Şekil 5.1. İndigo makinesi üzerinden alınan geri dönüşümü olan indigo boya kalıntıları ..	46
Şekil 5.2. Doğal yollarla elde edilen indigo boya ile yapılan boyama	48
Şekil 5.3. Membrandan geçirilen atıksu görüntüleri	51
Şekil 5.4. 2 g/L çözeltinin yıkama suyundan 10 bar basınçta 1. ve 2. kez konsantre edilen indigo boya miktarları (gram)	53

Şekil 5.5. 2 g/L çözeltinin yıkama suyundan 11 bar basınçta 1. ve 2. kez konsantre edilen indigo boya miktarları (gram)	57
Şekil 5.6. 2 g/L çözeltinin yıkama suyundan 12 bar basınçta 1. ve 2. kez konsantre edilen indigo boya miktarları (gram)	62
Şekil 5.7. 3 g/L çözeltinin yıkama suyundan 10 bar basınçta 1. ve 2. kez konsantre edilen indigo boya miktarları (gram)	66
Şekil 5.8. 3 g/L çözeltinin yıkama suyundan 11 bar basınçta 1. ve 2. kez konsantre edilen indigo boya miktarları (Gram)	70
Şekil 5.9. 3 g/L çözeltinin yıkama suyundan 12 bar basınçta 1. ve 2. kez konsantre edilen indigo boya miktarları (gram)	74
Şekil 6.1. Kumaş boyama değerlerinin grafik olarak görünümü.....	79

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Pamuklu tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu karakteristiklikleri (Selçuk, 1997)	8
Tablo 3.1. Basınç kuvvetleri altında çalışan membranlara ait, membran direnci ve basınç farklılığı değerleri (Wiesner vw Aptel, 1996).....	27
Tablo 3.2. Membran proseslerin işletme parametrelerine göre sınıflandırılması tchobanoglous, (G. and Stensel, H. D., 2003).....	30
Tablo 3.3. Membranların üretim şekillerine ve uygulama alanlarına göre karşılaştırılması (Tchobanoglous, G. and Stensel, H. D 2003).....	31
Tablo 4.1. TO membranının özellikleri	36
Tablo 4.2. Yıkama Atıksu Analiz Metodları	45
Tablo 5.1. Yıkama teknesinden alınan atıksudaki metrohm cihazı ile yapılan ölçüm sonucunda elde edilen değerler	49
Tablo 5.2. Yıkama teknesinden 2. kez alınan atıksuyun metrohm cihazı ile yapılan ölçüm sonucunda elde edilen değerler	50
Tablo 5.3. 2 g/L çözeltinin yıkama suyundan 10 bar basınçta 1. kez konsantre (K1) edilen çözelti değerleri (D3 – K1).....	52
Tablo 5.4. 2 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 10 bar basınçta 2. kez konsantre (K2) edilen çözelti değerleri (D3-K2)	53
Tablo 5.5. 2 g/L'lik çözeltinin yıkama suyunun 10 bar basınçta 1. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,17 g/L' lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D3 – K1)	54
Tablo 5.6. 2 g/L' lik çözeltinin yıkama suyunun 10 bar basınçta 2. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,22 g/L' lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D3 – K2)	55
Tablo 5.7. 2 g/L çözeltinin yıkama suyundan 11 bar basınçta 1. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D4 – K1).....	56
Tablo 5.8. 2 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 11 bar basınçta 2. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D4 – K2).....	57
Tablo 5.9. 2 g/L lik çözeltinin yıkama suyunun 11 bar basınçta 1. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,16 g/L lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D4 – K1)	58
Tablo 5.10. 2 g/L lik çözeltinin yıkama suyunun 11 bar basınçta 2. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,19 g/L lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D4- K2)	59
Tablo 5.11. 2 g/L çözeltinin yıkama suyundan 12 bar basınçta 1. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D5 – K1).....	60

Tablo 5.12. 2 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 12 bar basınçta 2. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D5 – K2).....	61
Tablo 5.13. 2 g/L' lik çözeltinin yıkama suyunun 12 bar basınçta 1. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,22 g/L' lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D5 – K1)	63
Tablo 5.14. 2 g/L lik çözeltinin yıkama suyunun 12 bar basınçta 2. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,28 g/L lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D5 – K2)	63
Tablo 5.15. 3 g/L çözeltinin yıkama suyundan 10 bar basınçta 1. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D6 – K1).....	65
Tablo 5.16. 3 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 10 bar basınçta 2. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D6 – K2).....	66
Tablo 5.17. 3 g/L lik çözeltinin yıkama suyunun 10 bar basınçta 1. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,22 g/L lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D6 – K1)	67
Tablo 5.18. 3 gr/lik çözeltinin yıkama suyundan 10 bar basınçta 2. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,26 gr/lt lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D6 – K2)	68
Tablo 5.19. 3 g/L çözeltinin yıkama suyundan 11 bar basınçta 1. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D7 – K1).....	69
Tablo 5.20. 3 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 11 bar basınçta 2. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D7 – K2).....	70
Tablo 5.21. 3 g/L lik çözeltinin yıkama suyunun 11 bar basınçta 1. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,24 g/L lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D7 – K1).....	71
Tablo 5.22. 3 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 11 bar basınçta 2. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,26 g/L lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D7 – K2)	72
Tablo 5.23. 3 g/L çözeltinin yıkama suyundan 12 bar basınçta 1. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D8 – K1).....	73
Tablo 5.24. 3 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 12 bar basınçta 2. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D8 – K2).....	74
Tablo 5.25. 3 g/L lik çözeltinin yıkama suyunun 12 bar basınçta 1. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,28 g/L lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D8 – K1)	75
Tablo 5.26. 3 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 12 bar basınçta 2. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,34 g/L' lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D8 – K2)	76
Tablo 6.1. İndigo boya yıkama suyuna ait analiz sonuçları	77
Tablo 6.2. Konsantre çözelti ile yapılan boyama değerleri	79

SEMBOLLER LİSTESİ

Δa	: Renk değeri (+) ise kırmızıda, (-) ise yeşilde
Δb	: Renk değeri (+) ise sarıda, (-) ise mavide
Δc	: Renk değeri (+) ise daha parlak, (-) ise daha mat
A	: Yeşil – kırmızı eksenindeki renk noktası
AP	: Membran basıncı
B	: Mavi – sarı eksenindeki renk noktası
C	: Konsantrasyon
C	: Parlaklık – matlık eksenindeki renk noktası
Cf	: Besleme suyu konsantrasyonu
Cm	: Membran yüzeyindeki konsantrasyon
Cp	: Süzüntü akımı konsantrasyonu
D	: Difüzyon katsayısı
DL	: Renk değeri (+) ise açıkta, (-) ise koyuda
H	: Renk uzayında rengin açısız olarak bulunduğu nokta
J	: Membrandan geçen akı
K	: Kütle transfer katsayısı
L	: Açıklık – koyuluk eksenindeki renk noktası
Ne	: İplik kalınlık numarası
Oz/yd²	: Metre karedeki kumaşın gram olarak ağırlığı
R	: Geri dönüş oranı
Rg	: Gerçek giderme verimi
Ro	: Gözlenen giderme verimi
U	: Süzüntü vizkozitesi

KISALTMALAR

AKM	: Askıda Katı madde
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
CMC	: Karboksimetilselülöz
K1	: İlk döngüdeki konsantre su
K2	: İkinci döngüdeki konsantre su
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MF	: Mikrofiltrasyon
MLSS	: Katı Madde Konsantrasyonu
NF	: Nanofiltrasyon
TDS	: Suda bulunan toplam çözünmüş katı madde miktarı
TF	: Ters Ozmos
UF	: Ultrafiltrasyon
UV	: Ultraviyole
YBP	: Yüksek basınç pompası

1. GİRİŞ

Ülkemizde en büyük endüstri dallarından biri olan tekstil endüstrisi, çok su tüketilen, kullanılan hammadde ve kimyasal maddelerin, gerçekleştirilen işlemlerin, her işlem için uygulanan teknolojilerin çeşitliliği nedeni ile farklılık gösteren ve üretilen ürüne bağlı atık kaynağı olarak son derece değişken yapıya sahip bir endüstridir.

Tekstil endüstrisi ülkemizde, endüstriyel faaliyetler arasında önemli bir yere sahiptir. Ülkemiz ekonomisine katkısı önemli bir mertebededir. Çok farklı üretim aşamalarını içeren tekstil endüstrisi sonuçta bu farklılığı oluşturan atıksulara da yansıtmakta ve gerek miktar gerekse bileşim yönünden çok değişken atıksular oluşmaktadır. En çok kullanılan endüstriler arasında yer alan tekstil endüstrisi atıksuları miktarları ve bileşimleri yönünden çok değişken olup kompleks bir yapıya sahiptirler.

Endüstriyel üretim her geçen gün biraz daha arttığı için, oluşacak zararlı etkilerin en aza indirilmesi için yeni teknolojilere başvurulması gerekmektedir. Özellikle boyahanelerde, elyaf tipine göre boya banyolarının farklılaşması özel karakterde bir atıksu oluşumuna sebep olmaktadır. Tekstil boyahanelerinde kullanılan boyaların bir miktarı elyaflar tarafından emilirken, özellikle pamuklu tekstil endüstrisinde kullanılan reaktif boyaların % 10 ile % 50'lik bir oranı atıksulara karışmaktadır. Biyolojik olarak da ayrışması zor olan bu boyar maddeli atıksular, deşarj edildiği ortamda yüksek oranda kirlilik oluşturmaktadır. Bu kirlilik kendini atıksuya verdiği renk ile göstermektedir.

Ülkemizde pek çok işletme son 10 yılda dünya gündeminde olan “sürdürülebilir kalkınma”, “atıkların kaynağında önlenmesi”, “ISO 14001” kavramlarının etkisiyle atık oluşturmamaya, en aza indirmeye, oluşanı da ileri derecede arıtarak tekrar kullanmaya çalışmaktadırlar.

Atıksuların ileri arıtılması amacıyla membran teknolojileri diğer arıtma proseslerine tercih edilmektedir. Bunun en önemli nedenleri, membran proseslerinin diğer ayırma teknikleriyle karşılaştırıldığında düşük enerji ihtiyacı gerektirmeleri, kesikli ve sürekli işletilebilmeleri, yüksek saflıkta ürün elde edilebilmesi, sıcaklık değişimlerinden fazla etkilenmemeleri, modüler olarak tasarımlarının yapılabilmesi ve fazla yer kaplamaması, kimyasal katkı ihtiyacının olmamasıdır (Kaya vd., 2003).

Endüstriyel atık suların iyileştirilmesinde, suyun arıtılmasının yanında atık maddelerin geri dönüşümü yeterince önemslenmeyen bir konu olarak kalmıştır. Ancak kalan maddeler geri dönüşüm hesabı yapılmadan atılmaktadır.

Bu amaçla hedeflenen çalışmada indigo boya kullanan bir denim fabrikasının atık suyu hem Çevre Bakanlığının Çevre Mevzuatı'na göre belirlediği sınırlara gelmesinin yanısıra, hem de atık olarak düşünülen boyanın geri kazanımı için membran yöntemi uygulanabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen konsantre atıksuda indigo boyanın özelliklerini kaybetmediği ve tekrar kullanılabilmesiyle çalışmaları gösterilmiştir.

Membran kullanılarak elde edilen konsantre çözelti ile kumaş boyama işlemi yapılmıştır. İndigo boyanın indirgenerek boyama işlemi yapıldıktan sonra tekrar yükseltgense dahi özelliğini kaybetmediği yapılan deneylerde gösterilmiştir. Ancak indigo boya bir küp boya olduğundan indirgenerek kullanılmaktadır. Bu nedenle Ters Ozmos kullanılarak elde edilen konsantre çözeltide boya tekrar kullanılabilir. Konsantre çözelti ile kumaş boyama işlemi yapılarak, kumaşın başarı ile boyandığı gösterilmiştir.

İndigo boya işletmeleri ters ozmos sistemi ile atıksularını arıtırken elde edilen konsantre haldeki suyu çözelti olarak boyamada kullanılabilmesiyle görülmüştür.

2. TEKSTİL ATIKSULARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

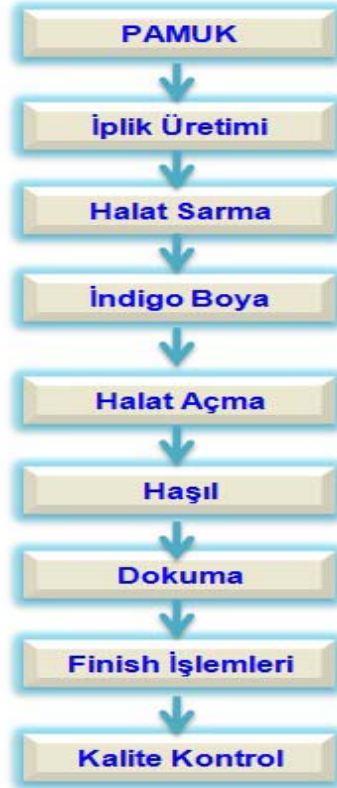
Tekstil endüstrisi; birbiri ile ilişkili birçok hammaddenin kullanıldığı, büyük sayıda üretim yapan farklı endüstrilerin oluşturduğu bir sanayi dalıdır. Tekstil endüstrisi, elyaf hammaddesinden elyaf üretimi, elyaftan iplik elde edilmesi, iplikten kumaş yapılması, kumaşın konfeksiyona hazırlanması (kasar, boya, baskı, apre) aşamasındaki tüm işlemleri kapsamaktadır. (Çevre Orman Bakanlığı, ÇED Rehberi)

Tekstil fabrikaları üretim kolları olarak değişiklik gösterse de genel olarak; iplik, dokuma, boya, baskı, terbiye, konfeksiyon vb. bölümlerden oluşmaktadır.

2.1. Tekstil Endüstrisi Üretim Basamakları

Tekstil endüstrisinin ürünleri çok çeşitlidir. Günümüzde tekstil ürünlerinin kullanımları geniş bir yelpazeye yayılmıştır.

İplikten kumaşa bir entegre tesisin iş akış şeması aşağıdaki gibidir:



Şekil 2.1. Tekstil işletmesi iş akış şeması (Gap Güneydoğu Tekstil San ve Tic A.Ş)

Tekstil endüstrisi; hazır giyim, ev tekstilleri ve teknik tekstiller için çok çeşitli ürünler meydana getirmesine rağmen, genelde dört ana bölümde incelenebilmektedir.

2.1.1. Elyaf Üretimi

Elyaf, bütün tekstil ürünlerinin hammaddesi ve en küçük yapı birimidir. Elyaf, tekstil ürünlerinin ilk basamağını oluşturan, eğilmeye ve bükülmeye uygun olan maddelerdir. Elyafın tekstilde kullanılabilmesi için belli bir uzunluğu, inceliği, mukavemeti, elastikiyeti ve birbirine tutunma kabiliyetini sağlaması gerekmektedir. Elyaf, çeşitli işlem basamaklarından geçirildikten sonra iplik haline getirilmektedir.

Elde edilen iplik başta dokuma ve örme işlem olmak üzere çeşitli yöntemlerle yüzey haline getirilir. Tekstilde kullanılan elyaf; doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır (Demiral, 2008).

- Doğal Elyaf:

- a. Bitkisel Elyaf (pamuk, keten, jüt)
- b. Hayvansal Elyaf (yün, ipek)

- Yapay Elyaf:

- a. Rejenere Elyaf (viskoz, Asetat)
- b. Sentetik Elyaf (poliester, poliamid, akrilik, polipropilen)

2.1.2. İplik Üretimi

İplikler sadece kesikli veya kesiksiz (filament) elyafın kullanılmasıyla ya da bir diğer şekilde her ikisinin birleştirilmesi ile elde edilmektedirler. İplik eğirme; elyaf hammaddesinin bir seri işlem kademesinden geçirilmesi ile elde edilen, gerekli temizliğe, paralelliğe ve inceliğe sahip ön ipliğin herhangi bir eğirme sistemi ile iplik haline getirilmesidir. İplik çeşitleri; düz, pürüklü, mat ve parlak gibi türlerde olabilirlerse de esas sınıflama şu şekildedir.

- a. Elyaf yapısına göre iplik çeşitleri; kesikli, filament
- b. Hammaddesine göre iplik çeşitleri; pamuk, keten, yün, ipek, viskon, rayon, sentetik kesikli, sentetik filament, karışım iplikler.
- c. Yapılarına göre iplik çeşitleri; fantezi, katlı, krep, özel yapıli iplikler.

d. Kullanım yerine göre iplik çeşitleri; dokuma, örme, dikiş, dantel iplikleri vb. olarak ayrılmaktadırlar.

2.1.3. İplik Boyama

İplik üretimi gerçekleştikten sonra ipliğe boyama işlemi uygulanır. Denim de boyanın ana kaynağı indigodur.

Boyama elyaf hammaddesine, iplik ve kumaşa renk verme işlemidir. Kumaş üzerindeki renkli şekiller genellikle baskıdır. Boyama işlemi sonucunda, boya atıklarını içeren renkli atıksular oluşur. Bu atıksularda, çözünmüş madde miktarı ve KOİ yüksektir. Pamuk lifleri; direkt, kükürt, reaktif, mordan, oksidasyon, bazik, pigment boyarmaddeleri ile boyanabilirler.

Aşağıda indigo boya işlemi yapan işletmeye ait resimler görülmektedir:



Şekil 2.2. İndigo boya makinesinde ipliklerin boyama işlemi

2.1.4. Haşılama

Haşılama amaç; liflerin mekanik kuvvetlere karşı direncini arttırabilmek için birbirlerine daha iyi yapıştırmak, daha sağlam hale getirerek dokumada performansı yükseltmektir.

Haşıl maddeleri; makromoleküllü, film oluşturabilen ve liflere belli bir yapışma, tutunma yeteneğinde, doğal veya yapay kökenli maddeler olarak tanımlanabilmektedir.

Haşıl maddesi olarak kullanılan polivinil alkol, deterjan/su çözeltisi ile giderilebilir. Bu işlem sonucunda, askıda katı madde, yağ ve gres içeren atıklar suya karışır. Oluşan bu

atıklar, mamul oluşumu sonucu meydana gelen katı artığın yarısını oluşturur. Atıksulardaki KOİ'nin önemli bir bölümü de polivinil alkolden kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.3. Haşıl makinesinde gerçekleşen haşılama işlemi

2.1.3. Terbiye İşlemleri

Genel anlamda; dokuma veya örmeden gelen kumaşın ya da iplik halindeki tekstil malzemesi işlemlerin tümüne terbiye denir. Terbiye işlemleri; kimya teknolojisi ile yakından ilgilidir. Ancak şardonlama, kalandırlama gibi, mekanik etkilerle çeşitli efektlerin kazandırıldığı birçok terbiye işlemi de mevcuttur. Genel olarak terbiye işlemleri;

- Ön terbiye: Kasar, Ön yıkama, haşıl sökme, ağartma, hidrofilleştirme, bazik işlem, krablama, karbonize, merserize.
- Boyama: Elyaf çekme çözeltisinde boyama, elyaf halinde boyama, tops boyama, iplik halinde boyama, kumaş boyama, hazır giysi boyama.
- Baskı: Direkt baskı, ronjan baskı, rezerve baskı, özel baskı.
- Apre (bitim işlemi): Kimyasal ya da yaş terbiye, mekanik yada kuru terbiye

şeklinde çeşitlilik gösterir. Türkiye tekstil terbiye sektörü pamuklu, yünlü ve sentetik olmakla beraber genelde pamuk ağırlıklıdır.

2.1.5. Finish İşlemleri

Finish işlemleri, tekstil ürünlerinin kullanılma amacına göre istenilen özelliği kazandırmak için yapılan işlemlerdir. Pamuklu liflere uygulanan bitirme işlemleri kimyasal ve mekanik bitirme işlemleri olarak çok çeşitlilik gösterir. Bunlar arasında; tutum apresi (sertlik, uyuşmazlık kazandıran vb.), su itici (hidrofobik) karakter kazandıran bitirme işlemleri, buruşmazlık bitirme işlemleri, çekmezlik bitirme işlemleri ve şardonlama sayılabilir. Su geçirmezlik, alev almazlık, buruşmazlık ve benzeri bitirme işlemlerinden gelen atıklar hacim olarak düşük miktarlardadır. Uygulanan kimyasal maddeler; ıslatma, işleme alma ve kurutma gibi sebeplerle düşük miktarlarda atık oluşturur.



Şekil 2.4. Finish işlemleri

2.2. Tekstil Endüstrisinden Kaynaklanan Atıksuların Özellikleri

Tekstil endüstrisinin geniş bir yelpazede üretim yapması sonucu bu endüstrinin atıksuları da farklı özelliklere sahiplerdir. Tekstil endüstrisi çok su tüketen bir endüstri dalıdır. Tüm bu sebeplere bağlı olarak da kirlilik yükü yüksek, günlük ve mevsimsel olarak çok değişken atıksular oluşmaktadır. Tekstil endüstrisindeki kirleticiler; sıcaklık, organik, inorganik maddeler, ağır metal ve renk faktörlerini içermektedir.

Tekstil endüstrileri; boyama, bitirme, apreleme proseslerini ve birden fazla yıkama ve durulama döngüsünü içerdiklerinden; yüksek su ve kimyasal tüketimine ve yüksek KOİ içeren, renkli atıksulara sahiplerdir (Zylla vd., 2006).

2.2.1. Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Özellikleri

Pamuklu tekstil atıksuları alkali özellikte, işlenen boyanın hakim renginde ve debisi yüksek atıksulardır. Endüstriye ait atıksulardaki en önemli kirlilik problemleri; organik madde içeriğinin ve pH'nın yüksek oluşu, deterjan ve sabun içeriğinin olması, yağ ve gres, sülfür, katı maddeler ve alkalinite içermesi olarak sıralanabilir (Robinson vd., 2001).

Başlıca atıksu kaynakları; proses basamaklarından haşılama ve haşıl sökme, yıkama, merserizasyon, ağartma, boyama ve apre işlemleri sonrasında oluşmaktadır. Atıksulardaki kirliliğin birincil kaynağı liflerde mevcut olan doğal safsızlıklar, ikincisi ise proseslerde kullanılan kimyasal maddelerdir. Başlıca atıksu kaynakları bazında önemli kirlilikler Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Pamuklu tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu karakteristikleri (Selçuk, 1997)

Pamuklu tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu karakteristikleri	Önemli Kirlilikler
Haşıl sökme	Yüksek BOİ, yüksek toplam katı, nötr pH
Yıkama	Yüksek BOİ, yüksek alkali, yüksek toplam katı madde, yüksek sıcaklık
Ağartma	Yüksek BOİ, yüksek katı madde, alkali pH
Merserizasyon	Düşük katı madde, alkali pH, düşük katılar
Boyama ve Baskı	Yüksek BOİ, yüksek katılar, nötr-alkali pH

İndigo boyalar da, pamuklu kumaşları işleyen tekstil endüstrisinin önemli bir kısmını teşkil etmektedir. İndigonun en önemli tekstil uygulaması, kot kumaşların ve diğer mavi pamuklu giysilerin boyanmasıdır. İndigo boyalar suda çözünmediği için karmaşık bir uygulama prosedürüne sahiptir.

Günümüzde bu boyanın kullanımı, boyanın indirgenerek suda çözünebilir (leuco indigo) hale dönüştürülmesi ile yapılmaktadır. Modern tekstil boyama proseslerinde, indigo boyaların indirgenmesi sodyum hiposülfid ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) gibi güçlü indirgenler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu durum, boyama banyoları çıkış suyu ve yıkama sularında ciddi kirlenme problemlerine sebep olmaktadır. Zira, indirgeyici maddeler

sonuçta geri dönüştürülemeyen türlere yükseltgenmekte; sülfid, sülfat, tiosülfat ve toksik sülfid gibi maddeler boyama ünitelerinden gelen atıksuyu kirletmektedir. Ayrıca, yükseltgenme reaksiyonlarına hassas boyama banyolarının kararlı hale getirilmesi için kullanılan indirgeyici maddelerin gereğinden fazla kullanılması sonucunda da atıksularda, aerobik arıtım sürecini olumsuz yönde etkileyecek düzeyde hiposülfid bulunabilmektedir.

Pamuklu tekstil atıksuları, alkali özellikte, işlenen boyanın hakim rengine ve debisi yüksek atıklardır. Pamuklu, yünlü ve sentetik üretim yapılan proseslerde, kimyasal madde ve bitim işlemlerinin farklı oluşu, atıksuların karakterinin de bir tekstil tesisinden diğerine çok değişmesine sebep olmaktadır.

2.2.2. Tekstil Atıksularının Arıtımı

Tekstil atıksuları yüksek hacimli ve bileşimi büyük değişimler gösterebilen atıksular olarak tanımlanmaktadır. Biyolojik olarak parçalanamayan boyar maddeler ve toksik bileşikler içermesi olasılığının yüksek olması, alıcı sular açısından risk oluşturma potansiyelini de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıksuların uygun ve etkili yöntemlerle giderilmesi büyük önem taşımaktadır. Boyar madde içeren tekstil endüstrisi atıksularına uygulanan mevcut renk giderme metotları rengin çamurda yoğunlaştırılması veya renkli moleküllerin kısmen ya da tamamen parçalanmasını içermektedir. Boya giderimi için fiziksel ve kimyasal metotların kullanılması özellikle atıksu hacmi küçük olduğunda etkili olmaktadır. Bu durum membran filtrasyonu veya cucurbituril gibi yöntemler için de geçerlidir.

Kimyasal çöktürme yönteminde kullanılan kimyasalların maliyeti ve oluşan çamur problemi şüphesiz yöntemin en büyük dezavantajlarıdır. Oksidasyon yöntemlerinin uygulanmasını sınırlandıran faktör ise toksik yan ürünlerin oluşma potansiyelidir.

Fiziksel yöntemler içinde yaygın şekilde kullanılan adsorpsiyon yönteminde aktif karbon kullanımı arıtım verimliliği açısından etkili olurken malzemenin pahalı oluşu ve rejenerasyon ihtiyacı dezavantaj oluşturmaktadır. Daha ucuz adsorbentlerin kullanımı rejenerasyon ihtiyacını ortadan kaldırırken bertaraf edilmesi gereken atık problemi doğmaktadır. Diğer bir fiziksel metot olan membran filtrelerde, ayırmadan sonra kalan konsantre atığın bertaraf problemlerine neden olması, sermaye giderlerinin yüksek olması, membranın tıkanma olasılığı gibi dezavantajlar söz konusudur.

İyon değiştiriciler için en büyük dezavantaj ise kuşkusuz yöntemin maliyetidir. Nispeten ucuz sistemler olan konvansiyonel aktif çamur sistemleri yalnız başına etkili bir renk giderimi sağlayamadığı için genellikle kimyasal ya da fiziksel yöntemlerle veya

anaerobik yöntemle birlikte kullanılmaktadır. Bazı özel aerobik türlerin kullanılmasıyla etkin bir renk giderimi sağlanabilmesine rağmen klasik aktif çamur sistemlerinde renk giderimi genel olarak biokütleyle olan adsorpsiyonla sağlanmaktadır.

Sistemde meydana gelen düşük renk giderimi, sistem çıkış suyunun alıcı su kaynakları için gerek estetik gerekse ekolojik açıdan bir risk oluşturmaya neden olmaktadır. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalar boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtımında anaerobik ön arıtımın kullanılabilirliği üzerinde odaklanmaktadır. Anaerobik arıtmayla boyar maddeye rengini veren kromofor grupları parçalanabilmektedir. Kombine bir anaerobik aerobik prosesle hem etkili bir renk giderimi sağlanabilmekte hem de yüksek bir KOİ giderim verimine ulaşabilmektedir. Bu nedenle boyar maddelerin aerobik ve anaerobik giderim mekanizmalarının daha iyi anlaşılmasına ve arıtmadan sorumlu türlerin tespitine yönelik çalışmalar hız kazanmaktadır. Farklı tipteki boyar madde ve yardımcı kimyasallardan oluşan karışımların, farklı karbon kaynaklarının ve farklı reaktör konfigürasyonlarının denendiği laboratuvar çalışmalarıyla prosesin verimliliği araştırılmalıdır.

Tekstil endüstrileri, yaş dokuma prosesleri için çok büyük miktarlarda su ve kimyasal tüketmektedirler. Gerek boyamada gerekse diğer işlemlerde kullanılan bu organik ve inorganik formdaki bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, ortaya çıkan atıksuların özellikleri de farklı olmaktadır. Özellikle son terbiye ve boyama-yıkama işlemleri sırasında kullanılan su miktarları ve ilave edilen katkı maddeleri ile oluşan atıksuların arıtılmasında problemler ortaya çıkmaktadır. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında KOİ ve renk giderimi başlıca amaç olmakta ve bu amaçla kimyasal ve biyolojik arıtma kombinasyonları kullanılmaktadır. Atıksulardan KOİ giderimi amacıyla biyolojik aktif çamur sistemleri kullanılırken, renk giderimi için adsorpsiyon, filtrasyon ve kimyasal prosesler tercih edilmektedir.

Alıcı sulara verilen renkli atıksular su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltır ve fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler. Ayrıca boyar maddelerin bazı sucul organizmalarda birikmesi toksik ve kanserojenik ürünlerin meydana gelme riskini de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda boyar madde içeren tekstil endüstrisi atıksularının renk giderim prosesleri ekolojik açıdan önem kazanmaktadır. Ancak kompleks kimyasal yapılarına ve sentetik kökenlerine bağlı olarak, boyar maddelerin giderilmesi oldukça zor bir işlemdir. Boyalı atıksuların karakterizasyonu, boyaların kimyasal yapısındaki farklılıklardan ve boyama prosesinin değişim göstermesinden dolayı oldukça zordur.

Fiziksel ve kimyasal proseslerde yüksek kimyasal dozu ve çamur üretiminde artış; adsorpsiyonda sınırlı kapasite ve kimyasal oksidasyonda ise toksik ara ürünlerin meydana çıkması gibi sorunlar bu yöntemlerin başlıca dezavantajlarıdır. Günümüzde mevcut yöntemlerin etkin bir arıtma sağlayamaması ve deşarj standartlarının yönetmeliklere uygun hale getirilmesi nedeniyle ozonlama, fotokataliz ve membran prosesleri gibi ileri arıtma yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bazı durumlarda ise birden fazla yöntemin birlikte kullanılması gerekmektedir. Tek başına veya birlikte kullanılan konvansiyonel yöntemler temel olarak deşarj standartlarını sağlamaya yönelik olarak uygulanmaktadır. Membran prosesleri ise, buna ek olarak, atıksuda bulunan değerli maddelerin ve suyun geri kazanımı söz konusu olduğunda üstün ayırma performansları ile oldukça gelecek vaat etmektedir. Barredo ve arkadaşlarının (2006) yürüttüğü bir çalışmada, membran prosesler ile süzüntü suyunun % 97-99 oranında geri kazanıldığı ve boyaların % 99-100 oranında tutulduğu gözlenmiştir.

2.3. Tekstil Atıksularının Arıtılmasında Kullanılan Kimyasal Yöntemler

Tekstil atıksularının kimyasal yöntemlerle arıtılması uzun yıllardan beri en çok rağbet gören yöntem olmuştur. Bunun en büyük nedeni şüphesiz atıksu kalitesinde meydana gelen değişikliklerin kullanılan kimyasalda veya uygulanan dozda yapılan değişikliklerle kolayca tolere edilebilir olmasıdır (Socha, 1991). Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında en yaygın olarak kullanılan kimyasal yöntemler oksidasyon yöntemleri, kimyasal çöktürme ve flokülasyon yöntemi ve Cucurbituril ile arıtmadır.

2.3.1. Oksidasyon

Oksidasyon kimyasal yöntemler içinde en yaygın olarak kullanılan renk giderme yöntemidir. Bunun en büyük nedeni uygulanmasının basit oluşudur. Kimyasal oksidasyon sonucu boya molekülündeki aromatik halka kırılarak atıksudaki boyar madde giderilir.

2.3.2. H₂O₂-Fe(II) Tuzları (Fenton Ayırıcı)

Fenton ayırıcı Fe(II) tuzlarıyla aktive edilmiş hidrojen peroksit) biyolojik arıtmayı inhibe edici ya da toksik atıksuların oksidasyonu için çok uygundur. Fenton ayırıcı ile yapılan arıtım ön oksidasyon ve koagülasyon olmak üzere iki adımda gerçekleşir. Yapılan bir çalışmada fenton ayırıcıyla yapılan ön oksidasyon prosesinde renk giderim hızının KOİ giderim hızına göre daha yüksek olduğu ve renk ile KOİ gideriminin büyük bir kısmının ön oksidasyon basamağında gerçekleştiği belirlenmiştir (Kang ve Chang, 1997).

Atıksuların fenton ayırıcı ile arıtılmasında renk yok edildiği gibi adsorbe olabilir organohalidler de giderilebilmektedir. Ayrıca, metal-kompleks türündeki boyalardan kaynaklanan ağır metaller, demir oksitlerle birlikte nötralizasyon basamağında çöktürülebilmektedir.

Fenton ayırıcı ile arıtma bu açıdan H_2O_2 kullanılan yöntemlere göre daha avantajlı konumdadır (Sewekow, 1993). KOİ, renk ve toksisite giderimi gibi avantajları yanında prosesin bazı dezavantajları da mevcuttur: Proses flokleşme işlemini de içerdiği için atıksudaki kirleticiler çamura transfer olurlar ve çamur problemi ortaya çıkar (Robinson vd., 2001).

2.3.3. Ozon

Ozon uygulamaları 70'li yılların başında başlamıştır. Ozonlama ile dikkate değer boyutlarda renk giderimi sağlanabilmektedir. Ozonlama sonucu elde edilen renk giderimi boyanın cinsine göre farklılık göstermektedir. Strickland ve Perkins (1995) tarafından yapılan çalışmada 30 dakikalık bir zaman süresince ozonlanan azoik, dispers/sülfür ve reaktif boya içeren atıksularda başarılı bir renk giderimi sağlanırken, Vat boyar maddesi içeren atıksu için aynı başarıyı gösterememiş ve renk giderimi % 50 ile sınırlı kalmıştır. Boya banyosu çıkış sularının ozonlandıktan sonra tekrar kullanılabilmesi tesis için kimyasal madde ve su tasarrufu sağlamakta, atıksu arıtma tesisinin yükü azalmaktadır (Perkins vd., 1995). Yüksek kararsızlığına bağlı olarak oldukça iyi bir yükseltgen olan ozon aynı zamanda tekstil yaş proseslerinden kaynaklanan atıksularda bulunan yüzey aktif maddeler ve taşıyıcılar gibi diğer kirleticilerin giderilmesine de yardımcı olmaktadır.

Ozonla oksidasyon, klorlu hidrokarbonların, fenollerin, pestisitlerin ve aromatik hidrokarbonların parçalanmasında da oldukça etkilidir. Boya içeren atıksulara uygulanan dozaj, toplam renge bağlıdır ve giderilecek KOİ bir kalıntı ya da çamur oluşumuna veya toksik ara ürünlerin oluşumuna neden olmaz. Boya içeren atıksuların ozonlanmasında hız sınırlayıcı basamak ozonun gaz fazından atıksuya olan kütle transferidir. Azo boyar madde içeren atıksuların ozonlama yöntemiyle arıtıldığı bir çalışmada ozon transfer hızının, başlangıç boya konsantrasyonuna, uygulanan ozon dozlaması ve sıcaklığa bağlı olarak arttığı belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda ozonlamanın kimyasal oksijen ihtiyacını % 27 ile % 87 oranında düşürebildiği ve atıksuyun biyolojik parçalanabilirliğini 11 ila 66 kez arttırabildiği vurgulanmıştır (Wu ve Wang, 2001).

Diğer önemli bir avantaj ise ozonun gaz durumunda uygulanabilir olması ve dolayısıyla diğer bazı yöntemlerin aksine atık çamur oluşmamasıdır. Boyalardaki kromofor

grupları genellikle konjuge çift bağı organik bileşiklerdir. Bu bağlar kırılarak daha küçük moleküller oluşturabilir ve renkte azalmaya neden olabilirler. Bu küçük moleküller atıksuyun kanserojenik ya da toksik özelliklerini arttırabilmektedir. Bu durumun önlenmesinde ozonlama ilave bir arıtım metodu olarak da uygulanabilmektedir. Yarı ömrünün kısa oluşu (tipik olarak 20 dakika) ozonlamanın en büyük dezavantajıdır. Alkali şartlarda ozonun bozunması hız kazandığı için atıksuyun pH'ı dikkatle izlenmelidir. Ozonlama yönteminin diğer bir dezavantajı kısa yarı ömrüne bağlı olarak ozonlamanın sürekli olması gerekliliği ve yüksek maliyettir (Robinson vd., 2001).

2.3.4. Fotokimyasal Yöntem

Bu yöntem boya moleküllerini, hidrojen peroksit varlığında UV radyasyonu ile CO₂ ve H₂O'ya dönüştürür. Parçalanma yüksek konsantrasyonlardaki hidroksil radikallerinin oluşmasıyla meydana gelir. Yani, UV ışığı hidrojen peroksiti aktive ederek iki hidroksil radikale parçalanmasını sağlar.

Böylece organik maddenin kimyasal oksidasyonu gerçekleşir. Fotokimyasal yöntemlerde UV radyasyonu genellikle civa ark lambalarıyla sağlanmaktadır. (Unkroth vd., 1997) tarafından yapılan bir çalışmada civa lambalarının kullanılmasına alternatif olarak lazer destekli fotokimyasal arıtım önerilmiştir. Ancak yapılan çalışma sonucunda yöntemin enerji verimliliği açısından iyi sonuçlar vermediği görülmüş, yeni ve daha etkili bir radyasyon kaynağının geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Boyar maddenin giderim hızı, UV radyasyonunun şiddetine, pH'a, boyar maddenin yapısına ve boya banyosunun kompozisyonuna bağlıdır (Robinson vd., 2001). Genellikle, pH 7 olduğunda, UV radyasyon şiddeti yüksek olduğunda, farklı boya sınıfları için farklı değerler alan optimum miktarda hidrojen peroksit uygulandığında ve boya banyosu yükseltgenme potansiyeli peroksitten büyük olan oksitleyici maddeler içermediğinde etkili bir renk giderimi söz konusudur (Slokar ve Marechal, 1998). Boya içeren atıksuların fotokimyasal yöntemlerle arıtılmasının en önemli avantajı atık çamur oluşmaması ve kötü kokulara neden olan organiklerin önemli derecede azaltılmasıdır.

2.3.5. Sodyum Hipoklorit (NaOCl)

Renkli atıksuların kimyasal oksidasyonu klorlu bileşiklerle de mümkündür. Bu metodda, Cl⁺ ile boya molekülünün amino grubuna etki eder ve azo bağının kırılmasını sağlar. Klor konsantrasyonundaki artışla birlikte renk giderimi de artar. Sodyum hipoklorit ile renk giderimi asit ve direkt boyalar için tatmin edici sonuçlar vermektedir. Reaktif

boyaların arıtımı için ise daha uzun zamana ihtiyaç vardır. Metalkompleks boya çözeltileri arıtmadan sonra kısmen renkli kalırken dispers boya çözeltilerinde NaOCl ile renk giderimi gerçekleşmez (Slokar ve Marechal, 1998).

Son yıllarda alıcı ortamlardaki olumsuz etkilerinden dolayı boyar madde giderimi için klor kullanımı azalmıştır.

2.3.6. Elektrokimyasal Yöntem

Bu yöntem 1990'ların ortalarında geliştirilen yeni bir yöntemdir. Elektrokimyasal bir reaksiyonda yük, elektrot ile iletken sıvı içindeki reaktif türler arasındaki ara yüzeyde transfer olur. Elektrokimyasal bir reaktör bir anot, bir katot, bir iletken elektrolit ve güç kaynağından oluşmaktadır. Katotta yük reaksiyona giren türlere geçerek oksidasyon durumunda azalmaya neden olur. Anotta ise yük reaktif türlerden elektroda geçerek oksidasyon durumunu artırır.

Oksidasyon durumundaki değişimler türlerin kimyasal özelliklerinin ve formlarının değişmesine yol açar. Boya gideriminde etkili bir şekilde kullanılabilirliği açısından yöntem bazı önemli avantajlara sahiptir. Kimyasal madde tüketimi çok azdır veya yoktur ve çamur oluşumu söz konusu değildir. Oldukça etkili ve ekonomik bir boya giderimi sağlar, renk gideriminde ve dirençli kirleticilerin parçalanmasında yüksek verim gösterir.

Organik bileşiklerin elektrokimyasal yöntemlerle arıtımında söz konusu bileşikler anot üzerinde su ve karbondioksit okside olmaktadır. Önceleri anot olarak grafit sıklıkla kullanılmakta idi ancak son yıllarda yapılan çalışmalar elektro-oksidasyon için ince tabaka halinde soy metallerle (Platin, rutenyum vs.) kaplanmış titanyum elektrotlarının kullanımı üzerinde yoğunlaşmıştır. Tekstil boyarmaddesi içeren atıksularının elektrokimyasal olarak arıtıldığı bir çalışmada titanyum/platin anodu kullanılmış ve 18 dakikalık bir aktif arıtım süresinden sonra KOİ, BOİ ve renkteki azalmanın % 80'leri aştığı belirlenmiştir (Vlyssides vd., 2000). Pelegrini vd., (1999) tarafından yapılan diğer bir çalışmada fotokimyasal yöntemin ardından uygulanan elektrokimyasal yöntemin verimi belirgin olarak arttırdığı belirlenmiştir. Bu kombine prosesin kullanılmasıyla 120 dakikalık bir reaksiyon süresinde C.I. Reaktif Blue 19 boyar maddesinin rengi tamamen giderilmiş ve % 50 oranında mineralizasyon sağlanmıştır. Yöntemin en büyük dezavantajı tehlikeli bileşiklerin oluşma olasılığıdır. Naumczyk vd., (1996) tarafından yapılan çalışmada tekstil atıksularının elektrokimyasal arıtımı sürecinde oluşan kloroorganik bileşik miktarlarının oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yüksek akım hızlarının renk gideriminde doğrudan bir azalmaya

neden olması diğerk bir dezavantajdır. Kullanılan elektrik maliyeti diğerk yöntemlerdeki kimyasal madde giderleriyle kıyaslanabilir niteliktedir.

2.3.7. Kimyasal Floklaştırma ve Çöktürme Yöntemi

Bu yöntemde floklaşma ve çökelme kimyasal maddeler yardımıyla sağlanır. Atıksuya katılan kimyasal maddeler yardımıyla meydana gelen floklaşma ile çözünmüş maddeler ve kolloidler giderilirler. En çok kullanılan kimyasallar arasında, $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $FeSO_4$ ve kireç sayılabilir. Tünay vd. (1996) tarafından yapılan çalışmada asit boya içeren bir atıksuda kimyasal çöktürme, kimyasal oksidasyon ve adsorpsiyon yöntemleri denenmiş ve yöntemler renk giderim verimlilikleri açısından incelenmiştir. Kimyasal çöktürme deneylerinde makul kimyasal dozlarıyla orta dereceden yüksek dereceye kadar renk giderimi sağlandığı ve kullanılan kimyasallar içinde alumun nispeten daha etkili olduğu görölmüştür. Kimyasal çöktürme yönteminde inşaat masraflarından ziyade işletme masrafları önem taşımaktadır. Özellikle floklaşma maddeleri ve meydana gelen çamurun bertaraf edilmesi, giderlerin önemli bir kısmını teşkil etmektedir.

2.3.8. Cucurbituril ile Arıtım

Cucurbituril glikoluril ve formaldehitten oluşan bir polimerdir. Şeklinin, Cucurbitaceae bitki sınıfının bir üyesi olan balkabağına benzemesinden dolayı bu şekilde isimlendirilmiştir. İsimdeki uril, bu bileşiğin üre monomerini de içerdiğini ifade etmektedir. Yapılan çalışmalar bileşiğin çeşitli tipteki tekstil boyları için oldukça iyi bir sorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Cucurbiturilin aromatik bileşiklerle kompleks oluşturduğu bilinmektedir ve reaktif boyların adsorbsiyonu için bu mekanizmanın geçerli olabileceği düşünülmektedir. Diğerk bir yaklaşım ise giderim mekanizmasının hidrofobik etkileşimlere veya çözünemez cucurbituril-boya-kasyon agregatlarının oluşumuna dayandığı doğrultusundadır (Robinson vd., 2001). Endüstriyel açıdan uygulanabilir bir proses için sabit yataklı sorpsiyon filtrelerine ihtiyaç vardır. Böylece adsorbanın fiziksel kuvvetlerle yıkanması ve cucurbiturilin kasyonların varlığıyla bozunması engellenebilir. Son yıllarda yapılan çalışmalar kimyasal mekanizmaların anlaşılması üzerinde yoğunlaşmakta ve proses üzerine pH' ın, sıcaklığın ve hidrolizin etkileri araştırılmaktadır (Karcher vd., 1999). Çoğu kimyasal yöntem gibi bu yöntemde de en büyük dezavantajı ise maliyettir.

2.4. Fiziksel Yöntemler

2.4.1. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon teknikleri konvansiyonel metotlar için fazla kararlı olan kirleticilerin giderimindeki verimlilikten dolayı son yıllarda ilgi görmektedir. Adsorpsiyon ekonomik açıdan makul bir yöntemdir ve yüksek kalitede ürün oluşumu sağlar. Adsorpsiyon prosesi, boya/sorbent etkileşimi, adsorbanın yüzey alanı, tanecik büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresi gibi pek çok fiziko-kimyasal faktörün etkisi altındadır. Adsorpsiyonla renk gideriminde en çok kullanılan yöntem aktif karbon yöntemidir. Aktif karbonla renk giderimi özellikle katyonik, mordant ve asit boyalar için etkiliyken, dispers, direkt, vat, pigment ve reaktif boyalar için daha az bir renk giderimi söz konusudur. Metodun performansı kullanılan karbonun tipine ve atıksuyun karakteristiğine bağlıdır. Rejenerasyon ve tekrar kullanım performansta azalmaya neden olurken bu dezavantaj aşırı miktarda aktif karbon kullanılmasıyla giderilebilir. Ancak aktif karbon pahalı bir malzemedir.

Adsorban olarak kullanılabilen diğer bir malzeme bataklık kömürüdür. Bataklık kömürü, boya içeren atıksulardaki polar organik bileşikler ve geçiş metallerini adsorplayabilmektedir. Adsorban olarak bataklık kömürünün kullanımı özellikle bol bulunduğu İrlanda ve İngiltere gibi ülkelerde söz konusudur. Bataklık kömürü aktif karbona göre daha ucuzdur ancak aktif karbonun toz haldeki yapısından kaynaklanan geniş yüzey alanı daha yüksek bir adsorpsiyon kapasitesini ifade etmektedir. Ağaç kırıntıları, uçucu kül+kömür karışımı, silika jeller, doğal killer, mısır koçanı gibi malzemeler de, boya gideriminde Adsorban olarak kullanılabilmektedir. Bunların ucuz ve elde edilebilir oluşu boyar madde giderimindeki kullanımını ekonomik açıdan cazip kılmaktadır (Robinson vd., 2001).

2.4.2. Membran Filtrasyonu

Bu yöntemle boyanın sürekli olarak arıtılması, konsantre edilmesi ve en önemlisi atıksudan ayrılması mümkün olmaktadır. Diğer yöntemlere göre en önemli üstünlüğü sistemin sıcaklığa, beklenmedik bir kimyasal çevreye ve mikrobiyal aktiviteye karşı dirençli olmasıdır. Ters ozmos membranları çoğu iyonik türler için %90'nın üzerinde verim gösterir ve yüksek kalitede bir permeat elde edilmesini sağlar. Boya banyoları çıkış sularındaki boyalar ve yardımcı kimyasallar tek bir basamakta giderilmiş olur.

Fakat yüksek ozmotik basınç farklılığı ters ozmos uygulamalarını sınırlandırmaktadır. Nanofiltrasyon membranları negatif yüzeysel yüklerinden dolayı iyon seçicidirler. Yani, çok valanslı anyonlar tek valanslı anyonlara göre daha sıkı tutulurlar. Membranların bu karakteristiğine bağlı olarak boyalı atıksularda bulunan bir kısım yardımcı kimyasal membrandan geçebilmektedir (Machenbach, I., 1998).

Yapılan çalışmalar, membran filtrasyonu ile çıkış suyunda düşük konsantrasyonda boyar madde içeren tekstil endüstrilerinde suyun tesise geri kazandırılmasının mümkün olduğunu göstermektedir (Rozzi vd., 1999). Ancak yöntem, suyun yeniden kullanımı açısından önemli bir parametre olan çözünmüş katı madde içeriğini düşürmez. Membran teknolojileri, ayırmadan sonra kalan konsantre atığın bertaraf problemlerine neden olması, sermaye giderlerinin yüksek olması, membranın tıkanma olasılığı ve yenilenme gerekliliği gibi dezavantajlara da sahiptir.

2.4.3. İyon Değişimi

Boya içeren atıksuların arıtılmasında iyon değiştiricilerin kullanılması henüz yeterince yaygın değildir. Bunun ana nedeni, iyon değiştiricilerle arıtılarak olumlu sonuç alınan boya sınıfının kısıtlı olduğu düşüncesidir. İyon değişiminde, atıksu, mevcut değişim bölgeleri doygunluğa erişene kadar iyon değiştirici reçineler üzerinden geçer. Bu şekilde, boyar madde içeren atıksulardaki hem katyonik hem de anyonik boyalar uzaklaştırılabilmektedir. İyon değişiminin avantajları, rejenerasyonla Adsorban kaybının bulunmaması, çözücünün kullanıldıktan sonra iyileştirilebilmesi ve çözünebilir boyaların etkin şekilde giderilebilmesidir.

En büyük dezavantaj ise kuşkusuz yöntemin maliyetidir. Organik çözücüler oldukça pahalıdır. Ayrıca iyon değişimi metodu dispers boyalar için pek etkili değildir (Robinson vd., 2001).

2.5. Biyolojik Yöntemler

Biyolojik arıtım, endüstriyel proseslerden alıcı sistemlere transfer olan organikler için en önemli giderim prosesidir. Tekstil endüstrisi atıksuları için önerilen fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yüksek maliyet gerektirmeleri ve her boya için kullanılamıyor olmaları, uygulanmalarının sınırlı olmasına neden olmuştur. Son zamanlarda yapılan çalışmalar birçok boya türünü atıksudan giderebilme yeteneğine sahip yaygın mikroorganizma türlerinin mevcudiyetini vurgulamış ve biyoteknolojik metodları ön plana

çıkarmıştır. Yani, teorik olarak biyolojik arıtma sistemleri kimyasal ve fiziksel arıtma yöntemlerine göre daha az çamur üretmesi, maliyetinin daha düşük olması veya alıcı ortamlar için zararlı yan ürünlerin oluşmaması gibi özelliklerinden dolayı tekstil endüstrisi atıksularının arıtımı için ideal çözüm olarak kabul edilmektedir.

2.5.1. Aerobik Yöntem

Tekstil endüstrisi atıksuları, pH değişimlerine duyarlılığı yüksek olan konvansiyonel biyolojik arıtma tesislerinde önemli zorluklara sebep olmaktadır. Endüstriyel atıksuların arıtılmasında yaygın olarak kullanılan konvansiyonel aktif çamur sistemleri için tekstil endüstrisindeki birçok boya bileşiği ya biyolojik olarak çok zor indirgenebilmekte ya da inert kalmaktadır. Suda iyi çözünen bazik, direkt ve bazı azo boya atıklarının olması durumunda mikroorganizmalar bu tür bileşikleri biyolojik olarak indirgeyememekle birlikte boyanın bir kısmını adsorbe ederek atıksuyun rengini almakta ve renk giderimi sağlanabilmektedir. Azo boyar maddeler gibi sentetik boyaların aerobik şartlar altında mikrobiyal parçalanmaya karşı dirençli olmasının nedeni boya malzemelerinin, kimyasal ve ışık kaynaklı oksidatif etkiler sonucu renklerinin solmamasını sağlayacak şekilde sentezlenmeleridir.

Boyar maddelerin aerobik biyodegradasyonunu zorlaştıran diğer bir faktör ise moleküler ağırlıklarının yüksek olması nedeniyle biyolojik hücre zarından geçişlerinin zor olmasıdır (Willmott vd., 1998). Azo, diazo ve reaktif boyar madde içeren bir tekstil atıksuyu renginin mikrobiyal proseslerle giderilmesinin araştırıldığı bir çalışmada aerobik kolonlardan izole edilmiş saf bakteri kültürlerinin renk giderimini gerçekleştiremediği belirlenmiştir. (Nigam vd., 1996) Oneill ve diğerlerinin yapmış oldukları çalışmalarla, atıksudaki azo boyar maddeler gibi reaktif boyaların ortalama %10'unun aerobik biyokütleyle adsorbe olduğunu, geri kalanının ise aktif çamur tesisinden herhangi bir değişime uğramadan geçtiğini belirtmişler ve azo boyar madde içeren tekstil atıksularının renginin giderilmesinde aerobik arıtmanın yetersizliğini vurgulamışlardır.

Ancak bazı boyar maddelerin aerobik olarak parçalanabileceği doğrultusunda çalışmalar da mevcuttur. Odunsu bitkilerde bulunan, yapısal polimer lignini parçalayabilen ve ksenobiyotik maddelerin parçalanması amaçlı çalışmalarda en yaygın olarak kullanılan beyaz çürükçül küf *Phanerochaete chrysosporium*'un, lignin peroksidaz, manganaze bağlı peroksidaz gibi enzimleri kullanarak boyar maddeleri parçalayabildiği bilinmektedir. (Palma vd., 1999). Bunun dışında beyaz küflerin, ligninolitik enzimlerin düşük pH değerlerinde (pH = 4,5–5) aktif olması ve atıksularda bulunma ihtimali düşük olan tiamin

ile veratril alkol maddelerine ihtiyaç duyulması gibi dezavantajları vardır (Kapdan ve Kargı, 2000).

2.5.2. Anaerobik ve Aerobik Yöntemler

Anaerobik arıtımın ilk basamağında asidojenik bakteriler karbonhidratlar, yağlar veya proteinler gibi organikleri düşük moleküler ağırlıklı ara ürünlere dönüştürürler. Bu fermentasyon ürünleri daha sonra asetojenik bakteri tarafından kullanılır ve asetat, karbon dioksit ve moleküler hidrojen açığa çıkar. Son olarak metanojenik bakteriler asetat ve karbondioksiti metana indirgerler. Metan ve karbondioksit içeren biyogaz, anaerobik parçalanma testlerinde parçalanmanın seviyesini belirleme amacıyla kullanılabilir. Boyar maddelerle yapılan anaerobik parçalanma çalışmaları, özellikle aerobik ortamda parçalanamayan suda çözünabilir reaktif azo boyar maddeler üzerinde yoğunlaşmıştır.

Çift bağlı azot halkasına bağlı bu boyaların aerobik proseslerle arıtılabilirliğinin mümkün olmaması anaerobik arıtmanın ön arıtma olarak kullanılmasını gerektirmektedir. Anaerobik olarak renk gideriminin gerçekleşebilmesi için ilave karbon kaynağına ihtiyaç vardır. İlave karbon metan ve karbondioksit dönüştürülmekte ve elektronlar açığa çıkmaktadır. Bu elektronlar elektron taşıma zincirinden son elektron alıcısına yani azo-reaktif boyaya taşınmakta ve boyayla reaksiyona girerek azo bağını indirgemektedir. Böylece anaerobik parçalanma sonucunda azo boyar maddelerdeki renkten sorumlu azo bağı kırılmakta ve renk giderimi sağlanmaktadır. Bu olay oksijen tarafından inhibe edilmektedir. Bu nedenle boya atıklarını renksizleştirmek için ilk adım azo köprüsünün indirgenerek parçalandığı anaerobik koşullar altında arıtım olmalıdır (Robinson vd., 2001).

Yapılan bir çalışmada ilave karbon kaynağı olarak kullanılan optimum miktardaki tapioca nişastasının prosesin renk giderme kapasitesini arttırdığı vurgulanmıştır (Chinwetkitvanich vd., 2000). Sponza vd., (2000) tarafından yapılan bir çalışmada Reaktif Black 5 ve Synozol Red boyalarının anaerobik arıtma ile renksizleşebildikleri, kullanılan mikroorganizma kültürüne ve boya derişimine bağlı olarak %23 ile %78 arasında değişen KOİ giderme verimlerinin elde edilebileceği belirlenmiştir. Rengin tamamının giderilmesi azo boyar maddelerin renk veren N=N yapısının anaerobik kültür tarafından parçalanması ile mümkün olmuştur. KOİ'nin tamamen giderilememesi, meydana gelen ara ürünlerin anaerobik kültür tarafından parçalanamamasındandır.

Boyar maddeler normalde sitotoksik, mutajenik veya kanserojenik değilken, anaerobik parçalanma sonucu oluşan aminler bu özellikleri gösterebilmektedir. Bu nedenle anaerobik sistemler aerobik arıtmadan önce yer alan bir ön arıtım yöntemi olarak

önerilmektedirler. Çünkü aromatik aminler, aromatik bileşiğin halkasının açılması ve hidroksilasyonla aerobik ortamda mineralize olabilmektedirler. Böylece boyar madde içeren atıksuların kombine anaerobik-aerobik proseslerle arıtılması sonucu ilk basamakta etkili bir renk giderimi sağlanmakta ve anaerobik ortamda dirençli olan aromatik aminler aerobik basamakta giderilebilmektedir (Oneill vd., 2000).

Endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan anaerobik (havasız) arıtma sistemlerinde yüksek miktarda biokütlenin tutulması iyi bir arıtma verimi sağladığı gibi aynı zamanda üretilen gaz miktarında artmaya ve daha iyi kalitede çıkış suyu elde edilmesine imkân sağlamaktadır. Bu sistemlerin işletilmesinde karşılaşılan en önemli problemlerden birisi sistemden biokütlenin ayrılması veya çökertilmesidir. Bu probleme çözüm getirmek amacıyla bu sistemlerde çökeltme tankı yerine, karşı akım ultrafiltrasyon ünitesi kullanılarak membran anaerobik reaktör sistemi geliştirilmiştir (Robinson vd., 2001).

Su kirlenmesini önlemek için evlerden ve endüstrilerden gelen atıksuların alıcı ortamlara verilmeden önce arıtılmaları gerekmektedir. Atıksulardaki kirleticiler genellikle çözünmüş ve askıdaki organik maddelerdir. Anaerobik arıtma gibi biyolojik prosesler genellikle bu tip atıkların stabilizasyonunda kullanılır. Anaerobik arıtma, organik maddenin, oksijenin olmadığı bir ortamda CO_2 ve CH_4 'a (metan) dönüştürüldüğü bir bakteriyel fermantasyon işlemidir. Metan miktarı hem ticari bir değere sahip olmasından hem de organik madde giderilmesini göstermesi açısından son derece önemli bir parametredir. Organik maddenin % 95'inin CH_4+CO_2 'e, % 5'inin biokütleyle dönüştürülmesi sistemde daha az çamur oluşumuna neden olmaktadır.

Aerobik proseslerde önemli işletme problemlerinden biri olan fazla çamura bu şekilde çözüm getirilmektedir. İngiltere'de yapılan araştırmalarda evlerden ve endüstrilerden gelen atıksuların % 60'ının anaerobik prosesler ile arıtıldığı ve bu yüzdenin hızlı bir artış eğiliminde olduğu görülmüştür. Oysa dünya geneline baktığımızda bu sistemler henüz yaygın olarak kullanılma alanı bulamamıştır. Buna neden olarak aerobik proseslerin teknolojilerinin çok iyi bilinmesi ve anaerobik proseslerin çok karmaşık bir biyolojik yapıya sahip olmaları gösterilmiştir. 1970'li yıllarda başlayan enerji krizleriyle birlikte daha az enerji kullanan sistemler üzerinde yoğun araştırmalar başlatılmış ve hem bu probleme çözüm getirmek amacıyla hem de aerobik prosesler de karşılaşılan işletme problemlerine sahip olmamasından dolayı anaerobik proseslere ilgi yeniden artmıştır. Çünkü çözünebilir organik maddeler aerobik prosesler de katı organik maddelere (biyokütle) dönüştürülmekte ve bunların uzaklaştırılması da ayrıca sorun olmaktadır. Bir başka deyişle problem bir formdan bir başka forma dönüştürülmektedir.

Ayrıca oksijen transfer hızının düşük olmasından dolayı aerobik proseslerde uygulanan yüklemelerde kısıtlamalar meydana gelmektedir. Özetle, anaerobik proseslerin havalandırmaya ihtiyaç duymamaları az çamur üretimi, az nütrient (besin maddesi) gerektirmesi ve metan gazının ticari bir değere sahip olmasından dolayı son yıllarda yoğun çalışmalar başlatılmış ve kullanım alanları hızla artmıştır. Bilindiği üzere, anaerobik atıksu arıtma sistemlerinde uygulanabilecek organik yüklemeler ortamdaki biokütle miktarının bir fonksiyonudur. Fakat, yeterli miktarda biokütlenin sistemde tutulmasında problemlerle karşılaşıldığı görülmüştür. Sistemde biokütle kaybının olması sistemin verimini etkileyebileceği gibi aynı zamanda yüksek miktarda katı madde muhtevassından dolayı çıkış suyu kalitesinin bozulmasına neden olacaktır (katı madde konsantrasyonu (MLSS), 10000 mg/L. Sonuç olarak hem biokütle kaybını önlemek hem de daha iyi kalitede çıkış suyu elde etmek amacıyla crossflow (dik akışlı) ultrafiltrasyon tekniği kullanılarak yeni bir membran anaerobik reaktör sistemi geliştirilmiştir.

3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN MEMBRAN ÇEŞİTLERİ

Tekstil endüstrisinde en çok kullanılan membran sistemler UF ve NF membranlardır. TO ya göre daha düşük basınçta çalışan bu sistemler, tekstil endüstrisi için yeterli arıtımı sağlamaktadırlar. Membranlarda por çapı küçüldükçe, arıtım için verilmesi gereken işletme basıncı dolayısıyla da ilk yatırım ve işletme maliyetleri de artmaktadır.

Tekstil endüstrisinde kullanılan membranlar naturel ve sentetik bazlı olmak üzere farklı materyallerden üretilmektedir. İnorganik (seramik) ya da organik (polimerik) olarak üretilen membranlardan polimerik (selüloz, asetat, polisülfan, poliamid, polivinilden florit) olanlar karakteristiği göz önüne alındığında tekstil atıksuları için daha elverişli olduğu görülmektedir. Bu alanda son teknoloji ürünü olarak anisotrop (asimetrik) membranlar göze çarpmaktadır. Asimetrik membranların üstünde bulunan ince film tabakası; askıda maddelerin membran gövdesine yapışmasını engelleyerek simetrik membranlara göre daha uzun dayanmasını ve akının düşmemesini sağlamaktadır.

Tekstil endüstrisinde en çok kullanılan membran sistemler UF ve NF membranlarıdır. TO'a göre daha düşük basınçta çalışan bu sistemler, tekstil endüstrisi için yeterli arıtımı sağlamaktadırlar. MF ise direkt olarak kullanılmamakta, daha çok UF, NF ve TO öncesi ön arıtma olarak kullanılmaktadır. Membranlarda porçapı küçüldükçe, arıtım için verilmesi gereken işletme basıncı dolayısıyla da ilk yatırım ve işletme maliyetleri de artmaktadır. Bu nedenle, ihtiyaca uygun membranın seçilmesi önem taşımaktadır.

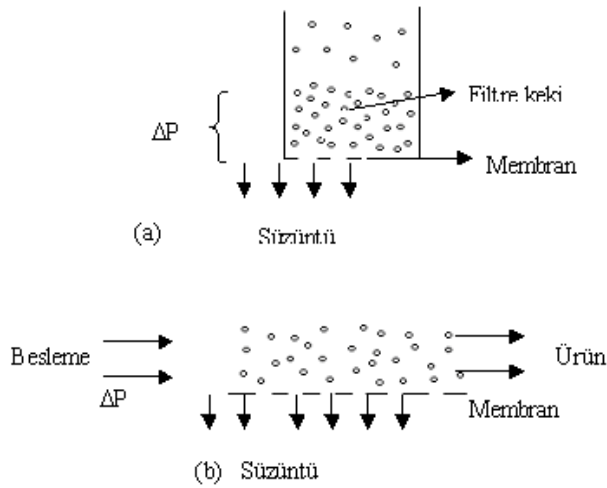
Tekstil endüstrisinde kullanılan membranlar naturel ve sentetik bazlı olmak üzere farklı materyallerden üretilmektedir. İnorganik (seramik) ya da organik (polimerik) olarak üretilen membranlardan polimerik (selüloz, asetat, polisülfon, poliamid, polivinilden florit) olanlar karakteristiği göz önüne alındığında tekstil atıksuları için daha elverişli olduğu görülmektedir. Bu alanda son teknoloji ürünü olarak anisotrop (asimetrik) membranlar göze çarpmaktadır (Ciardelli G vd., 2000).

3.1. Mikrofiltrasyon (MF) Membranları ile Arıtım ve Geri Kazanım

MF membranları biyolojik arıtma tesisi akışına doğrudan uygulandığında iyi bir çıkış suyu kalitesi vermesede Nanofiltrasyon (NF) için iyi bir ön arıtma ya da çok aşamalı bir MF sisteminde çıkış suyu kalitesini arttırmak için kullanılabildiği ve MF nin tekstil atıksuyunu ön arıtmada daha realistik yöntem olduğu görülmüştür.

Direkt ultrafiltrasyon ile mikrofiltrasyon ön arıtımından sonra ultrafiltrasyon arasında karşılaştırma yapıldığında; çıkış suyu kalitesi açısından 2. yöntemin daha uygun olduğu anlaşılmıştır (Fersi vd., 2005).

MF ile UF membranları karşılaştırıldığında, aynı atıksu numunesinde MF membranı %40 oranında renk ve bulanıklık giderdiği, ancak halen yüksek miktarda çözünmüş tuz bulundurduğu görülmüştür. UF membranları ise yüksek miktarda bulanıklık (%90) ve MF den biraz daha fazla renk (%50) gidermiştir (Fersi vd., 2005).



Şekil 3.1. MF membranların işleyişi

3.2. Ultrafiltrasyon (UF) Membranları ile Arıtım ve Geri Kazanım

UF, sistemleri; tekstil işlemlerinin bir çok adımında kullanılabilmektedir. Bazı üreticiler UF membranı fazla tuzu, boyadan sökmek için kullanmaktadır. UF ile yağları tutarak %30 – 50 oranında yağ içeren ve ekonomik olarak kullanılabilecek halde olan emülsiyon elde edilir. Yüksek konsantrasyonda yağ/su oranı yanmayı güçlendirerek yakıt olarak kullanılabilir.

Tekstil boyamada kullanılan indigo boyanın %80 i kumaşın üstünde kalır gerisi suya karışır. Bu formda suda çözünme ve UF ile tutulabilir. Süzülen kısım taze indigo ile karıştırılıp yeniden kullanılarak hidrosülfat ve kostik tüketimi azaltılabilir (Woerner 2002).

ULTRAFILTRASYON



Şekil 3.2. UF membranların görünüşü

3.3. Nanofiltrasyon (NF) Membranları ile Arıtım ve Geri Kazanım

Ultrafiltrasyon ile yüksek molekül ağırlığı olan ve çözünmeyen boyaların (indigo, dispers) ve yardımcı kimyasalların (polivörinil alkol) ve suyun geri kazanımı olmakta fakat düşük molekül ağırlıklı ve çözünen boyaların (asit, reaktif) giderimi olmamaktadır. Nanofiltrasyon; fiber reaktif boyaları ve katyonik boyaları tuzdan ayırmada veya tuz geri kazanılarak yeniden kullanılabilir. Maliyetten kar tuzun ve suyun geri kazanımından, ısı tasarrufundan ve eğer boya geri kazanılırsa boya maliyetinden ileri gelmektedir. Eğer tuz tek başına boya banyosunda geri kazanılırsa %50 yatırımı, %99 olan toksisiteyi, %75 oranına indirgemektedir (Woerner, 2002).

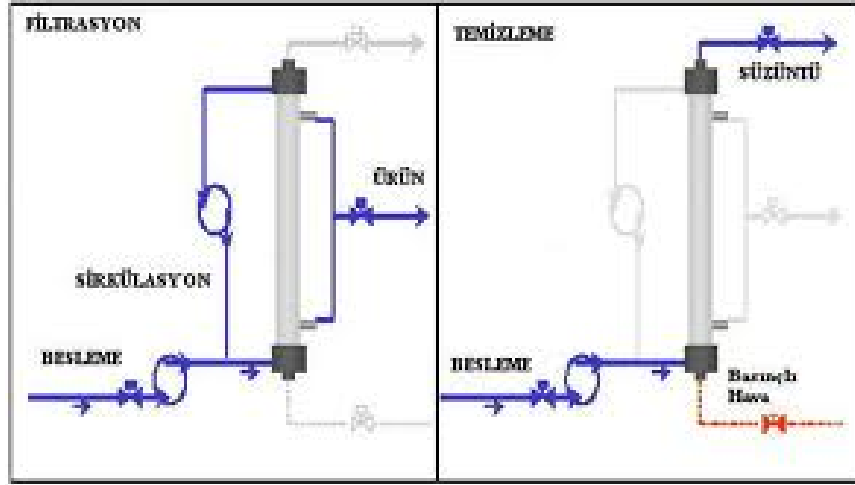
NF su yumuşatmada kullanılan iyon değiştirici ve yeşil kum filtre için çok iyi alternatiftir.

NF nin en önemli avantajları:

- Az bakım gerektirmesi
- Düşük deşarj miktarı
- Yenilenme masrafıdır (Woerner, 2002).

Çıkış suyuna uygulanan NF ile iyi kalitede su ve düşük molekül ağırlığındaki organik bileşiklerin (200-1000 g/mol) ve divalent tuzların ayırımı sağlanmakta ve suya bir yumuşaklık kazandırabilmektedir (Bes-Pia vd., 2002).

NF prosesi, tekstil atıksuyunu arıtmada diğerlerine göre daha geçerli ve tesise giren kullanma suyunu geri kazanmada daha etkili bir alternatif olarak düşünülebilir. Biyolojik olarak arıtılan yüksek tuz miktarına sahip (9 mg/l) tekstil atıksuyunun direkt NF ile arıtımında güzel sonuçlar alınmıştır. Arıtılmış sudan %90 oranında renk, bulanıklık ve TDS giderilmiş beraberinde KOİ de düşüş görülmüştür (Fersi vd., 2005).



Şekil 3.3. NF membranların işleyişi

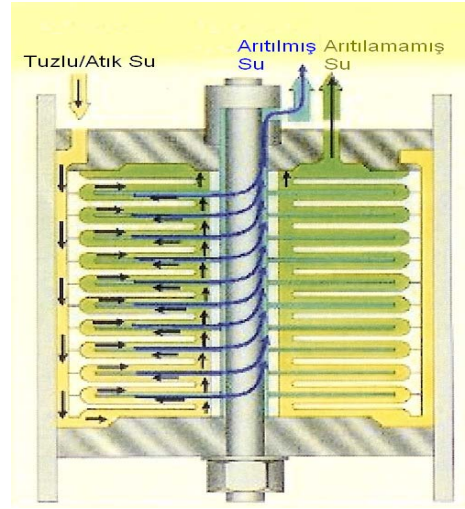
3.4. Ters Ozmos (TO) Membranları ile Arıtım ve Geri Kazanım

Tekstil endüstrisinde boyama, apre gibi ürüne son halini vererek işlemlerde yüksek su kalitesi gerekli olduğundan, en küçük por çapına sahip olan TO membranların en iyi ayırmayı yapacağından, yüksek su kalitesi eldesin de kullanılması mümkün olmaktadır. Fakat son zamanlarda yapılan çalışmalarda boya moleküllerinin küçük por çaplı membranların yüzeyinde birikerek membranları tıkadığı gözlenmiştir. Yüksek oranda renk giderimi NF ve TO sistemleri ile olmaktadır (Bes-Pia vd., 2005).

Boyama ve son işlemler tesisinden alınan atıksu aktif çamur oksidasyonundan sonra kum filtreden 800 L/sa hız ile geçirilip membran sistemine sokulduğunda, 8 barda çalıştırılan TO sistemi, giriş suyunun %60 ı kadar bir permeat üretmiş ve bu suyun kalitesi proseslerde kullanılan sudan daha iyi bir kalitede su elde edildiği görülmüştür. Elde edilen permeat, en yüksek kalitede su gerektiren pamuklu boyama ve açık renkli boyama işleminde de olmak üzere tesisin her yerinde yeniden kullanılabilir (Ciardelli vd., 2000).

Daha önce kullanılan suya göre daha kalite olan TO permeatının karakteristiği oldukça iyi olup (%90 tuz, KOİ ve renk giderimi) tekstil endüstri ıslak proseslerin herhangi bir yerinde sorunsuz şekilde yeniden kullanılabilir.

Bazı proseslerde ise boyalı atıksuyu boyadan ayırıp, direkt tuzlu su geri kazanımına dönük membran konfigürasyonları kullanılmaktadır. Boyama işleminde suya tuz atılmasının nedeni, boyanın kumaşa daha iyi fikse olmasını sağlamak içindir.



Şekil 3.4. Ters ozmos membranının görünüşü

3.5. Membran Performansı

İdeal bir membranda, yüksek akı ve seçicilik ya da yüksek giderme verimleri istenmektedir (Mulder, 1996). Membranların performansı, akı ve giderme verimi şeklinde ifade edilmektedir.

3.5.1. Akı

Akı, birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır. Akı, $m^3/m^2.sn$ veya $L/m^2.st$ gibi birimlerle ifade edilmektedir (Mulder, 1996). Membran filtrasyonunda, membrandan geçen akım, membrana uygulanan basınç (ΔP) ile orantılıdır. Membrandan geçen akımın miktarı, Darcy kanununa göre

$$J = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_m}$$

ile tanımlanmaktadır. Burada,

J : Akı,

ΔP : Membrandaki basınç farkı,

μ : Akışkanın viskozitesi,

R_m : Membranın hidrolik direnci,

olarak tanımlanmaktadır. Tersinir olmayan proseslerin termodinamiğinin kullanıldığı, Kedem-Katchalsky denkleminde akı,

$$J_v \propto L_v \cdot (\Delta P - \sigma \cdot \Delta \pi)$$

ile ifade edilmektedir. Burada v L suyun geçirimsizlik katsayısı ve $(\Delta P - \sigma \cdot \Delta \pi)$ terimi ise net basınç farkını ifade etmektedir. $\Delta \pi$, ozmotik basınç farklılığını ve σ ise giderme veriminin alabileceği maksimum değeri tanımlamaktadır. σ değeri ayrıca birleşim etkisi olarak da tanımlanmaktadır. Dolayısıyla yukarıdaki denklemde elde edilen ifade ile Darcy kanunundan yola çıkılarak yazılan denklem ifadesi ile benzerlik göstermektedir. Buna göre denklem tekrar düzenlenirse.

$$J_v = \frac{(\Delta P - \sigma \cdot \Delta \pi)}{\mu \cdot R_m}$$

ifadesi elde edilmektedir (Koyuncu, 2001).

Büyük moleküllerin ve kolloidlerin ozmotik basıncı çok küçük olmaktadır. Dolayısıyla, büyük moleküllerin ve kolloidlerin tutulduğu mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranlarında, ozmotik basınç ihmal edilmektedir. Tablo 3.1’de ters ozmos (TO), nanofiltrasyon (NF), ultrafiltrasyon (UF) ve mikrofiltrasyon (MF) membranları için, membran direnç ve basınç farklılığı için literatürden alınan tahmini değerler verilmiştir (Koyuncu, 2001).

Tablo 3.1. Basınç kuvvetleri altında çalışan membranlara ait, membran direnci ve basınç farklılığı değerleri (Wiesner vw Aptel, 1996).

Membran türü	Membran direnci (m^{-1})	Basınç farklılığı (ΔP) (bar)
Ters osmoz	10^{10}	8-80
Nanofiltrasyon	10^8	3,5-10
Ultrafiltrasyon	10^7	0,5-7,7
Mikrofiltrasyon	10^6	0,3-3

3.5.2. Giderme Verimi

Membran tarafından tutulan kısmın ölçüsü giderme verimi (R) terimi ile ifade edilmektedir. R, 0 ile 1 arasında değişen boyutsuz bir büyüklüktür. “0” bütün çözünmüş maddelerin membrandan geçtiğini, “1” ise membranın hiçbir madde geçişine izin vermediğini göstermektedir (Koyuncu, 2001; Kural, 2000).

Giderme verimleri iki çeşit olmaktadır. Bunlar, gözlenen giderme verimi (R_{gözlenen}) ve gerçek giderme verimi (R_{gerçek})’dir. Gözlenen giderme verimi, elde edilen süzüntü akımı konsantrasyonu ile besleme akımı konsantrasyonu arasındaki giderme verimini ifade etmektedir. Gerçek giderme verimi ise, elde edilen süzüntü akımı konsantrasyonu ile çözeltinin membran yüzeyindeki konsantrasyonundan yola çıkılarak hesaplanan giderme verimini ifade etmektedir.

$$R_0(\%) = \frac{C_f - C_p}{C_f} = 1 - \frac{C_p}{C_f}$$

$$R_g(\%) = \frac{C_m - C_p}{C_m} = 1 - \frac{C_p}{C_m}$$

Burada,

R_o : Gözlenen giderme verimi,

R_g : Gerçek giderme verimi,

C_p : Süzüntü akımı konsantrasyonunu,

C_f : Besleme çözeltisinin konsantrasyonu,

C_m : Membran yüzeyindeki konsantrasyonunu,

ifade etmektedir (Koyuncu, 2001; Kural, 2000).

3.6. Tekstil Endüstrisinde Membran Teknolojileri Uygulamaları

Tekstil atıksuları, kanunlar ile belirlenen dışarj kriterleri doğrultusunda, alternatif çamur tesislerinde arıtılabilir. Fakat bu tür bir işlem sonrasında elde edilen su proseste yeniden kullanılmak için yeterli kalitede olmayabilir. Bu sebepten dolayı, endüstriler fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma tesisleri gibi konvansiyonel arıtma tesislerinden öteye geçip ileri arıtma alternatiflerini değerlendirmelidir.

Son yıllarda uygulama alanları artan membran teknolojileri; tekstil endüstrisinde de kullanım alanını genişleterek endüstrilerin sorunlarına karşılık uygun çözümler üretmektedir.

Membran filtrasyon prosesleri; sadece yüksek giderme verimi değil, aynı zamanda da yüksek kalite de suyun ve diğer değerli yan ürünlerin geri kazanımına da olanak sağlamaktadır.

Tekstil işlemlerinde membran sistemlerinin tercih edilmesinin en büyük nedeni; mevcut alanın sınırlı olduğu noktasal kaynaklardaki arıtımın ilk yatırım ve işletme maliyetlerini minimize etmesi olarak ifade edilebilir.

Bu sistemlerin endüstriye en doğru şekilde entegre edilebilmesi için noktasal kaynaktan çıkan su akımlarının belirlenmiş ve membran sisteminden geçirilerek suyun doğru analiz edilmiş olması gerekmektedir.

Doğru seçilmiş ve yerleştirilmiş bir membran konfigürasyon sistemi tesise, su ve madde geri kazanımı ve yeniden kullanımı, kanala verilen yükün azaltılması gibi önemli katkılar sağlar.

Boyalı tekstil atıksularının membran prosesleri ile arıtılmasının konvansiyonel yöntemlerle arıtmaya göre en önemli avantajı boyanın sürekli olarak arıtılabilmesi ve konsantre edilerek atıksudan ayrılmasının mümkün olmasıdır (Kocer ve Alkan, 2002). Membran sistemler kullanılarak atıksu deşarjı %63 oranında azaltılabilmekte ve geri kazanılan su birçok proste kullanılabilir (Baburşah vd., 2006). Geri kazanım ve tekrar kullanım yoluyla yer altı suyu rezervlerinin daha az kullanılması da sağlanmaktadır. Bu çevresel faydalar, çoğu zaman membran sistemlerinin başlangıçtaki yüksek yatırım maliyetini telafi edecek düzeyde olmaktadır.

Bazı araştırmacıların yaptıkları çalışmalara göre, ultrafiltrasyon (UF), yüksek molekül ağırlıklı ve çözünemeyen boyalar (indigo, dispers), yardımcı kimyasallar (polivinil alkol) ve su geri kazanımı için başarılı bir şekilde uygulanmakla beraber, düşük molekül ağırlıklı ve çözünebilen boyaların (asit, direkt, reaktif, bazik vb.) gideriminde kullanılamamaktadır. Bu nedenle UF'den elde edilen süzütünün direkt olarak tekrar kullanımı mümkün olmamakta ve bunun için de nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmos (RO) ile tekrar filtrasyonu gerekmektedir (Akbari vd., 2002). TO membranlarının çoğu iyonik türler için %90'nın üzerinde verim göstermekte ve yüksek kalitede bir süzüntü eldesi sağlamaktadır. Boya banyoları çıkış sularındaki boyalar ve yardımcı kimyasallar tek bir basamakta giderilebilmekle beraber yüksek ozmotik basınç farklılığı ters ozmos uygulamalarını sınırlandırmaktadır (Kocaer ve Alkan, 2002). Diğer taraftan, TO

kullanımında yüksek tabakalaşma problemi oluşmakta ve bu da düşük akı ile düşük ayırmaya sebep olmak tadır (Tang ve Chen, 2002).

3.6.1. Membran Teknolojilerinin İşletme Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi

Membran teknolojileri, kullanım alanları, arıtma kalitesi; kapasite, akı, uzaklaştırma yüzdesi ve geri kazanım oranı gibi farklı parametrelere göre seçilmektedir. Bunlarla ilgili dizayn bilgileri kullanılan membran teknolojisi, işletme basınçları ve buna bağlı harcanan enerji ile doğrudan alakalıdır. Membranların işletme parametrelerine göre karşılaştırılması Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Membran proseslerin işletme parametrelerine göre sınıflandırılması Tchobanoglous, (G. and Stensel, H. D., 2003).

Membran Teknolojisi	İşletme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kWs/m ³)	Akı Değeri (l/m ² *gün)	Geri Kazanım Oranı (%)
Mikrofiltrasyon	1,0	0,4	405-1600	94-98
Ultrafiltrasyon	5,25	3,0	405-815	70-80
Nanofiltrasyon	8,75	5,3	200-815	80-85
Ters Osmoz	15,75	10,2	320-490	70-85

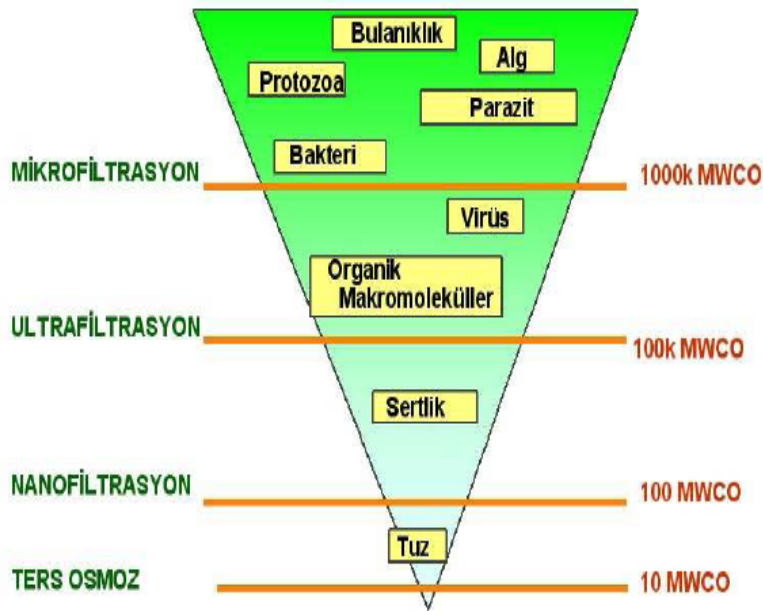
3.6.2. Membran Teknolojilerinin Su ve Atıksu Arıtımında Uygulama Alanları ve Geri Kazanım Performansı

Membran Teknolojilerinin Su ve Atıksu Arıtımında Uygulama Alanları Membran proseslerin endüstriyel atıksu arıtımı ve geri kazanımından, yer altı ve deniz suyundan içme suyu elde edilmesine, proses suyu hazırlamadan hammadde geri kazanımına kadar yaygın bir kullanım alanı mevcuttur. Su ve atıksu arıtımında kullanılan membranların üretim şekillerine ve uygulama alanlarına göre karşılaştırılması Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Membranların üretim şekillerine ve uygulama alanlarına göre karşılaştırılması
(Tchobanoglous, G. and Stensel, H. D 2003).

Membran Proses	Membran Tipi	Uygulanan basınç türü	Uygulamalar	Membran kalınlığı
Mikrofiltrasyon	Simetrik ve Asimetrik, mikroboşluklu	Hidrostatik basınç (< 2 bar)	Partikül ayırımı, Steril Filtrasyonu	10-150 µm
Ultrafiltrasyon	Asimetrik, mikroboşluklu	Hidrostatik basınç (1- 8 bar)	Makromoleküllerin ayırımı	0,1-1 µm
Nanofiltrasyon	Asimetrik	Hidrostatik basınç (10 -30 bar)	Küçük organik bileşiklerin ve seçilmiş tuzların ayırımı	0,1-1 µm
Ters Osmoz	Asimetrik, ince filmlili kompozit	Hidrostatik basınç (10-100 bar)	Küçük moleküler ağırlıklı çözünmüş maddelerin ayırımı	0,1-1 µm

Günümüzde sağlık ve çıkış suyu kalitesi beklentilerinin artmasıyla ve düşük maliyetli membranların geliştirilmesiyle membran teknolojileri zamanla klasik arıtma yöntemlerinin yerini almakta ve kullanım alanı daha da yaygınlaşmaktadır.



Şekil 3.5. Membran teknolojilerin tutma ve ayırma aralıkları

3.6.3. Membran Teknolojisi ile Boyanın Geri Kazanılması

Şuan da ticari amaçlı olarak kullanılan membran sistemleri olarak ultrafiltrasyon, ters ozmos, gaz ayırma ve elektrodializ sayılabilir. Bu teknolojiler 1980’lerde vat, indigo boyar maddelerin geri kazanımı amacıyla Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılmaya başlanmıştır. (Eliot, 1996) Membran sistemlerinin atıksudan boyayı uzaklaştırması, arıtmadan çıkan suyun yeniden kullanılması ve bazı boyar maddelerin geri kazanımı gibi çok iyi avantajları vardır. Membran firmaları, özellikle boyar maddelerin giderilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Bir başka sistem ise ters ozmos ile ozonun bir arada kullanılmasıdır. Membran sistemleri kullanıldığı zaman ortaya çıkan oldukça önemli sorulardan biri, membranda yoğunlaşan maddenin uzaklaştırılmasıdır.

Kot (Denim) üretimi için kullanılan boyama proseslerinin çeşitleri aşağıdaki gibidir:

- Kükürt boyama
- Reaktif boyama
- İndigo boyama dır.

Kükürt boyalar işletmedeki proseslerde (reçetelerde) karışım olarak boyanabildiği için geri kazanımı mümkün olmamaktadır.

Aynı zamanda kükürt boyalar sıvı halde (indirgenmiş halde) olduğundan membran sistemi ile tekrar geri kazanımda zorluklar olmaktadır.

Reaktif boylarda kullanıldıktan sonra hidroliz olduğu için (aktifliğini yitirdiği için) boyanın geri kazanımı mümkün olmamaktadır.

Ancak İndigo boyamalarda tek boya kullanıldığı için geri kazanmak mümkün gözükmemektedir. Beraber kullanılan kimyasalları nötürleme şansı bulunmaktadır. (Beraber kullanılan kimyasallar hidrosülfıt, kostik ve ıslatıcı)

Boya geri kazanımında kullanılacak membran için, atık suyun indigo tekne direnajından alınması gerekmektedir. Böylece diğer kimyasallarla karışmamış olacaktır (Gap Güneydoğu Tekstil Talimatları).

4. MATERYAL ve METOD

4.1. Tesis Bilgileri

Merkezi İstanbul'da bulunan ÇALIK HOLDİNG'e bağlı GAP Güneydoğu Tekstil San. ve Tic.A.Ş. 1987 yılında Malatya'da Organize Sanayi Bölgesindeki fabrikasında ham bez üretimi ile faaliyete başlamış; 1996 yılında Denim Kumaş üretim tesislerini, 1997 yılında Ring iplik üretim tesisini, 1992 yılında ayrı bir tesis olarak kurulmuş olan Open End iplik üretim fabrikasını 2001 yılında Open End iplik işletmesi olarak bünyesine almış entegre tekstil üretim tesisidir.

Ring İplik olarak yıllık ortalama 8.000 ton civarında Ne=5/1 ile Ne=20/1 arasında Ring Dokuma ipliği, Sentetik – Pamuk – melanj, uneven (Şantuklu) Core Spun – Lycra ve Retro tiplerinde iplik üretmektedir.

Halat boyama ve çözgü boyama şeklinde iki farklı iplik boyama yapılmaktadır. Denimin ana kaynağı İndigo boyamanın yanı sıra az da olsa kükürt ve reaktif boyada mevcuttur.

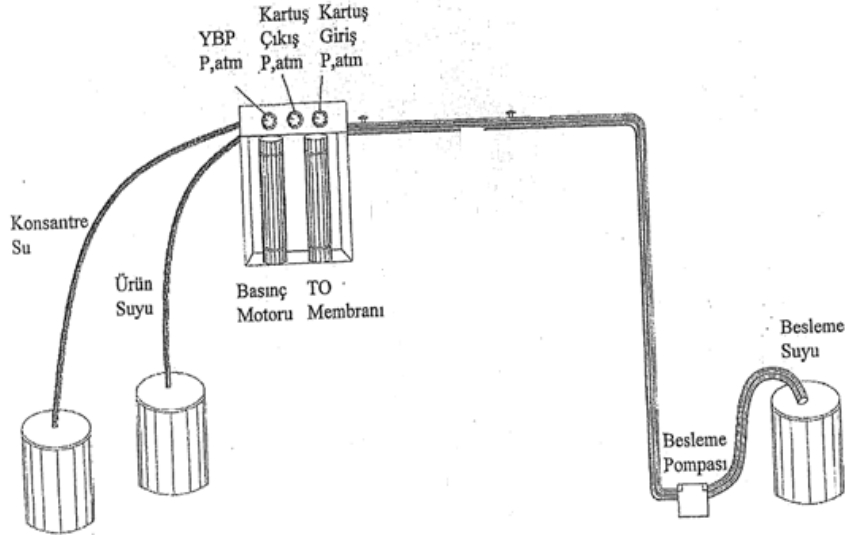
Dokunmuş kumaş olarak yıllık üretim kapasitesi 31 milyon metre dir. Toplam 284 adet dokuma makinesi mevcuttur. Dokunmuş Jean kumaş % 100 pamuk, pamuk / sentetik (polyester – naylon) ve Lycra'lı olup ağırlık yelpazesi 5 oz/yd² ile 14,5 oz/yd² arasında değişmektedir.

Dokunan kumaşlar son işlem olarak finish proseslerine tabi tutulurlar. Ön terbiye, kasar, merserize, boyama, kaplama, apre ve diğer finish makinelerinden geçmektedir.

2003 yılından itibaren % 100 organik ürün üretebilirlik GOTS standartlarına uygun ve %5-%10-%15-%20 oranında organik Exchange standartlarına uygun üretim yapılabilirlik sertifikası mevcuttur.

4.2. Deneysel Düzenek

Çalışma esnasında kullanılan sistemin şematik gösterimi Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan membran sistemi

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi sisteme besleme pompası, basınç motoru ve TO reaktör kartuşu bulunmaktadır. Atıksu pompa vasıtasıyla Ters Ozmos membranına girer. Bu arada YBP (Yüksek Basınç Pompası) basıncı kaydedilir. Uygun proseslerde alınan boyalı ipliklerin yıkama suyu olan atıksu membrandan geçirilmiş ve gerekli testler yapılmıştır. TO ünitesinden geçen atıksu çıkışta ürün suyu ve konsantre suyu olarak ayrı kaplarda tutulmuştur. Deney sonunda her iki çıkan suyun miktarları tespit edilmiştir. Konsantre suyun analizi yapılmış, içerisindeki indigo boya miktarı ölçülmüştür. Elde edilen indigo boyalı çözelti ile örnek bir boyama yapılmıştır.



Şekil 4.2. Ters ozmos ünitesi (TO membranı, basınç motoru ve basınç göstergesi)

Prosesten alınan atıksu laboratuvar ölçekli ters ozmos ünitesine verilmiştir. Şekil 4.2’de de görüldüğü gibi YBP (Yüksek Basınç Pompası) basınç göstergesi görülmektedir.



Şekil 4.3. TO membran ile deney düzeneği

Kullanılan TO membranı, atıksuyun ileri arıtımında ve yüksek kalitede su eldesinde kullanılan ve son yıllar da kullanım alanı yaygınlaşan CSM (Customer Satisfaction Membranes) RE 4021-TE model membrandır. Poliamid membranlar, hidrofilik membran polimerlerinin diğer bir grubudur. Aromatik poliamidler, selüloz esterlere göre, daha iyi termal ve kimyasal yapıda olduklarından dolayı, selüloz diasetat dan sonra en çok kullanılan ikinci polimerdir. Selüloz asetat membranlara göre pH aralığı daha fazladır. Bunun yanında klor karşı olan dayanımı daha düşüktür (0.6 – 8 ppm). Bu nedenle eğer arıtılacak atıksu klor ihtiva ediyorsa, arıtım öncesi atıksudan klor giderilmelidir.

Poliamidler bir çok kompozit membranlarda üst tabaka malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kullanılan TO membran özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. TO membranının özellikleri

Model Adı	Akış Hızı (m ³ /gün)	Tuz Rejection % si	Etki Alanı (m ²)	Çap (mm)	Uzunluk (mm)	Test Şartları
4021-TE	3.8	99.5	3.3	102	533	21*BW Standart

21*BW Standart test şartları: NaCl 2mg/L, Basınç 225 psig, Sıcaklık 25 °C, pH 6,5-7

TO membranında 5 membran yüzeyi iç içe sarılmış ve bir silindir şeklindedir. 5 membran tabakasını birbirinden ayıran ince tabakalar mevcuttur. Bu membran tabakalarında iki yüzey vardır. Biri alt diğeri üst düzeydir. Bu iki yüzeyi de ayıran ince bir ayırma tabakası vardır. Şekil 4.4’te verimli sonuç elde edilemeyen değiştirilmiş bir membran mevcuttur.



Şekil 4.4. TO değiştirilen membran

Şekil 4.4’te verilen TO ya giriş suyunu ve TO’tan çıkan ürün suyunu göstermektedir. İndigo boya prosesinden geçen boyanmış iplikler son aşamada yıkama teknelerine girmektedirler. Yıkama teknelerindeki boyanan sular atık olarak atılmaktadır. Bu atıksudan alınan boyalı su TO membranına verilmiştir. Membrandan geçen arıtılmış su, bir membran tabakasının iki yüzeyi arasında toplanır ve çıkışta diğer 4 membran tabakasından gelen ürün suları ile birleşerek ince bir boruyla çıkışta toplanmaktadır. Membrandan geçemeyen

kısım konsantre hale gelmektedir. Bu konsantre olan suda boya yoğun olarak birikmektedir.. Biriken bu boyanın tekrar kullanılabileceği Deneylerde görülmektedir. Elde edilen konsantre çözeltinin içerisinde ne kadar indigo boya olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. TO girişindeki atıksu ve TO çıkışındaki ürün suyu

4.3. İndigo Boyanın Özellikleri

İlk bilinen küp boyarmaddesidir. Mavi renkli indigofera cinsi bitkilerden elde edilen doğal orijinli ve geleneksel bir boyadır. Bu boyarmaddeler başlıca selüloz esaslı ve kısmen de protein elyafın boyanmasında ve baskısında kullanılırlar. Günümüzde doğal değil, sentetik olarak üretilen indigo kullanılmaktadır.

İndigo boyarmaddelerinin diğer küp boyarmaddelerinden farkı, küplenmiş indigo boyarmaddesinin selüloz liflerine afinitesinin düşük olmasıdır. Bu nedenle; çok açık tonda olan boyamalar dışında birkaç pasajda boyama yapılmaktadır. Yani, küplenmiş indigo ile boyanır, oksitlenir, tekrar boyamaya başlanmaktadır. İndigo boyarmaddeleri ile bobin gibi sargı halindeki materyaller koyu tonlarda boyanmaz. Açık en veya yumak çözümler kullanılmaktadır. İndigo boyama prosesi büyük çoğunlukla sürekli olarak uygulanmaktadır.

4.4. İndigo Boyama Prosesinin Özellikleri

Çözgü ipliklerinin boya teknelerinden geçirilerek boyandığı oksitlenme olayı ile olan bir boyamadır. İndigo boya normal boyadan farklı özellikte olan bir küp boya tipidir. İndigo boyada selüloz liflerine nüfuziyetinin düşük olması diğer boyalardan farklı bir

özelliktir. Bu sebeple ipliğin boyanma işlemi birden fazla teknede tekrarlanmaktadır. Çözümlü halat halinde ise; indigo boyardan geçen halat boyanmaktadır, belli bir yüksekliğe çıkarılarak oksitlenmekte ve sonra tekrar boyanmaktadır. Boyar madde elyafın içine nüfus etmez, adeta etrafında bir katman oluşturmaktadır. Boyanın nüfuziyeti kostikleme işlemi ile arttırılabilmektedir. Boyama yapan makinenin kapasitesi 12, 24, 36, 48 gibi halat sarılmış tops şeklindedir. Boyama işlemi devamlı sürmektedir. Bu süre bir partinin boyanması için ortalama 8 saattir.

Halatlar ilk ısılatma teknesine girdiğinde her bir halata ait beslenme açısı hafif şekilde fark etmektedir. Bu durum iplik geriliminin değişmesini engellemektedir. İplik geriliminin değişmesi ile farklı boya yapısı meydana gelmektedir. Ön işlem teknelerinin her birinde isteğe göre farklı bir işlem uygulanmaktadır.

Boyama teknelerinde dakikada 10-18 kg halat boyanmaktadır. İplik üzerindeki mum magnezyum tuzları, bu ön işlemler sayesinde temizlenerek boyama yapılmaktadır. Ancak bu maddeler bazen bu işlem teknelerinin yüzeyinde tabakalar oluşturarak banyoyu terk ettiğinde halat üzerinde kir oluşturdıkları için bu kir tabakası sıcak bir durulama ile iplikten uzaklaştırılmaktadır. Boya maddesi ve diğer işlem maddeleri mutfakta hazırlanıp borularla teknelere beslenmektedir.



Şekil 4.6. İndigo boya makinesindeki teknelerden boyanan ipliğin görüntüsü

Ön işlemden geçen halatlar boyama teknelerine gelmektedir. Bu tekneler 8-10 adet olabilmektedir. Yine isteğe bağlı olarak yani tipin özelliklerine göre, halatlar belli bir tekne sayısından geçmektedir. Yani halatlar belirli bir yüksekliğe silindirler vasıtasıyla

çıkılmaktadır. Bu yükseklik oksitlenme içindir. Boyanan halat hava ile temas ettiğinde boya oksitlenir ve tekrar boyama teknesine gelmektedir. Halatın boya ile temasını arttırmak için tekneler derin yapılmıştır. Boya teknelerinden geçerek boyanan halatlar tekrar bazı işlemlere tabii tutulmak üzere işlem teknelerine gelmektedir.

Bu teknelerde yıkama, yumuşatma gibi işlemler yapılmaktadır. Bu teknelerin sayısı 5 tanedir. Boyalı halatlar genele de durulama işlemine tekrar tutulmaktadır. Bu işlem oda sıcaklığında yapılmaktadır.

Bu işlemlerden de çıkan halatlar kurutma barabanlarına gelmektedir. Buradaki silindirlerden geçerek kuruması sağlanan halatlar sallama bölümüne gelerek burada kovalara doldurulmaktadır. Bu kovalar halat açma bölümüne giderek boyalı halatlar açılmaktadır. İndigo boya tabakası aşınma ve yıkanmaya karşı iyi bir haslık sağlamaktadır.

4.5. Metrohm Cihazının Kullanımı

Çözelti içerisine ferrosiyonül ile titre edilerek içerisindeki konsantrasyon miktarları bulunmaktadır. Deneylerde boya miktarının titrasyon yöntemi ile ölçüldüğü metrohm cihazının kullanım şekli aşağıdaki gibidir:

I - Metrohm cihazının ferrisiyanür solisyonu hazırlanmıştır. (8,2 gr Ferrisiyanür 500 ml lik balon Joje içerisine konulmuştur 500 ml'ye saf su ile tamamlanmıştır.)

II - Metrohm titratör cihazının redox elektrodu saf su içerisinde muhafaza edimiştir.

III - Metrohm titratör cihazının pH elektrodu potasyum klorür çözeltisi içerisinde muhafaza edilmiştir.

IV - Metrohm ile titrasyon aşağıdaki gibi yapılmıştır:

- Cihazın arkasında bulunan enerji butonu açılmıştır.

- Cihazın numune kabı içerisine 50 ml kostik –setamol çözeltisi konulmuştur. 4,05 kostik ve 1,12 gr setamol tartılıp ve 1000 ml' lik balon jojeye konulmuştur. 1000 ml 'ye saf su ile tamamlanmıştır. Manyetik karıştırıcı çubuk bu numune kabı içerisine bırakılmıştır.

- Numune kabı manyetik karıştırıcı üzerindeki yerine yerleştirilmiştir. Manyetik karıştırıcı çalıştırılıp ve dönme hızı kontrol butonu 8 konumuna getirilmiştir.

- N₂ (Azot) vanası açılıp ve gazın geldiği cihazın yanındaki içerisi su dolu olan erlen içerisindeki gaz çıkışı izlenerek doğrulanmıştır.

- 5 dakika boyunca karıştırıcı 8 konumunda çalıştırılıp 5 dakika sonunda hız ayarı 3 konumuna alınmıştır.

- Boya teknelerinden alınan numuneden 10 ml lik örnek metrohm cihazının numune kabı içerisine dikkatlice enjekte edilip ve N₂ gazı vanası kapatılmıştır. START düğmesine basılarak ölçüm başlatılmıştır.

- Ölçüm sonucu alındıktan sonra manyetik karıştırıcı durdurulup, elektrot ve enjeksiyon hortumları saf su ile yıkanmıştır.

İndigo boya çözeltisinin içerisindeki indigo miktarını ölçmek için kullanılan metrohm cihazının görünümü şekil 4.8'deki gibidir.



Şekil 4.7. Geri kazanılan boya miktarından hazırlanan çözeltinin metrohm cihazı ile ölçülmesi

4.6. Boyalı Kumaşın Elektromagnetik Spectrum (Hunterlab) da Okunuşu

Atıksudan elde edilen konsantre çözelti ile kumaş boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kumaşlardaki rengi detaylı bir şekilde ölçüsel olarak değerlendirmek için Elektromagnetik spectrumda okutulmaktadır. İnsan gözünün algıladığı renk aralığı 400 nm-700 nm arasındaki ışık dalga boylarıdır. Ham verilerden gerekli formülasyonlar kullanılarak her bir spectrum ölçümünden aşağıdaki birimsiz korelasyon faktörüne uygun verilere ulaşılmaktadır.

L (Lightness) Doygunluk	Açıklık – Koyuluk eksenindeki noktası
A (Green – Red axis)	Yeşil – Kırmızı eksenindeki noktası
B (Blue – Yellow axis)	Mavi – Sarı eksenindeki noktası
C Chromaticity)	Parlaklık – Matlık eksenindeki noktası
H (Hue)	Renk uzayında rengin açısal olarak bulunduğu nokta

Bu veriler ile yola çıkarak;

Deneme – Standart hesaplaması ile yukarıdaki her bir verinin farkına ulaşılmaktadır.

Örneğin; $\Delta L = L_{\text{deneme}} - L_{\text{standart}}$

Bu hesaplama göre ulaşılan Delta (fark) sonuçlarında değerler “+ artı” ise

Deneme standarda istinaden

Delta L = Açıkta

Delta a = Kırmızıda

Delta b = Sarıda

Delta C = Daha parlak

Aynı hesaplama göre Delta sonuçlarında değerler “- eksi” ise

Deneme standarda istinaden

Delta L = Koyuda

Delta a = Yeşilde

Delta b = Mavide

Delta C = Daha Mat

4.7. Çalışmanın Yöntemi

Gap Güneydoğu Tekstil San ve Tic A.Ş denim kumaş üretmektedir. Tesiste atıksu çıkan kaynaklar aşağıdaki gibidir.

- İndigo boya ünitesi (iplik boyama)
- Haşıl ünitesi (nişasta içeren atıksu mevcut)

- Ön terbiye ünitesi
- Merserize ünitesi
- Kumaş boyama
- Apre
- Kaplama
- Finish işlemleri

Yapılacak çalışmada boya elde edilmek istendiğinden, boyalı atıksu da tek proses içermeli ve tek boya bulunmalıdır. Aksi taktirde birçok boyanın bulunduğu atıksudan membran yöntemi ile boya elde edilebilecek ancak tekrar kullanımı söz konusu olamayacaktır. Bu nedenle yoğun miktarda atık suyu bulunan ve sadece İndigo Boyama prosesinin geçtiği zamanlarda alınan atıksular deneylerde kullanılmıştır.

Çözelti çeşitlerine göre yıkama teknelerinden alınan atıksular ters ozmos'dan geçirilmiştir. Elde edilen konsantre su 2.kez membrandan geçirilmiştir. Her iki konsantere sular çözelti kabul edilerek, içerisindeki indigo boya miktarı ölçülmüştür. Boyanın tekrar yapılabilirliğini ölçmek için kumaş boyama yapıp, reng spectromda okutulmuştur.

4.7.1. İndigo boya ile Boyamanın Yapılışı

İndigo boyama için önce boyarmadde indirgenerek suda çözünür hale getirilmektedir. Küplemenin yeterli düzeyde olup olmadığı, küpe bir cam plaka sokularak anlaşılmaktadır. Cam plakadan akan sıvının berrak sarı renkten yeşile dönmesi için 12-15 saniye süre geçmelidir. Renk tam sarı değilse ve yeşile dönme süresi daha kısa ise, bir miktar daha hidrosülfid ilave edilmelidir.

Hidrosülfid ve sudkostik miktarının ayarlanması önemlidir;

- Azında yeterli küpleme olmamıştır,
- Aşırısında ise, fazla küpleme sonucu lifler tarafından alınması azalır ve çizgili bir boyama ortaya çıkmaktadır.

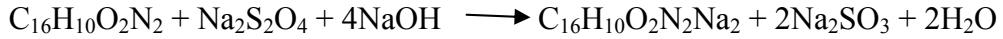
Kostik fazlası da boyamanın renk tonu ve düzgünlüğünü olumsuz etkilemektedir. Küplenmiş boyarmadde;

- Su,
- Kostik,
- Hidrosülfid, ilave edilmektedir.

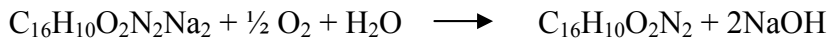


Şekil 4.8. Oksijenle yükseltgenerek silindirlerden kazıyarak aldığımız boya kalıntılarının indirgenme işlemi

İndigo boyama işlemi yapılırken, indigonun ipliğe nüfus etmesi için, indigo boyanın hidrosülfid ile indirgenmesi gerekmektedir. Kostik ve hidrosülfid 'e maruz kalan indigo boyanın İndirgeme işlemi aşağıdaki denklemdeki gibidir:



İndirgenmiş haldeki boya elyaf tarafından absorplanmaktadır.



Elyaf tarafından absoplanan boya, oksidasyon işlemi ile oksitlenerek suda çözünmeyen pigmentlere dönüşmektedir.

İndigo boya kendi başına suda çözünmeyen bir boyadır. Alkali ortamda indirgen bir madde yardımıyla suda çözünür hale getirilmektedir. İndirgenmiş haldeki boyaya “Leocu İndigo” adı verilmektedir. İndirgenme işlemine ise “Küpleme” denmektedir.

Bazı markalarda tuz ilavesi boyarmaddenin alınmasını arttırmaktadır. Yüzeyde toplanan pigment tabakası alındıktan sonra boyamaya başlanmaktadır. Flottede kostik

konsantrasyonu yetersiz ise, boyama mat ve düzgünsüz olmaktadır. Aşırısı da boya alımını yavaşlatmaktadır. Boyama 20-25 °C'de birkaç kez boya banyosuna daldırma şeklinde gerçekleştirilmektedir.

4.7.2. Konsantre Çözeltilerden Boyama Yapılması

İndigo boya içeren çözeltinin çözgü geçtikten sonra yıkama suyunun ters ozmosdan geçirildikten sonra elde edilen konsantre çözeltilerden kumaş boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Daldırma yöntemi ile yapılan boyamada aşağıdaki yöntem uygulanmıştır.

Hazırlanan beyaz denim kumaş, konsantre halindeki çözeltide 5 daldırma yöntemi ile boyama yapılmıştır. Her daldırmada 15 sn beklenmiştir. Çıkarılan kumaş, silindirden geçirilerek sıkılmıştır. 1 dakika oksijenle boyanın oksidasyonu beklenip, boyanın elyafa nüfusu sağlanmıştır. Bu işlem 5 kez tekrarlanmıştır. Ardından kurutma makinesinden geçirilen kumaş, hunterlab cihazında okutularak, renk tayini gerçekleştirilmiştir.

4.7.3. Yıkama Atıksu Analiz Metodları

Referans kabul edilen yıkama suyuna ait atıksu Tablo 4. 2 deki metodlara uygun analiz ettirilmiştir.

Tablo 4.2. Yıkama Atıksu Analiz Metodları

METOT NO : TARİH	METOT ADI
SM 2120 : C : 2012	Standart Methods for the Examina of Water and Westewater Spectrophotometric Method
SM 2320 : B : 2012	Standart Methods for the Examina of Water and Westewater Titration Method
SM 2540 : B : 2012	Standart Methods for the Examina of Water and Westewater Total Solids Dried at 103-105 oC
SM 2540 : C : 2012	Standart Methods for the Examina of Water and Westewater Total Dissolved Solids Dried at 180 oC
SM 2540 : D : 2012	Standart Methods for the Examina of Water and Westewater Total Suspended Solids Dried at 10-105 oC
SM 2540 : E : 2012	Standart Methods for the Examina of Water and Westewater Fixed and Volatile Solids Ignited at 550 oC
SM 2550 : B : 2012	Standart Methods for the Examina of Water and Westewater Laboratory and Field Methods
SM 4500 - CI- : B : 2012	Standart Methods for the Examina of Water and Westewater Argentometric Method
SM 4500-S (-2) : D : 2012	Standart Methods for the Examina of Water and Westewater Methylene Blue Method
SM 4500-S04 (-2) : E : 2012	Standart Methods for the Examina of Water and Westewater Turbidimetric Method
SM 4500H+ : B : 2012	Standart Methods for the Examina of Water and Westewater Electrometric Method
SM4500 S03-2- : C : 2012	Su Kalitesi-Hidrokarbon yağ İndeksinin Tayini-Bölüm 2 : Çözücü Ekstraksiyon ve Gaz Kromatografisi Yöntemi
SM 5210 : B : 2012	Standart Methods for the Examina of Water and Westewater 5 Day BOD Test
SM 5220 : B : 2012	Standart Methods for the Examina of Water and Westewater Chemical Oxygen Demano

5. BULGULAR

5.1. Yükseltgen Haldeki Toz İndigo Boyanın Analizi (D1)

Bu deney için öncelikle amaç; indirgenmiş indigo boyanın oksijenle yükseltgendikten sonra boyayı doğal yollardan geri kazandığımızda indigo boya makinesine yapışan tortu ile tekrar kullanabilirliğinin analizini yapmaktır.

Silindirlerin üzerinden indirgenen indigo boyanın oksijenle yükseltgenerek kalıntı hale gelmesi sonucunda oluşan tortulardan Şekil 5.1'deki gibi numune alınmıştır.



Şekil 5.1. İndigo makinesi üzerinden alınan geri dönüşümü olan indigo boya kalıntıları

Şekil 5.1'de görülen tozun indigo boya mı, yoksa elyafların birikmesi sonucunda oluşan toz mu, indigo boya ise % kaçının indigo boya olduğunu anlamak için Metrohm cihazı ile deney yapılmıştır.

5.1.1. İndigo Boyalı Çözelti Hazırlama İşlemi

- 5 g hidrosülfid
- 5 g indirgenmiş tekrar yükseltgenmiş indigo boya tortusu
- 5 g 48 bome kostik

Yukarıdaki malzemeler 1 L su ile titre edilmiştir. İndigo boya oksijenle yükseltgenen bir maddedir. Boyama yapılabilmesi için indirgen halinin bozulmaması gerekir. Küp boya olduğundan indirgen halde elyafa veya kumaşa nüfuz eder. Bu nedenle hazırlanan numunenin ağzı sıkı bir şekilde kapatılmıştır. Oksijen ile temas girerek reaksiyona uğraması bu şekilde engellenmiştir. İndirgenme işleminin tam olarak gerçekleşmesi için 3 saat bekletilmiştir.

5.1.2. Metrohm Cihazı ile İndigo Konsantrasyonunun Bulunması

- 50 cc kostik setamol çözeltisi
- 10 cc hazırladığımız indigo çözeltisi

Metrohm cihazı ile görmek istenen 1. aşamada hazırladığımız çözeltide 5 g indirgenmiş tekrar yükseltgenmiş indigo boya tortusunun, indigo boya olup olmadığının ispatını yapmaktır. Deney sonunda cihazdan çıkan verilerde 5 g'lık indigo boyayı çözelti içerisinde ölçerek gerekli veriler elde edilmiş olacaktır.

Kostik setamol çözeltisi hazırlanarak metrohm cihazında 5 dakika karıştırılmıştır. Böylelikle içerisindeki oksijen çıkartılmaktadır. Oksijen çıktıktan sonra 10 cc hazırladığımız indigo çözeltisi karıştırılıp, yükseltgen madde verilerek, yükseltgenme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Metrohm cihazında elde edilen değerlerde de; 5 g olarak hazırlanan indirgenmiş tekrar yükseltgenmiş indigo boya tortusundan hazırlanan çözelti de 4,62 g/L olarak ölçülmüştür.

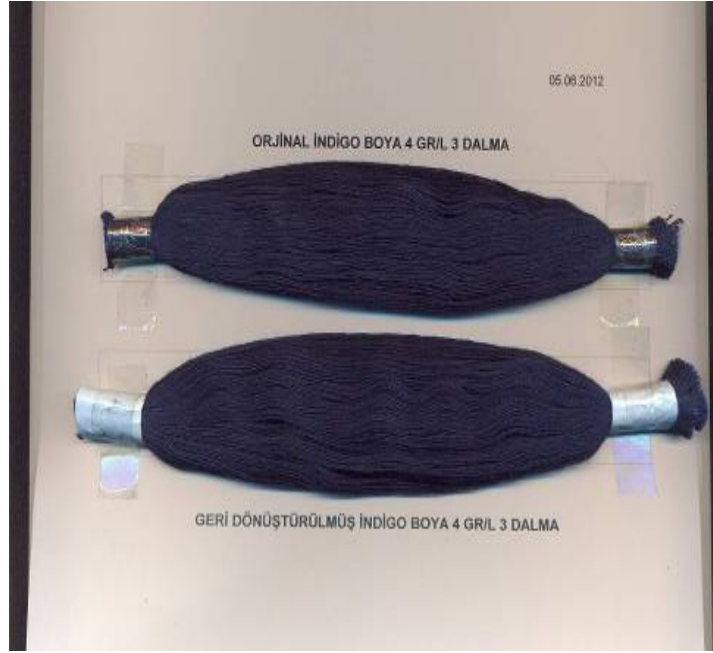
5.1.3. Geri Kazanılarak Elde Edilen Boya ile Elyaf Boyama İşlemi

4,62 g/L çözeltide metrohm cihazının gösterdiği indigo boya miktarı Çözelti hazırlanırken 5 g toparlanan indigo boya kalıntısı boya kullanıldığına göre:

$$4,62 / 5 \times 100 = 92,4\% \text{ bulunmaktadır.}$$

%7,6 lık miktar kayıp nem ve yabancı madde (elyaf, tuz vs) olabilmektedir.

Geri kazanılan boyanın indigo boya özelliği taşıdığını, kullanılan boyadan farkı olmadığı görülmüştür.. Ancak çözgü ipliğini boyarken nasıl bir netice elde edildiğini görmek için 2 parça numune elyaf, laboratuvar ölçekli makinelerde boyanmıştır. Aşağıdaki Şekil 5.2'de görüldüğü gibi üstteki numune geri kazanılan indigo ile alttaki numune ise norma l indigo boya ile boyanmıştır.



Şekil 5.2. Doğal yollarla elde edilen indigo boya ile yapılan boyama

5.2. Yıkama Suyundaki Boya Miktarının Ölçümü (D2)

İndigo boyama yapılırken; ilk teknelerinde İndigo boyalı çözelti bulunmaktadır. Son teknelerde ise boyanan çözümlerin (ipliklerin) yıkandığı su bulunmaktadır. Boyalı çözümler son teknelerden yıkanırken çok azda olsa bir miktar boyayı atıksuya vererek teknelerden geçmektedir. Boyamada kullanılan boya miktarına göre bu oran değişmektedir. Deneylerimizde son teknelerden (yıkama teknelerinden) alınan atıksu kullanılmıştır.

Giriş ve çıkış akımlarından alınan numunelere metrohm cihazı ile boya miktarı ölçülmüştür.

- 10 bar YBP basınç
- 200 L atıksu (boyanmış çözgü yıkama teknesinden alınan su)
- 7569M kalitesi için çalışma reçeteye ait atıksu numunesi (2 g/L indigo boya mevcuttur)
- 14.000 metre çözgünün boyandığı indigo boya makinesinde, 12.000 metre boyandıktan sonra yıkama teknesinden atıksu numunesi alınmıştır.

5.2.1. Atıksu Numunesindeki Boya Miktarının Ölçümünde 1. Çalışma

- 5 ml kostik
- 7 g hidrosülfid
- 1 L atıksuya tamamlanmıştır.

Kostik setamol çözeltisi hazırlanarak metrohm cihazında 5 dakika karıştırılmıştır. Böylelikle içerisindeki oksijen çıkartılmaktadır. Oksijen çıktıktan sonra 10 cc hazırladığımız indigo çözeltisi karıştırılıp, yükseltgen madde verilerek, yükseltgenme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Metrohm cihazından elde edilen değerler Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Yıkama teknesinden alınan atıksudaki metrohm cihazı ile yapılan ölçüm sonucunda elde edilen değerler

ÖLÇÜM SONUCUNDAKİ ÇÖZELTİ DEĞERLERİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	BİRİM
Hidro miktarı	Sonuç alınamamıştır	g/L
İndigo miktarı	Sonuç alınamamıştır	g/L
pH değeri	10.8	
Redox Potansiyeli (Mv)	-283	Mv

Ancak ilk atıksu numunesinden metrohm cihazı ile ölçümde sonuç alınamamıştır. Atıksudaki boya miktarı çok küçük oranda olduğundan sonuç vermemiştir. Atıksudaki boya miktarı bilinmeden membrandan geçen konsantre sudaki boya miktarının % kaç oranda elde edildiği ölçülememiştir. Cihaz boya miktarını bulamadığından Redox potansiyeli (-) değere düşmüştür.

5.2.2. Atıksu Numunesindeki Boya Miktarının Ölçümünde 2. Çalışma

İndigo boya çözeltisinin geçtiği çözümlerin yıkandığı yıkama suyundan alınan numunede indigo boya miktarının ölçümü tekrar yapılmıştır. Amaç; atıksudaki indigo

miktarını bulup, membrandan geçirildikten sonra konsantre suyunda ne kadar boya kazanıldığını ölçüsel değerlerle göstermektir.

İndirgeyen maddelerin miktarları düşürülerek deney tekrarlanmıştır.

- 3 ml kostik
- 3,5 g hidrosülfid
- 1 L atıksuya tamamlanmıştır.

Tekrar atıksu numunesi hazırlanıp, içerisindeki indigo boya miktarı tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için; kostik setamol çözeltisi hazırlanarak metrohm cihazında 5 dakika karıştırılmıştır. Böylelikle içerisindeki oksijen çıkartılmaktadır. Oksijen çıktıktan sonra 10 cc hazırladığımız indigo çözeltisi karıştırılıp, yükseltgen madde verilerek, yükseltgenme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Metrohm cihazından elde edilen değerler tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Yıkama teknesinden 2. kez alınan atıksuyun metrohm cihazı ile yapılan ölçüm sonucunda elde edilen değerler

ÖLÇÜM SONUCUNDAKİ ÇÖZELTİ DEĞERLERİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	BİRİM
Hidro miktarı	Sonuç alınamamıştır	g/L
İndigo miktarı	Sonuç alınamamıştır	g/L
pH değeri	11.2	
Redox Potansiyeli (Mv)	-187	Mv

Ancak yıkama suyundan alınan atıksu numunesinden metrohm cihazı ile ölçümde 2. kez sonuç alınamamıştır. Atıksudaki boya miktarı çok küçük oranda olduğundan sonuç vermemiştir. Metrohm cihazı 0.1 g/L den küçük değerleri okumamaktadır. Bu nedenle bundan sonra yıkama suyundaki indigo boya değeri 0.1 g/L kabul edilecektir. Referans değer kabul edilmiştir.

Ölçüm yapılırken Redox potansiyeli (indirgen – yükseltgen değeri) indigo değerini vermediğinden (-) değere ulaşmıştır.

5.3. 2 g/L İndigo Boya İçeren Çözelti Atıksuyunun 10 Bar Basıçtaki Membran Analizi (D3)

2 g/L indigo boya içeren çözeltideki 14.000 metrelik boyamanın geçtiği indigo boya makinesinin 13.000 metresi boyandıktan sonra yıkama suyundan numune alınmıştır.

Atıksu membrandan geçirilmiştir. Şekil 5.3'teki gibi konsantre su ve temiz su elde edilmiştir. Atıksu numunesindeki boya miktarı metrohm cihazı ile ölçüldüğünde D1 ve D2'deki gibi sonuç alınamamıştır. Nedeni boya miktarının küçük olmasıdır. Boya miktarı 0,1 g/L den küçük olduğundan cihazın çok hassas olmaması neticesinde metrohm cihazı değer vermemiştir. Elde edilen sonuçlar $<0,1$ g/L kabul edilerek hesaplama yapılacaktır.



Şekil 5.3. Membrandan geçirilen atıksu görüntüleri

5.3.1. Konsantre Çözeltinin 1. Kez (K1) Membrandan Geçirilmesi (D3 – K1)

2 g/L indigo boya içeren çözelti atıksuyu ile yapılan ölçümler.

- 120 ml yıkama suyundan alınan atık su (Boya miktarı $<0,1$ g/L kabul edilmektedir)
- Yıkama suyundaki indigo boya miktarı 0.1 g/L
- 10 bar YBP basınç

Konsantre suda ne kadar boya elde edildiğini görmek için metrohm cihazı ile ölçüm yapılmıştır. Metrohm cihazının ölçüm yapabilmesi için konsantre çözeltime hidrosülfıt ve kostik ilave edilmektedir.

- 2 g/L hidrosülfıt
- 7,5 ml kostik
- 1 L ye tamamlanmıştır.

Metrohm da yapılan ölçüm sonucunda 0,17 g/L indigo boya olduğu görülmüştür. Tablo 5.3 de elde edilen değerler görülmektedir.

Tablo 5.3. 2 g/L çözeltinin yıkama suyundan 10 bar basınçta 1. kez konsantre (K1) edilen çözelti değerleri (D3 – K1)

ÖLÇÜM SONUCUNDAKİ ÇÖZELTİ DEĞERLERİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	BİRİM
Hidro miktarı	1.41	g/L
İndigo miktarı	0.17	g/L
pH değeri	13.1	
Redox Potansiyeli	420	Mv

5.3.2. Konsantre Çözeltinin 2. Kez (K2) Membrandan Geçirilmesi (D3 – K2)

2 g/L indigo boya içeren çözelti ile yapılan boyamanın çözgü yıkama suyundan alınan numune sonucunda membrandan geçirilmiş halde elde edilen konsantre sudaki boya miktarı 0.17 g/L olduğu görülmüştür. 0.17 g/L olan konsantre su tekrar membrandan geçirilmiştir. Arıtılmış su ile konsantre su elde edilmiştir. Elde edilen konsantre 2 çözelti numunesinde ne kadar indigo boya olduğu metrohm cihazı ile ölçülmüştür.

Metrohm cihazının ölçüm yapabilmesi için hidrosülfıt ve kostik ilave edilmektedir.

- 3 g/L hidrosülfıt
- 3,5 ml kostik

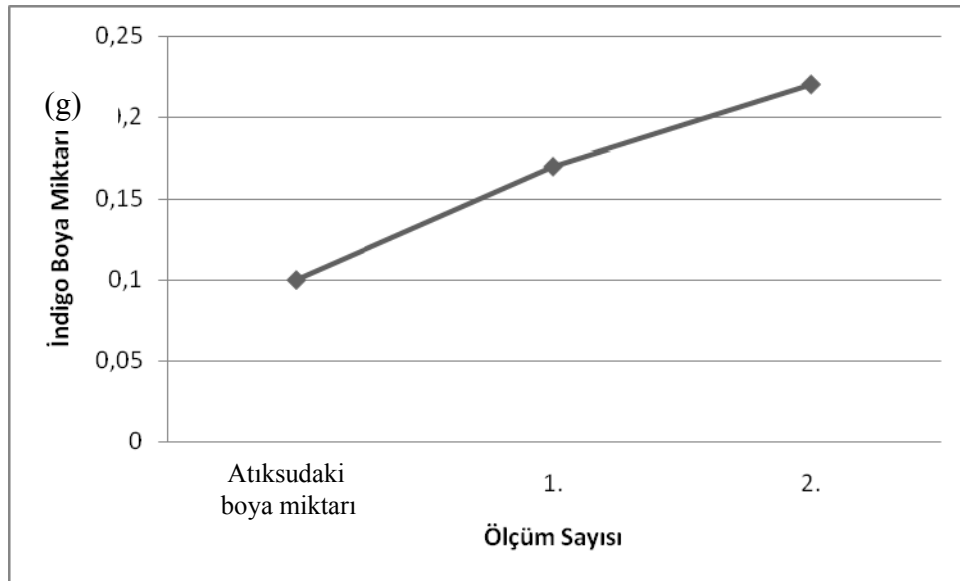
- 1 L ye tamamlanmıştır.

Metrohm cihazı ile yapılan ölçüm sonucunda 0.22 g/L indigo boya olduğu görülmüştür. Tablo 5.4 de elde edilen değerler görülmektedir.

Tablo 5.4. 2 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 10 bar basınçta 2. kez konsantre (K2) edilen çözelti değerleri (D3-K2)

ÖLÇÜM SONUCUNDAKİ ÇÖZELTİ DEĞERLERİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	BİRİM
Hidro miktarı	1.41	g/L
İndigo boya miktarı	0.22	g/L
pH değeri	13.7	
Redox Potansiyeli	340	Mv

Membrandan geçirilen yıkama suyundan elde edilen indigo boyalı konsantre su ile 2 kez membrandan geçirilen konsantre sulara ait boya miktarları 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4. 2 g/L çözeltinin yıkama suyundan 10 bar basınçta 1. ve 2. kez konsantre edilen indigo boya miktarları (gram)

5.3.3. Membran Çıkışından 0,17 g/L Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması (D3 – K1)

Hunterlab cihazı ile okutulan kumaşın açıklık-koyuluk değerine bakılmıştır. Deneyimizde kullandığımız yıkama suyundan boyama yapılmıştır. Ardından konsantre olarak elde ettiğimiz çözeltiden boyama yapılarak boyanın kumaş üzerindeki rengi ne kadar etkilediği tespit edilmiştir.

Yıkama suyu ile boyanan ve referans renk kabul edilen renk değerleri ile konsantre 1’de elde edilen çözelti ile boyanan kumaşın renk değerleri Tablo 5.5’te verilmiştir.

Tablo 5.5. 2 g/L’lik çözeltinin yıkama suyunun 10 bar basınçta 1. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,17 g/L’ lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D3 – K1)

BOYANAN KUMAŞIN RENK DEĞERLERİ	L (Açıklık koyuluk)	a (Kırmızı Yeşil)	b (Sarı Mavi)	C (Renk Açısı)	H (Parlaklık)
Yıkama Suyu (Referans Renk)	54,24	-6,21	-24,45	25,23	55,76
Konsantre 1 (K1)	50,81	-6,72	-24,76	25,66	56,17

5.3.4. Membran Çıkışından 0,22 g/L 2. Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması (D3 – K2)

Alınan atıksu 1. kez membrandan geçirilerek konsantre çözeltide 0.17 g/L boya elde edilmiştir. Konsantre çözelti tekrar membrandan geçirilmiştir. Elde edilen çözelti tekrar metrohm cihazı ile ölçülmüştür. 2.kez konsantre çözeltide 0,22 g/L boya elde edilmiştir.

Hunterlab cihazı ile okutulan kumaşın açıklık-koyuluk değerine bakılmıştır. Yıkama suyu ile boyanan ve referans renk kabul edilen renk değerleri ile konsantre 2’de elde edilen çözelti ile boyanan kumaşın renk değerleri Tablo 5.6’da verilmiştir

Tablo 5.6. 2 g/L' lik çözeltinin yıkama suyunun 10 bar basınçta 2. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,22 g/L' lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D3 – K2)

BOYANAN KUMAŞIN RENK DEĞERLERİ	L (Açıklık koyuluk)	a (Kırmızı Yeşil)	b (Sarı Mavi)	C (Renk Açısı)	H (Parlaklık)
Yıkama Suyu (Referans Renk)	54,24	-6,21	-24,45	25,23	55,76
Konsantre 2 (K2)	48,73	-5,37	-26,5	27,05	57,03

5.4. 2 g/L İndigo Boya İçeren Çözelti Atıksuyunun 11 Bar Basıçtaki Membran Analizi (D4)

Ters osmoz membranı 11 bar olarak ayarlanmıştır. Alınan atıksu membrandan (TO) geçirilmiştir

5.4.1. Konsantre Çözeltinin 1. Kez Membrandan Geçirilmesi

2 g/L indigo boya içeren çözeltinin yıkama suyundan alınmıştır.

- 120 ml yıkama suyundan alınan atık su
- Yıkama suyundaki indigo boya miktarı 0.1 g/L
- 11 bar YBP basınç

Atıksu membrandan geçirilmiştir. Konsantre su ve temiz su elde edilmiştir. Konsantre çözeltide ne kadar indigo boya olduğunu ölçmek için metrohm cihazı ile ölçüm yapılmıştır. Metrohm cihazı ile ölçüm yapabilmek için, çözeltinin hangi değerde yükseltgendiğine bakılmıştır.

Metrohm cihazının ölçüm yapabilmesi için hidrosülfid ve kostik aşağıdaki miktarlarda ilave edilmiştir.

- 3 g/L hidrosülfid
- 3,5 ml kostik
- 1 L' ye tamamlanmıştır.

Metrohm da yapılan ölçüm sonucunda 0,16 g/L indigo boya olduğu görülmüştür. Elde edilen değerler Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7. 2 g/L çözeltinin yıkama suyundan 11 bar basınçta 1. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D4 – K1)

ÖLÇÜM SONUCUNDAKİ ÇÖZELTİ DEĞERLERİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	BİRİM
Hidro miktarı	1.62	g/L
İndigo boya miktarı	0.16	g/L
pH değeri	13.2	
Redox Potansiyeli	376	Mv

5.4.2. Konsantre Çözeltinin 2. Kez Membrandan Geçirilmesi

2 g/L indigo boya içeren çözelti ile yapılan boyamanın çözgü yıkama suyundan alınan numune sonucunda membrandan geçirilmiş elde edilen konsantre sudaki boya miktarı 0.16 g/L olduğu görülmüştür. 0.16 g/L olan konsantre su tekrar 11 bar basınçta membrandan geçirilmiştir. Arıtılmış su ile konsantre su tekrardan elde edilmiştir. Elde edilen 2.konsantredeki çözelti numunesinde ne kadar indigo boya olduğu metrohm cihazı ile ölçülmüştür.

Metrohm cihazının ölçüm yapabilmesi için hidrosülfid ve kostik aşağıdaki miktarlarda ilave edilmiştir.

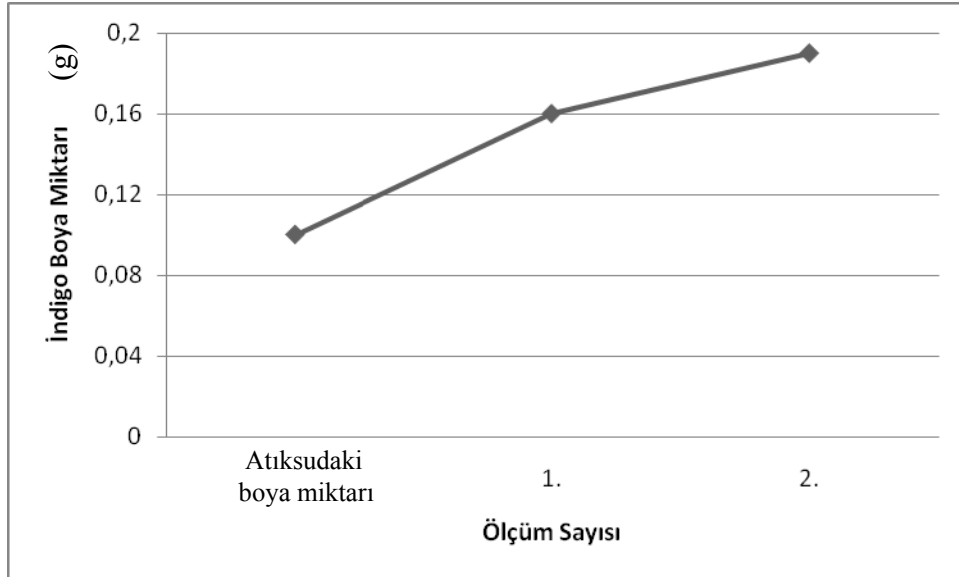
- 3 g/L hidrosülfid
- 3,5 ml kostik
- 1 L ye tamamlanmıştır.

Metrohm cihazı ile yapılan ölçüm sonucunda 0.19 g/L indigo boya olduğu görülmüştür. Çözeltideki boya miktarı Tablo 5.8’de görülmektedir.

Tablo 5.8. 2 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 11 bar basınçta 2. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D4 – K2)

ÖLÇÜM SONUCUNDAKİ ÇÖZELTİ DEĞERLERİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	BİRİM
Hidro miktarı	1.72	g/L
İndigo boya miktarı	0.19	g/L
pH değeri	12.7	
Redox Potansiyeli	462	Mv

Membrandan geçirilen yıkama suyundan elde edilen indigo boyalı konsantre su ile 2. kez geçirilen konsantre sudan elde edilen 1. ve 2. Konsantre suya ait grafik Şekil 5.5'te verilmiştir. Grafikte atıksudan elde edilen boya miktarlarının gram olarak miktarları mevcuttur.



Şekil 5.5. 2 g/L çözeltinin yıkama suyundan 11 bar basınçta 1. ve 2. kez konsantre edilen indigo boya miktarları (gram)

5.4.3. Membran Çıkışından 0,16 g/L Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması (D4 – K1)

Hunterlab cihazı ile okutulan kumaşın açıklık-koyuluk değerine bakılmıştır. Yıkama suyundan boyama yapılmıştır. Ardından konsantre olarak elde edilen çözeltiden boyama yapılarak boyanın kumaş üzerindeki rengi ne kadar etkilediği tespit edilmiştir.

Yıkama suyu ile boyanan ve referans renk kabul edilen renk değerleri ile konsantre 1' de elde edilen çözelti ile boyanan kumaşın renk değerleri Tablo 5.9 da verilmiştir.

Tablo 5.9. 2 g/L lik çözeltinin yıkama suyunun 11 bar basınçta 1. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,16 g/L lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D4 – K1)

BOYANAN KUMAŞIN RENK DEĞERLERİ	L (Açıklık koyuluk)	a (Kırmızı Yeşil)	b (Sarı Mavi)	C (Renk Açısı)	H (Parlaklık)
Yıkama Suyu (Referans Renk)	54,24	-6,21	-24,45	25,23	55,76
Konsantre 1(K1)	54,95	-6,72	-24,76	25,66	56,17

5.4.4. Membran Çıkışından 0,19 g/L 2. Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması (D4-K2)

Alınan atıksu 1. kez membrandan geçirilerek konsantre çözeltide 0.16 g/L boya elde edilmiştir. Konsantre çözelti tekrar membrandan geçirilmiştir. Elde edilen çözelti tekrar mehtrom cihazı ile ölçülmüştür. 2.kez konsantre çözeltide 0,19 g/L boya elde edilmiştir.

Hunterlab cihazı ile okutulan kumaşın açıklık-koyuluk değerine bakılmıştır. Yıkama suyu ile boyanan ve referans renk kabul edilen renk değerleri ile konsantre 2' de elde edilen çözelti ile boyanan kumaşın renk değerleri Tablo 5.10 da verilmiştir.

Tablo 5.10. 2 g/L lik çözeltinin yıkama suyunun 11 bar basınçta 2. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,19 g/L lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D4- K2)

BOYANAN KUMAŞIN RENK DEĞERLERİ	L (Açıklık koyuluk)	a (Kırmızı Yeşil)	b (Sarı Mavi)	C (Renk Açısı)	H (Parlaklık)
Yıkama Suyu (Referans Renk)	54,24	-6,21	-24,45	25,23	55,76
Konsantre 2 (K2)	50,06	-5,37	-26,5	27,05	57,03

5.5. 2 g/L İndigo Boya İçeren Çözelti Atıksuyunun 12 Bar Basıçtaki Membran Analizi (D5)

Ters ozmos değerleri 12 bar basınca ayarlanmıştır. Alınan atıksu membrandan geçirilmiştir.

5.5.1. Konsantre Çözeltinin 1. Kez Membrandan Geçirilmesi

2 g/L indigo boya içeren çözeltiden 14.000 metre uzunluğundaki çöğünün boyandığı prosesin 13.000 metresi boyandıktan sonra yıkama teknesinden atıksu numunesi alınmıştır. Deney için kullanılan değerler aşağıdaki gibidir.

- 120 ml yıkama suyundan alınan atık su
- Yıkama suyundaki indigo boya miktarı 0.1 g/L kabul edilmektedir.
- Ters ozmos 12 bar YBP basınç olarak ayarlanmıştır.

Atıksu membrandan geçirilmiştir. Konsantre su ve temiz su elde edilmiştir. Konsantre çözeltide ne kadar indigo boya olduğunu ölçmek için metrohm cihazı ile ölçüm yapılmıştır. Metrohm cihazı ile ölçüm yapabilmek için, çözeltinin hangi değerde yükseltgendiğine bakılmıştır.

Metrohm cihazının ölçüm yapabilmesi için hidrosülfid ve kostik aşağıdaki miktarlarda ilave edilmiştir.

- 3 g/L hidrosülfid
- 3,5 ml kostik

- 1 L' ye tamamlanmıştır.

Metrohm da yapılan ölçüm sonucunda 0,22 g/L indigo boya olduğu görülmüştür. Elde edilen değerler Tablo 5.11 de verilmiştir.

Tablo 5.11. 2 g/L çözeltinin yıkama suyundan 12 bar basınçta 1. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D5 – K1)

ÖLÇÜM SONUCUNDAKİ ÇÖZELTİ DEĞERLERİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	BİRİM
Hidro miktarı	1.86	g/L
İndigo boya miktarı	0.22	g/L
pH değeri	13.4	
Redox Potansiyeli	460	Mv

5.5.2. Konsantre Çözeltinin 2. Kez Membrandan Geçirilmesi

2 g/L indigo boya içeren çözelti ile yapılan boyamanın çözgü yıkama suyundan alınan numune sonucunda membrandan geçirilerek elde edilen konsantre sudaki boya miktarı 0.22 g/L olduğu görülmüştür. 0.22 g/L olan konsantre su tekrar 12 bar basınçta membrandan geçirilmiştir. Arıtılmış su ile konsantre su elde edilmiştir. Elde edilen 2.konsantre çözelti numunesinde ne kadar indigo boya olduğu metrohm cihazı ile ölçülmüştür.

Metrohm cihazının ölçüm yapabilmesi için hidrosülfite ve kostik ilave aşağıdaki miktarlarda ilave edilmiştir.

- 3 g/L hidrosülfite
- 3,5 ml kostik
- 1 L ye tamamlanmıştır.

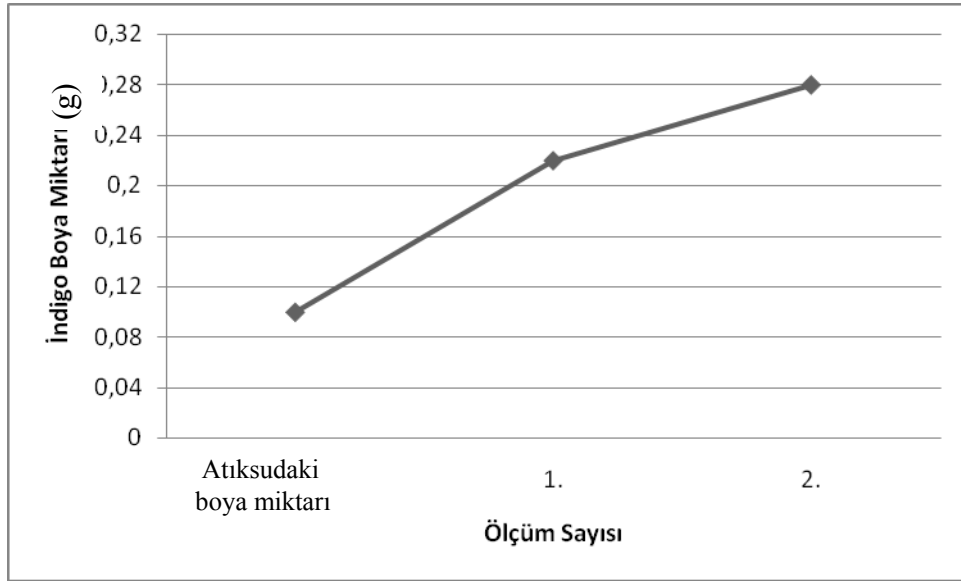
Metrohm cihazı ile yapılan ölçüm sonucunda 0.28 g/L indigo boya olduğu görülmüştür. 2 g/L indigo boya içeren çözeltinin yıkama suyunda ters ozmos membranı

kullanılarak 2 kez konsantre edilen çözeltide boya miktarı en fazla bu çalışmada tespit edilmiştir. Elde edilen değerler Tablo 5. 12 de görülmektedir.

Tablo 5.12. 2 g/L’lik çözeltinin yıkama suyundan 12 bar basınçta 2. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D5 – K2)

ÖLÇÜM SONUCUNDAKİ ÇÖZELTİ DEĞERLERİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	BİRİM
Hidro miktarı	1.85	g/L
İndigo boya miktarı	0.28	g/L
pH değeri	13,8	
Redox Potansiyeli	460	Mv

Membrandan geçirilen yıkama suyundan elde edilen indigo boyalı konsantre su ile 2 kez geçirilen konsantre sudan elde edilen 1. ve 2. konsantre suya ait grafik şekil 5.6’da verilmiştir. Bu grafikte atıksudaki boya miktarının membrandan geçirildikten sonraki artışı görülmektedir.



Şekil 5.6. 2 g/L çözeltinin yıkama suyundan 12 bar basınçta 1. ve 2. kez konsantre edilen indigo boya miktarları (gram)

5.5.3. Membran Çıkışından 0,22 g/L Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması

Hunterlab cihazı ile okutulan kumaşın açıklık-koyuluk değeri ölçülmüştür. Ardından konsantre olarak elde ettiğimiz çözeltiden boyama yapılarak boyanın kumaş üzerindeki rengi ne kadar etkilediği tespit edilmiştir.

Yıkama suyu ile boyanan ve referans renk kabul edilen renk değerleri ile konsantre l’de elde edilen çözelti ile boyanan kumaşın renk değerleri Tablo 5.13’te verilmiştir.

Tablo 5.13. 2 g/L' lik çözeltinin yıkama suyunun 12 bar basınçta 1. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,22 g/L' lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D5 – K1)

BOYANAN KUMAŞIN RENK DEĞERLERİ	L (Açıklık koyuluk)	a (Kırmızı Yeşil)	b (Sarı Mavi)	C (Renk Açısı)	H (Parlaklık)
Yıkama Suyu (Referans Renk)	54,24	-6,21	-24,45	25,23	55,76
Konsantre 1 (K1)	48,73	-5,37	-26,5	27,05	57,03

5.5.4. Membran Çıkışından 0,28 g/L 2. Kez Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması

Alınan atıksu 1. kez membrandan geçirilerek konsantre çözeltide 0.22 g/L boya elde edilmiştir. Konsantre çözelti tekrar membrandan geçirilmiştir. Elde edilen çözelti tekrar mehtrom cihazı ile ölçülmüştür. 2.kez konsantre çözeltide 0,28 g/L boya elde edilmiştir.

Yıkama suyu ile boyanan kumaş referans renk kabul edilmişti. 2. kez konsantre edilmiş çözelti ile boyanan renge ait hunterlab değerleri Tablo 5.14'te verilmiştir.

Tablo 5.14. 2 g/L lik çözeltinin yıkama suyunun 12 bar basınçta 2. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,28 g/L lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D5 –K2)

BOYANAN KUMAŞIN RENK DEĞERLERİ	L (Açıklık koyuluk)	a (Kırmızı Yeşil)	b (Sarı Mavi)	C (Renk Açısı)	H (Parlaklık)
Yıkama Suyu (Referans Renk)	54,24	-6,21	-24,45	25,23	55,76
Konsantre 2 (K2)	44,39	-4,48	-27,39	27,52	60,69

5.6. 3 g/L İndigo Boya İçeren Çözelti Atıksuyunun 10 Bar Basıttaki Membran Analizi (D6)

Ters ozmos değerleri 10 bar basınca ayarlanmıştır. Yıkama teknesinden alınan atıksu membrandan geçirilmiştir.

5.6.1. Konsantre Çözeltinin 1. Kez Membrandan Geçirilmesi

3 g/L indigo boya içeren çözeltiden 12.000 metre uzunluğundaki çözgünün boyandığı prosesin 10.000 metresi boyandıktan sonra yıkama teknesinden atıksu numunesi alınmıştır. Deney için kullanılan değerler aşağıdaki gibidir.

- 120 ml yıkama suyundan alınan atık su
- Yıkama suyundaki indigo boya miktarı 0.1 g/L
- Ters ozmos 10 bar YBP basınca ayarlanmıştır

Atıksu membrandan geçirilmiştir. Konsantre su ve temiz su elde edilmiştir. Konsantre çözeltide ne kadar indigo boya olduğunu ölçmek için metrohm cihazı ile ölçüm yapılmıştır. Metrohm cihazının ölçüm yapabilmesi için hidrosülfid ve kostik aşağıdaki miktarlarda ilave edilmiştir.

- 3 g/L hidrosülfid
- 3,5 ml kostik
- 1 L' ye tamamlanmıştır.

Metrohm da yapılan ölçüm sonucunda 0,22 g/L indigo boya olduğu Tablo 5.15'te görülmektedir.

Tablo 5.15. 3 g/L çözeltinin yıkama suyundan 10 bar basınçta 1. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D6 – K1)

ÖLÇÜM SONUCUNDAKİ ÇÖZELTİ DEĞERLERİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	BİRİM
Hidro miktarı	1.87	g/L
İndigo boya miktarı	0.22	g/L
pH değeri	13.7	
Redox Potansiyeli	480	Mv

5.6.2. Konsantre Çözeltinin 2. Kez Membrandan Geçirilmesi

3 g/L indigo boya içeren çözelti ile yapılan boyamanın çözgü yıkama suyundan alınan numune sonucunda membrandan geçirilmiş elde edilen konsantre sudaki boya miktarı 0.22 g/L olduğu görülmüştür. 0.22 g/L olan konsantre su tekrar 10 bar basınçta membrandan geçirilmiştir. Arıtılmış su ile konsantre su elde edilmiştir. Elde edilen konsantre 2 çözelti numunesinde ne kadar indigo boya olduğu metrohm cihazı ile ölçülmüştür.

Metrohm cihazının ölçüm yapabilmesi için hidrosülfite ve kostik aşağıdaki miktarlarda ilave edilmiştir..

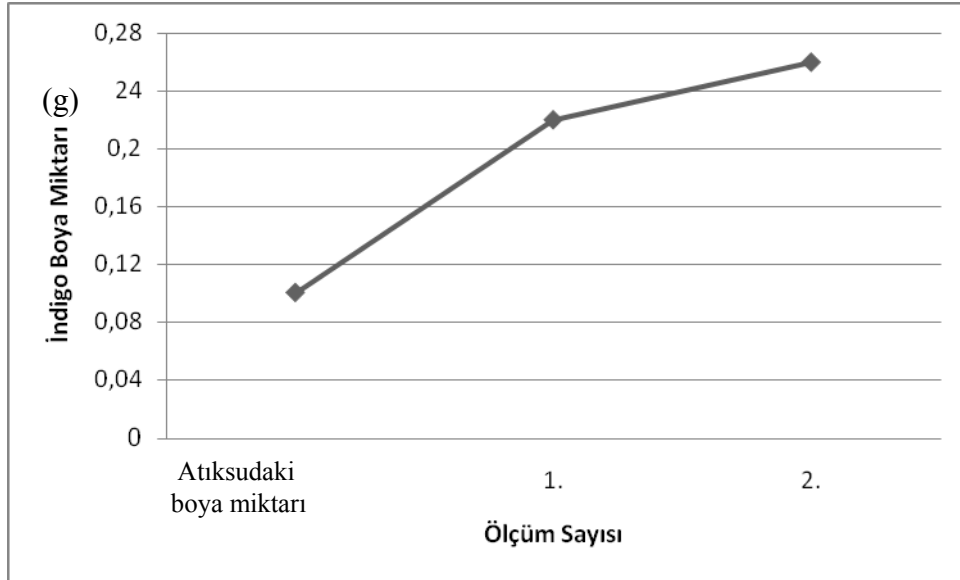
- 3 g/L hidrosülfite
- 3,5 ml kostik
- 1 L' ye tamamlanmıştır.

Metrohm cihazı ile yapılan ölçüm sonucunda 0.26 g/L indigo boya olduğu Tablo 5.16'da görülmektedir.

Tablo 5.16. 3 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 10 bar basınçta 2. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D6 – K2)

ÖLÇÜM SONUCUNDAKİ ÇÖZELTİ DEĞERLERİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	BİRİM
Hidro miktarı	1.94	g/L
İndigo boya miktarı	0.26	g/L
pH değeri	12,8	
Redox Potansiyeli	468	Mv

Membrandan geçirilen yıkama suyundan elde edilen indigo boyalı konsantre su ile 2 kez geçirilen konsantre sudan elde edilen 2. Konsantre suya ait grafik Şekil 5.7'de verilmiştir. Konsantre sudaki boya miktarındaki artış görülmektedir.



Şekil 5.7. 3 g/L çözeltinin yıkama suyundan 10 bar basınçta 1. ve 2. kez konsantre edilen indigo boya miktarları (gram)

5.6.3. Membran Çıkışından 0,22 g/L Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması

Hunterlab cihazı ile okutulan kumaşın açıklık-koyuluk değerine bakılmıştır. Ardından konsantre olarak elde edilen çözeltiden boyama yapılarak, boyanın kumaş üzerindeki rengi ne kadar etkilediği tespit edilmiştir.

Yıkama suyu ile boyanan kumaş referans renk olarak kabul edilmiştir. 0,22 g/L indigo boya içeren konsantre çözelti ile boyanan kumaşın hunterlab renk değerleri Tablo 5.17’de verilmiştir.

Tablo 5.17. 3 g/L lik çözeltinin yıkama suyunun 10 bar basınçta 1. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,22 g/L lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D6 – K1)

BOYANAN KUMAŞIN RENK DEĞERLERİ	L (Açıklık koyuluk)	a (Kırmızı Yeşil)	b (Sarı Mavi)	C (Renk Açısı)	H (Parlaklık)
Yıkama Suyu (Referans Renk)	54,24	-6,21	-24,45	25,23	255,76
Konsantre 1 (K1)	48,73	-5,37	-26,5	27,05	257,03

5.6.4. Membran Çıkışından 0,26 g/L 2. Kez Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması

Alınan atıksu 1. kez membrandan geçirilerek konsantre çözeltide 0.22 g/L boya elde edilmiştir. Konsantre çözelti tekrar membrandan geçirilmiştir. Elde edilen çözelti tekrar mehtrom cihazı ile ölçülmüştür. 2.kez konsantre çözeltide 0,26 g/L boya elde edilmiştir.

Yıkama suyu ile boyanan kumaş referans renk olarak kabul edilmiştir. 0,26 g/L indigo boya içeren konsantre çözelti ile boyanan kumaşın hunterlab renk değerleri Tablo 5.18’de verilmiştir.

Tablo 5.18. 3 gr/lik çözeltinin yıkama suyundan 10 bar basınçta 2. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,26 gr/lt lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D6 – K2)

BOYANAN KUMAŞIN RENK DEĞERLERİ	L (Açıklık koyuluk)	a (Kırmızı Yeşil)	b (Sarı Mavi)	C (Renk Açısı)	H (Parlaklık)
Yıkama Suyu (Referans Renk)	54,24	-6,21	-24,45	25,23	55,76
Konsantre 2	45,14	-4,71	-27,29	27,7	60,32

5.7. 3 g/L İndigo Boya İçeren Çözelti Atıksuyunun 11 Bar Basıçtaki Membran Analizi (D7)

Boya çözeltisi hazırlanırken en fazla 3 g/L indigo boya bulunan çözelti hazırlanmaktadır. Bu nedenle 3 g/L indigo boya bulunan çözeltilerle 11 bar basınçta membran çalışmaları devam etmiştir.

5.7.1. Konsantre Çözeltinin 1. Kez Membrandan Geçirilmesi

3 g/L indigo boya içeren çözeltinin geçtiği 12.000 metrelik çözü 10.000 metre geçtikten sonra yıkama teknesinden deney için atıksu alınmıştır.

- 120 ml yıkama suyundan alınan atık su
- Yıkama suyundaki indigo boya miktarı 0.1 g/L kabul edilmektedir.
- Ters ozmos 11 bar YBP basınca ayarlanmıştır

Atıksu membrandan geçirilmiştir. Konsantre su ve temiz su elde edilmiştir. Konsantre çözeltide ne kadar indigo boya olduğunu ölçmek için metrohm cihazı ile ölçüm yapılmıştır.

Metrohm cihazının ölçüm yapabilmesi için hidrosülfid ve kostik aşağıdaki miktarlarda ilave edilmiştir.

- 3 g/L hidrosülfid
- 3,5 ml kostik
- 1 lt ye tamamlanmıştır.

Metrohm da yapılan ölçüm sonucunda 0,24 g/L indigo boya olduğu görülmüştür.

Tablo 5.19. 3 g/L çözeltinin yıkama suyundan 11 bar basınçta 1. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D7 – K1)

ÖLÇÜM SONUCUNDAKİ ÇÖZELTİ DEĞERLERİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	BİRİM
Hidro miktarı	1.87	g/L
İndigo boya miktarı	0.24	g/L
pH değeri	13.7	
Redox Potansiyeli	480	Mv

5.7.2. Konsantre Çözeltinin 2. Kez Membrandan Geçirilmesi

3 g/L indigo boya içeren çözelti ile yapılan boyamanın çözgü yıkama suyundan alınan numune sonucunda membrandan geçirilmiş elde edilen konsantre sudaki boya miktarı 0.24 g/L olduğu görülmüştür. 0.24 g/L olan konsantre su tekrar 11 bar basınçta membrandan geçirilmiştir. Arıtılmış su ile konsantre su elde edilmiştir. Elde edilen konsantre 2 çözelti numunesinde ne kadar indigo boya olduğu metrhom cihazı ile ölçülmüştür.

Metrohm cihazının ölçüm yapabilmesi için hidrosülfid ve kostik aşağıdaki miktarlarda ilave edilmiştir.

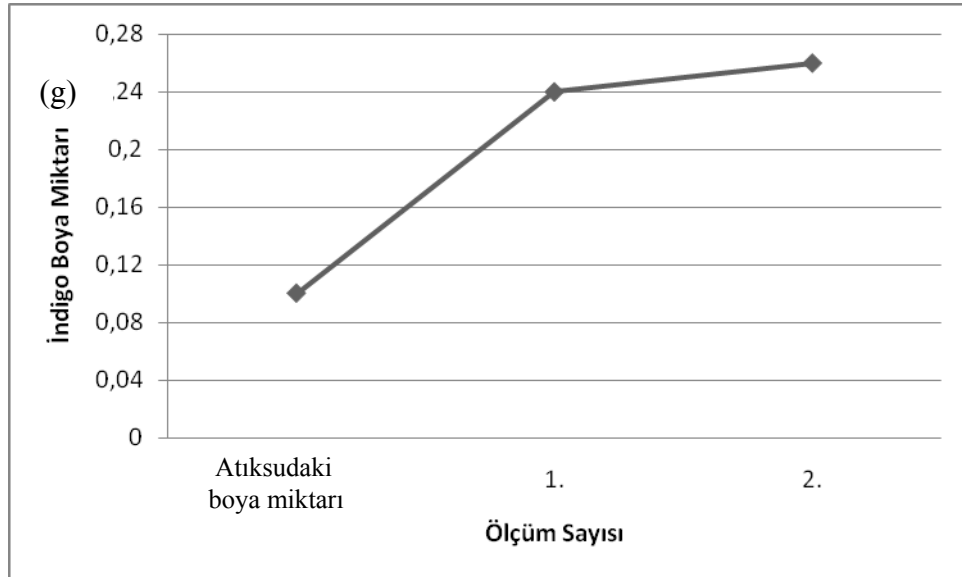
- 3 g/L hidrosülfid
- 3,5 ml kostik
- 1 L' ye tamamlanmıştır.

Metrohm cihazı ile yapılan ölçüm sonucunda 0.26 g/L indigo boya olduğu görülmüştür.

Tablo 5.20. 3 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 11 bar basınçta 2. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D7 – K2)

ÖLÇÜM SONUCUNDAKİ ÇÖZELTİ DEĞERLERİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	BİRİM
Hidro miktarı	1.94	g/L
İndigo boya miktarı	0.26	g/L
pH değeri	12,8	
Redox Potansiyeli	468	Mv

Membrandan geçirilen yıkama suyundan elde edilen indigo boyalı konsantre su ile 2 kez membrandan geçirilen konsantre sudan elde edilen indigo boya miktarları gram olarak grafik Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8. 3 g/L çözeltinin yıkama suyundan 11 bar basınçta 1. ve 2. kez konsantre edilen indigo boya miktarları (gram)

5.7.3. Membran Çıkışından 0,24 g/L Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması (D7 – K1)

Hunterlab cihazı ile okutulan kumaşın açıklık-koyuluk değerine bakılmıştır. Deneyimizde kullandığımız yıkama suyundan boyama yapılmıştır. Ardından konsantre olarak elde ettiğimiz çözeltiden boyama yapılarak boyanın kumaş üzerindeki rengi ne kadar etkilediği tespit edilmiştir.

Yıkama suyundan yapılan kumaş boyanın rengi referans renk olarak kabul edilmiştir. 0,24 g/L indigo boya içeren çözelti ile boyanan kumaş renk değerleri Tablo 5.21 de verilmiştir.

Tablo 5.21. 3 g/L lik çözeltinin yıkama suyunun 11 bar basınçta 1. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,24 g/L lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D7 – K1)

BOYANAN KUMAŞIN RENK DEĞERLERİ	L (Açıklık koyuluk)	a (Kırmızı Yeşil)	b (Sarı Mavi)	C (Renk Açısı)	H (Parlaklık)
Yıkama Suyu (Referans Renk)	54,24	-6,21	-24,45	25,23	55,76
Konsantre 1 (K1)	46,13	-5,02	-27,05	27,51	57,48

5.7.4. Membran Çıkışından 0,26 g/L 2. Kez Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması

Alınan atıksu 1. kez membrandan geçirilerek konsantre çözeltide 0.22 g/L boya elde edilmiştir. Daha yoğun boya elde edilmesi amaçlanmıştır ve konsantre çözelti tekrar membrandan geçirilmiştir. Elde edilen çözeltideki indigo boya miktarını belirlemek için mehtrom cihazı ile ölçülmüştür. 2.kez konsantre olan çözeltide 0,26 g/L boya elde edilmiştir.

Yıkama suyu ile boyanan kumaş referans renk olarak kabul edilmiştir. 0,26 g/L indigo boya içeren konsantre çözelti ile boyanan kumaşın hunterlab renk değerleri Tablo 5.22’de verilmiştir.

Tablo 5.22. 3 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 11 bar basınçta 2. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,26 g/L lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D7 – K2)

BOYANAN KUMAŞIN RENK DEĞERLERİ	L (Açıklık koyuluk)	a (Kırmızı Yeşil)	b (Sarı Mavi)	C (Renk Açısı)	H (Parlaklık)
Yıkama Suyu (Referans Renk)	54,24	-6,21	-24,45	25,23	55,76
Konsantre 2 (K2)	45,14	-4,71	-27,29	27,7	60,32

5.8. 3 g/L İndigo Boya İçeren Çözelti Atıksuyunun 12 Bar Basıçtaki Membran Analizi (D8)

Boya çözeltisi hazırlanırken en fazla 3 g/L indigo boya bulunan çözelti hazırlanmaktadır. Bu nedenle 3 g/L indigo boya bulunan çözeltiyle 12 bar basınçta membran çalışmaları devam etmiştir.

5.8.1. Konsantre Çözeltinin 1. Kez Membrandan Geçirilmesi

3 g/L indigo boya içeren çözeltiden 12.000 metrelik çözgünün 10.000 metresi boyandıktan sonra yıkama suyu alınmıştır.

- 120 ml yıkama suyundan alınan atık su
- Yıkama suyundaki indigo boya miktarı 0.1 g/L kabul edilmektedir.
- ters ozmos 12 bar YBP basınca ayarlanmıştır

Atıksu membrandan geçirilmiştir. Elde edilen konsantre suda ne kadar boya olduğu metrohm cihazı ile ölçülmüştür.

Metrohm cihazının ölçüm yapabilmesi için hidrosülfid ve kostik aşağıdaki miktarlarda ilave edilmektedir.

- 3 g/L hidrosülfid
- 3,5 ml kostik
- 1 lt ye tamamlanmıştır.

Metrohm da yapılan ölçüm sonucunda 0,28 g/L indigo boya olduğu görülmüştür. Elde edilen değerler Tablo 5.23'te verilmiştir.

Tablo 5.23. 3 g/L çözeltinin yıkama suyundan 12 bar basınçta 1. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D8 – K1)

ÖLÇÜM SONUCUNDAKİ ÇÖZELTİ DEĞERLERİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	BİRİM
Hidro miktarı	1.62	g/L
İndigo boya miktarı	0.28	g/L
pH değeri	13.2	
Redox Potansiyeli	246	Mv

5.8.2. Konsantre Çözeltinin 2. Kez Membrandan Geçirilmesi

3 g/L indigo boya içeren çözelti ile yapılan boyamanın çözgü yıkama suyundan alınan numune sonucunda membrandan geçirilmiş elde edilen konsantre sudaki boya miktarı 0.28 g/L olduğu görülmüştür. 0.28 g/L olan konsantre su tekrar 11 bar basınçta membrandan geçirilmiştir. Arıtılmış su ile konsantre su elde edilmiştir. Elde edilen konsantre 2 çözelti numunesinde ne kadar indigo boya olduğu metrohm cihazı ile ölçülmüştür.

Metrohm cihazının ölçüm yapabilmesi için hidrosülfite ve kostik ilave edilmektedir.

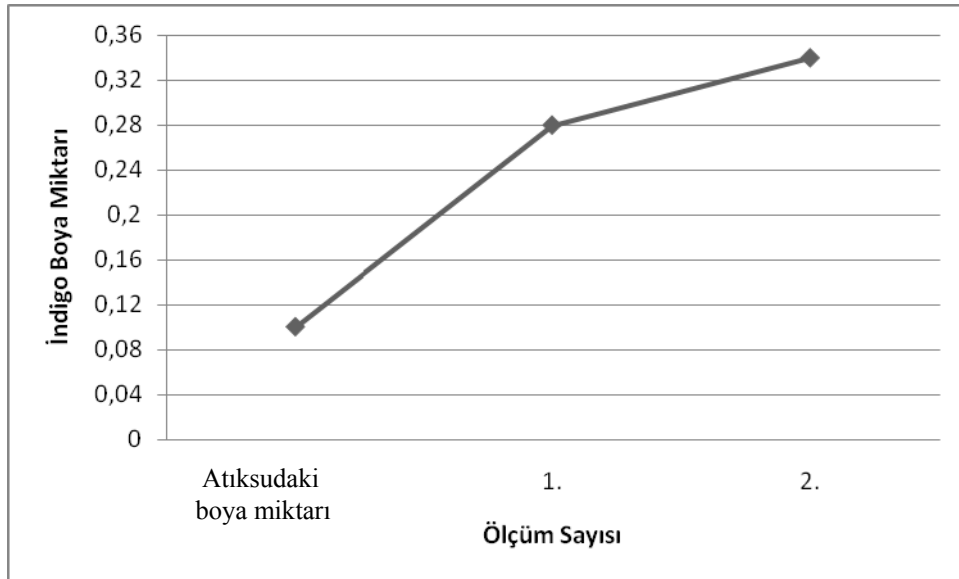
- 3 g/L hidrosülfite
- 3,5 ml kostik
- 1 L' ye tamamlanmıştır.

Metrohm cihazı ile yapılan ölçüm sonucunda 0.34 g/L indigo boya olduğu görülmüştür.

Tablo 5.24. 3 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 12 bar basınçta 2. kez konsantre edilen çözelti değerleri (D8 – K2)

ÖLÇÜM SONUCUNDAKİ ÇÖZELTİ DEĞERLERİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	BİRİM
Hidro miktarı	1.98	g/L
İndigo boya miktarı	0.34	g/L
pH değeri	13,8	
Redox Potansiyeli	194	Mv

Membrandan geçirilen yıkama suyundan elde edilen indigo boyalı konsantre su ile 2 kez membrandan geçirilen konsantre sulara ait boya miktarlarına ait grafik Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. 3 g/L çözeltinin yıkama suyundan 12 bar basınçta 1. ve 2. kez konsantre edilen indigo boya miktarları (gram)

5.8.3. Membran Çıkışından 0,28 g/L Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması

Hunterlab cihazı ile okutulan kumaşın açıklık-koyuluk değerine bakılmıştır. Deneyimizde kullandığımız yıkama suyundan boyama yapılmıştır. Ardından konsantre olarak elde ettiğimiz çözeltiden boyama yapılarak boyanın kumaş üzerindeki rengi ne kadar etkilediği tespit edilmiştir.

Yıkama suyu ile yapılan kumaş boyama işlemi referans renk kabul edilmiştir. 0,28 g/L indigo boya içeren çözelti ile boyanan kumaşın renk değerleri Tablo 5.25'te görülmektedir.

Tablo 5.25. 3 g/L lik çözeltinin yıkama suyunun 12 bar basınçta 1. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,28 g/L lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D8 – K1)

BOYANAN KUMAŞIN RENK DEĞERLERİ	L (Açıklık koyuluk)	a (Kırmızı Yeşil)	b (Sarı Mavi)	C (Renk Açısı)	H (Parlaklık)
Yıkama Suyu (Referans Renk)	54,24	-6,21	-24,45	25,23	55,76
Konsantre 1 (K1)	44,39	-4,48	-27,39	27,52	60,69

5.8.4. Membran Çıkışından 0,34 g/L 2. Kez Konsantre Çözeltiden Yapılan Kumaş Boyama Çalışması

Alınan atıksu 1. kez membrandan geçirilerek konsantre çözeltide 0.28 g/L boya elde edilmiştir. Konsantre çözelti tekrar membrandan geçirilmiştir. Elde edilen çözelti tekrar mehtrom cihazı ile ölçülmüştür. 2.kez konsantre çözeltide 0,34 g/L boya elde edilmiştir.

Yıkama suyu ile yapılan kumaş boyama işlemi referans renk kabul edilmiştir. 0,34 g/L indigo boya içeren çözelti ile boyanan kumaşın renk değerleri Tablo 5.26'da görülmektedir.

Tablo 5.26. 3 g/L'lik çözeltinin yıkama suyundan 12 bar basınçta 2. kez membrandan geçirilerek elde edilen 0,34 g/L' lik çözelti ile yapılan boyama değerleri (D8 – K2)

BOYANAN KUMAŞIN RENK DEĞERLERİ	L (Açıklık koyuluk)	a (Kırmızı Yeşil)	b (Sarı Mavi)	C (Renk Açısı)	H (Parlaklık)
Yıkama Suyu (Refrans Renk)	54,24	-6,21	-24,45	25,23	55,76
Konsantre 2 (K2)	39,83	-3,29	-27,45	27,65	59,18

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İndigo boya indirgenerek elyafa nüfuz eden bir boyadır. Bu nedenle toz halindeki indigo hidrosülfite ve kostik ile indirgenerek elyafla reaksiyona girer. Tekrar oksijenle yükseltgenip, bağ kurma işlemi tamamlanır. İndigo boya maddesi indirgenip, tekrar yükseltgenme işlemine maruz kaldıktan sonra aynı özellikleri gösterdiği Deney 1’de ispatlanmıştır. Bu nedenle diğer deneylerde membran kullanılarak atıksu olan yıkama suyundan konsantre halde indirgenmiş boyayı geri kazanarak, boyama yaparken zaten indirgen halde kullanılan indigo boya, elde edilen konsantrasyonda indirgen halde, boyama işlemine uygun durumdadır.

Bu çalışmada, denim iplik üretiminde kullanılan indigo boya ile boyanmış çözgü ipliklerinin proses gereği son aşamada yıkanarak atıksu oluşturmaktadır. Yıkanan çözgü iplikleri üzerindeki boyanın bir kısmını yıkama suyuna bırakır.

Yıkama suyuna ait analiz değerleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. İndigo boya yıkama suyuna ait analiz sonuçları

Ölçülen Analiz	Analiz sonucu
Sıcaklık °C	19,1
Askıda Katı Madde (AKM) (mg/l)	53
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/l)	621
Sülfat (mg/l)	1777
Sülfür (mg/l)	0,18
Sülfite (mg/l)	4,13
Klorür (mg/l)	1550
Renk (Pt-Co)	92
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/l)	174
Toplam Çözünmüş Madde (mg/l)	6485
Toplam katı Madde (mg/l)	6976
Sabit ve Uçucu Madde (mg/l)	132/118
Alkalinite (mg/l)	1265
pH	11,07

Tablo 6.1’deki değerlere sahip yıkama suyu alınmıştır. Yapılan çalışmalarda 10 atm, 11 atm ve 12 atm basınçlar kullanılmıştır. Bu basınç değerlerinde 2 farklı yıkama suyu kullanılmıştır. Çözelti değeri 2 g/L indigo boya içeren reçeteye ait yıkama suyu ile 3 g/L indigo boya içeren reçeteye ait yıkama suyu ile deneyler yapılmıştır. En fazla 2 kez membrandan geçirilebilmiştir. Bu nedenle alınan her numuneden 2 kez membran geçişi yapılmış, konsantre çözeltiler elde edilmiştir. Bu çözeltiler ile küçük kumaşlara boyamalar yapılmıştır. Yıkama suyu direk alınarak yapılan kumaş boyama referans kabul edilmiştir. Diğer konsantre boyamalar referans boyamaya göre % kaç oranında boyama değerinin arttırdığı ölçülmüştür.

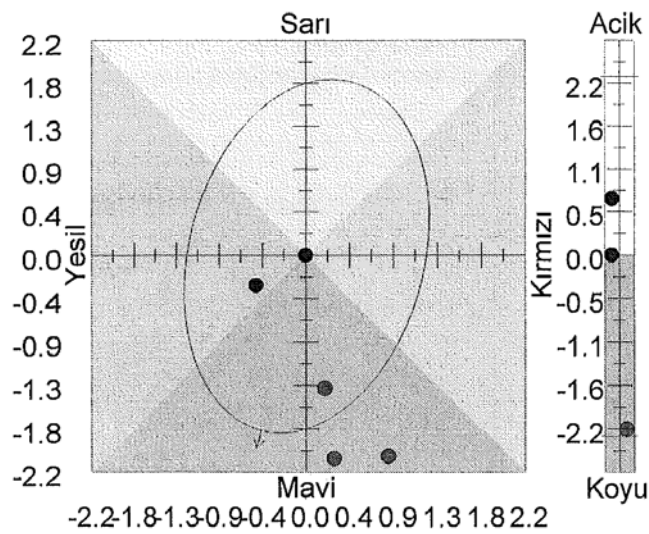
Tablo 6.2’de okutulan DL değerlerinde de görüldüğü gibi “- eksi” çıkması rengin koyuya gittiğini göstermektedir. Elde edilen konsantre çözeltilerdeki boya miktarlarına göre kumaştaki koyuluk orantılı bir şekilde artmaktadır. Bu da boyanın kumaş üzerindeki bağ kurma özelliğini yitirmediği, boyama işlemini doğru bir şekilde gerçekleştirdiği görülmektedir.

Db değerinin “- eksi” olması ile rengin mavide olduğu, boya miktarı arttıkça orantılı bir şekilde maviliğin de arttığı Tablo 6.2’de görülmektedir.

Tablo 6.1’de spectro cihazı (hunterlab) ile okutulan değerlerin tamamı mevcuttur. Buradan da anlaşıldığı gibi elde edilen konsantre ile yapılan boyamalar olumlu sonuç vermiştir.

Tablo 6.2. Konsantre çözelti ile yapılan boyama değerleri

Çözelti (Konsantre)	Boya miktarı (g/L)	DL (-) koyuda	Da yeşilde	Db mavide	DC Daha mat
(D4-K1)	0,16	-0,71	-0,51	-0,31	0,43
(D3-K1)	0,17	-3,43	0,29	-2,08	1,95
(D4-K2)	0,19	-4,18	0,40	-2,36	1,78
(D3-K2)	0,22	-5,51	0,84	-2,48	1,82
(D5-K1)					
(D6-K1)					
(D7-K1)	0,24	-8,11	1,19	-2,60	2,28
(D6-K2)	0,26	-9,10	1,50	-2,84	2,47
(D7-K2)					
(D5-K2)	0,28	-9,85	1,73	-2,94	2,53
(D8-K1)					
(D8-K2)	0,34	-14,41	2,92	-3,00	2,42



Şekil 6.1. Kumaş boyama değerlerinin grafik olarak görünümü

D1; İndirgenen indigo boyanın, indigo boya makinesinin silindirlerinde tekrar yükseltgenerek tortu oluşturan toz boya ile analiz yapılmıştır. Boyanın tekrar kazanıldığında indigo boya özelliği taşıdığı ispatlanmıştır.

D2; 2 g/L indigo boya içerikli çözeltinin yıkama suyu alınmıştır. Metrohm cihazı ile ölçüm yapılarak referans alınacak atıksu miktarındaki boya miktarı ölçülmüştür. Boya miktarı 0,1 g/L'den küçük olduğundan metrohm cihazı cevap vermemiştir. Bu nedenle tüm değerlerde yıkama suyundaki boya miktarı 0,1 g/L kabul edilmiştir.

D3; 2 g/L indigo boya içeren çözeltiden geçen çözgü iplikleri proses sonundaki yıkama suyundan elde edilen 10 bar basınçta, 1. kez membran geçişinde 0,17 g/L boya elde edilmiştir. Konsantre su tekrar membrandan geçirilmiştir. Elde edilen 2. konsantre çözeltideki boya miktarı 0,22 g/L olarak ölçülmüştür.

Yıkama suyu ile kumaş numunesi boyanarak referans kabul edilmiştir. Yıkama suyuna ait L (açıklık koyuluk) değeri 54,24 olarak ölçülmüştür. Bu değer üstü açık, alt değeri koyu renktir.

0,17 g/L boya içeren çözelti ile boyanan numune kumaş spektro cihazında ölçüldüğünde L (açıklık – koyuluk) değeri 50,81 olarak okunmuştur. Bu da referans renge göre, % 6,81 oranında renkte koyuluk olduğu görülmektedir.

0,22 g/L boya içeren çözelti ile boyanan numune kumaş spektro cihazında ölçüldüğünde L (açıklık – koyuluk) değeri 48,73 olarak okunmuştur. Bu da referans renge göre, %10 oranında renkte koyuluk olduğu görülmektedir.

D4; 2 g/L indigo boya içeren çözeltiden geçen çözgü iplikleri proses sonundaki yıkama suyundan elde edilen 11 bar basınçta, 1. kez membran geçişinde 0,16 g/L boya elde edilmiştir. Elde edilen 2. konsantre çözeltideki boya miktarı 0,19 g/L'dir. Yıkama suyuna ait L (açıklık koyuluk) değeri 54,24 olarak ölçülmüştür.

0,16 g/L boya içeren çözelti ile boyanan numune kumaş spektro cihazında ölçüldüğünde L (açıklık – koyuluk) değeri 53,53 olarak okunmuştur. Bu da referans renge göre, % 1,3 oranında renkte koyuluk olduğu görülmektedir. 0,19 g/L boya içeren çözelti ile boyanan numune kumaş spektro cihazında ölçüldüğünde L (açıklık – koyuluk) değeri 50,06 olarak okunmuştur. Bu da referans renge göre, % 7,7 oranında renkte koyuluk olduğu görülmektedir.

D5; 2 g/L indigo boya içeren yıkama suyu 12 bar basınçta, 1. kez membran geçişinde 0,22 g/L boya elde edilmiştir. 2. konsantre çözeltideki boya miktarı 0,28 g/L gelmiştir.

0,22 g/L boya içeren çözelti ile boyanan numune kumaş spektro cihazında ölçüldüğünde L (açıklık – koyuluk) değeri 48,73 olarak okunmuştur. Bu da referans renge göre, % 10,15 oranında renkte koyu olduğunu göstermektedir. 0,28 g/L boya içeren çözeltinin L (açıklık – koyuluk) değeri 44,39 dur. Bu da referans renge göre, % 18,16 oranında rengin koyu olduğunu göstermektedir.

D6; 3 g/L indigo boya içeren çözeltiden geçen çözgü iplikleri proses sonundaki yıkama suyundan elde edilen 10 bar basınçta, 1. kez membran geçişinde 0,22 g/L boya elde edilmiştir. 2. konsantre çözeltideki boya miktarı 0,26 g/L olarak ölçülmüştür.

Referans renk kabul edilen yıkama suyuna ait L (açıklık koyuluk) değeri 54, 24 dür. Bu değer in üstü açık, alt değeri koyu renktir.

0,22 g/L boya içeren çözelti ile boyanan numune kumaş spektro cihazında ölçüldüğünde L (açıklık – koyuluk) değeri 48,73 gelmiştir. Referans renge göre, % 10,15 oranında koyudur. 0,26 g/L boya içeren çözelti L (açıklık – koyuluk) değeri 45,14 olarak okunmuştur. Bu da referans renge göre, % 16,78 oranında renkte koyudur.

D7; 3 g/L indigo boya içeren çözelti 11 bar basınçta, 1. kez membran geçişinde 0,24 g/L , 2. konsantre çözeltideki boya miktarı 0,26 g/L olarak ölçülmüştür.

Yıkama suyuna ait L (açıklık koyuluk) değeri 54, 24' e göre; 0,24 g/L boya içeren çözelti ile boyanan numune kumaşın değeri 46,13'dür. Bu da referans renge göre, % 14,95 oranında renkte koyuluk olduğunu göstermektedir. 0,26 g/L boya içeren çözelti ile boyanan numune kumaşın değeri 45,14 olarak okunmuştur. Bu da referans rengimize göre, % 16,78 oranında renkte koyuluk olduğunu göstermektedir.

D8; 3 g/L indigo boya içeren çözeltiden geçen çözgü iplikleri proses sonundaki yıkama suyundan elde edilen 12 bar basınçta, 1. kez membran geçişinde 0,28 g/L boya elde edilmiştir. 2. konsantre çözeltideki boya miktarı 0,34 g/L olarak ölçülmüştür. Yapılan deneylerde en yüksek verim 12 bar basınca aittir.

0,28 g/L boya içeren çözelti ile boyanan numune kumaş spektro cihazında ölçüldüğünde L (açıklık – koyuluk) değeri 44,39' dir. Bu da referans renge göre, % 18,16 oranında rengin koyu olduğunu göstermektedir.

0,34 g/L boya içeren çözelti ile boyanan numune kumaş spektro cihazında ölçüldüğünde L (açıklık – koyuluk) değeri 39,83 olarak okunmuştur. Buna göre, % 26,56 oranında renkte koyuluk olduğu görülmektedir.

Deney yaptığımız işletmede boyama için hazırlanan reçetelerin 2 g/L ve 3 g/L ye göre hazırlandığı için, deneylerde de bu 2 çözelti örneğinden numuneler alınmıştır. Litre

başına düşen boya miktarı düşük olduğundan, yıkama suyundaki boya miktarıda düşük çıkmıştır. Ancak yıkama suyundaki boya miktarı ölçülüp, referans kabul edildiğinden yaptığımız çalışmanın başarısı ortaya çıkmıştır.

Deneyler, 10, 11 ve 12 atm basınçlarda geçirilmiştir. Buna göre 12 atm basınçta yapılan deneylerde daha fazla randıman alınmıştır.

Ayrıca kazanılan su ve boya miktarı hesaplanabilmektedir. Boyanan iplikler (çözgüler) boyandıktan sonra yıkama teknelerinden geçmektedir. Yıkama teknelerinde boya ile kirlenen su, atıksu niteliğinde olup, atıksu kanalına verilmektedir. Bir makinede; Saatte 6.000 L/sa atıksu oluşmaktadır. 1 makine için günde ortalama 18 saat çalıştığı hesaplanırsa;

$$1 \text{ günde } 6.000 \times 18 = 108.000 \text{ L/gün atıksu}$$

$$1 \text{ ayda } 108.000 \times 30 = 3.240.000 \text{ L/ay} = 3.240 \text{ ton/ay atıksudur.}$$

$$3 \text{ makine için; } 3.240 \times 3 = 9.720 \text{ ton/ay yıkama atıksuyu oluşmaktadır.}$$

Sürekli sirkülasyon halinde olan yıkama atıksularında kalan boya miktarı ölçüldüğünde 0,1 g/L gelmektedir. (0,1 g/L çözeltisi 2-3 g/L olan boyamalar için ortalama değerdir)

$$3 \text{ makine için } 9.720 \text{ ton/ay yıkama atıksuyundaki boya elde edilirse;}$$

$$3 \text{ makine için } 9.720 \times 0,1 = 972 \text{ kg/ay boya kazanılmış olacaktır.}$$

Boyanın kilogramı 6,24 dolardır. (2013 yıl sonu değeri)

$$\text{Geri kazanılan boyadan elde edilen kazanç : } 972 \times 6,24 = 6.065 \text{ dolar /ay}$$

Membran kullanarak konsantre hale getirip elde edilecek yıkama sularında % 40'ının konsantre boya halinde kazanılacağı hesaplanırsa, geri kalan %60'lık su ise arıtılmış su olarak kazanılacaktır.

3 makine için 9.720 ton/ay atıksuyun %40'ı konsantre boya olmaktadır. Buna göre, geri kazanılacak konsantre su: $9.720 \times \%40 = 3.888 \text{ ton/ay konsantre su, elde edilecektir.}$ Toplam atıksudan kazanılan konsantre suyu çıkarırsak geri kalan su ise arıtılmış su olacaktır.

$$\text{Arıtılmış su miktarı : } 9.720 - 3.888 = 5.832 \text{ ton/ay arıtılmış su elde edilecektir.}$$

Yapılan çalışmalar laboratuvar ölçekli TO membran ile yapılmıştır ve çalışmalar boyunca membran tıkanıklıkları, cihazın arızaları çalışmayı olumsuz olarak etkilemiştir. Farklı membranlar ile yapılacak çalışmada daha verimli sonuçlar alınabilir. Günümüzde su kaynaklarının azalması düşünüldüğünde, işletmeler bu tür bir çalışma ile atıksularını hem arıtmış hemde elde edilen konsantre ile boyama yapma imkanı kazanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Acarbabacan, Ş.**, 2002. Reaktif boyarmaddeleri içeren atıksuların fenton prosesi ile renk giderimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akbari A., Remigy J.C., Aptel P.** 2002 “Treatment of textile dye effluent using a polyamidbased nanofiltration membrane” Chemical Engineering and Processing, 41.
- Baburşah, S., Çakmakçı, M. ve Kınacı, C.**, 2004. Tekstil atıksularının geri kazanımı ve yeniden kullanılmasının maliyet analizi, *İTÜ 9. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu*, 2-4 Haziran, 303-311.
- Barlas, H.**, 1999. Endüstriyel atıksular için renk parametresi önerisi, *Türkiye’ de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III*, 14-15 Ekim Tübitak Gebze YTE., 576-585.
- Barlas, H.**, 2002. “Suların arıtımında ileri teknolojiler” ders notları, İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul.
- BES-PIA A., Mendoza J.A., Alcaina-Miranda M.I., Iborra-Clar A. And Iborra-Clar M. I.**, 2002. Reuse of wastewater of the textile industry after its treatment with a combination of physico-chemical treatment and membrane technologies, *Desalination*, 149, 169-174.
- BES-PIA., Iborra-Clar M. I., Iborra-Clar A., Mendoza-Roca J.A., Cuartas-Uribe B. and Alcaina-Miranda M.I.**, 2005. Nanofiltration of textile industry wastewater using a physicochemical process as a pre-treatment, *Desalination*, 178, 343-349.
- Ciardelli G., Corsi L. And Marcucci M.**, 2000. Membrane separation for wastewater reuse in the textile industry, *Resources, Conservation and Recycling*, 31, 189-197
- Çapar, G., Yetiş, Ü. ve Yılmaz., L.**, 2004. Halı boyama atıksularının membran prosesleri ile arıtımı, *İTÜ 9. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu*, 2-4 Haziran, 171-178
- Çokgör, E.U., Alaton, İ.D., Saruhan, H., Karahan, Ö. ve Orhon., D.**, 2006. Sentetik penisilin formülasyon atıksularının biyolojik arıtılabilirliği üzerine

ozonlama etkisi, *Türkiyede Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu V*, GYTÜ Çevre Müh. Bölümü, 11-12 Mayıs, 25-31.

Desalination, 143, 11-20.

Fersi C., Gzara L. and Dhahbi M., 2005. Treatment of textile effluents by membrane technologies, *Desalination*, 185, 399-409.

Gap Güneydoğu Tekstil Talimatları (2006)., İndigo Boya Bölüm Dokümanları.

Kang, S.F. and Chang, H.M. 1997. Coagulation of Textile Secondary Effluents With Fenton's Reagent, *Water Science and Technology*, 36(12).

Kapdan I.K., Kargi F. 2000. "Simultaneous biodegradation and adsorption of textile Dyestuff in an activated sludge unit" *Process Biochem.*

Karcher, S. Kornmüller, A. and Jekel, M. 1999. Removal of Reactive Dyes By Sorption/Complexation With Cucurbituril, *Water Science and Technology*, 40(4-5).

Kaya, Y. ve Barlas, H., 2003. Kimya endüstrisinde atık yönetimi amaçlı membran uygulamaları, *XVII. Ulusal Kimya Kongresi*, 8 -11 Eylül, İstanbul, 386

Kocaer O. ve Alkan U. 2002. "Boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri" *Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 7, Sayı 1.

Koyuncu İ., Kural E., Topacık D., 2001. "Pilot scale nanofiltration membrane separation for waste management in textile industry" *Water Sci. and Tech.*, 43 (10), 233-240.

Koyuncu, İ. ve Topacık, D., 2002. Tekstil endüstrisi reaktif boya banyosu atıksularından nanofiltrasyon membranları ile tuz ve su geri kazanımı, *İTÜ 8. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, 18-20 Eylül, 173-182.

Koyuncu, İ., 1997. Membran teknolojisinin çevre mühendisliğinde kullanım potansiyeli ve ters ozmos ile amonyum iyonu giderimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Koyuncu, İ., 2001. Nanofiltrasyon membranları ile tuz gideriminde organik iyon etkisi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Kural, E.,** 2000. Tekstil boyahane atıksularının nanofiltrasyon membranları ile geri kazanımı ve renk giderimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Machenbach, I.** 1998. “Membrane Technology for Dyehouse Effluent Treatment”, Membrane Technology, 96, 7- 11.
- Mulder M.,** 1996. “Basic Principles of membrane Technology” Second Edition, Kluwer Academic Publishers, Netherlands. Tchobanoglous, G. and Stensel, H. D., 2003. Membrane Filtration Processes in Wastewater Engineering: Treatment and Reuse/ Metcalf&Eddy, pp. 1104- 1136, The McGraw-Hill Inc., New York
- Naumczyk, J. Szyprkiewicz, L. and Zilio-Grandi, F.** 1996. Electrochemical Treatment of Textile Wastewaters, Water Science and Technology, 34(11).
- Nigam, P., Banat, İ. M., Singh, D. and Marchant, R.** 1996. Microbial Process for the Decolorization of Textile Effluent Containing Azo, Diazo and Reactive Dyes, Process Biochemistry, 31(5).
- Oneill, C., Lopez, A.,Esteves, S., Hawkes, F. R., Hawkes, D.L. and Wilcox, S.** 2000. “Azo Dye Degredation in an Anaerobic-Aerobic Treatment System Operating on Simulated Textile Effluent”, Applied Microbiology and Biotechnology 53
- Pala, A.,** 1998. Tekstil atıksularının istatistiksel karakterizasyonu ve kaynakta renk giderim çalışmaları, *İTÜ. 6. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, 3-5 Haziran 1998 İstanbul.
- Palma, C. Moreira, M.T. Mielgo, I. Feijoo, G. and Lema, J. M.** 1999. Use of Fungal Bioreactor As a Pretreatment or Post Treatment Step For Continuous Decolorisation of Dyes, Water Science and Technology, 40(8).
- Pelegri, R., Zamora, P.P., Andrade, A.R., Reyes, J. and Duran, N.** 1999. Electrochemically Assisted Photocatalytic Degredation of Reactive Dyes, Applied Catalysis B: Environmental, 22, 83-90.
- Performance of Methanogenic Granules” Water Res., 29.
- Perkins, W.S., Walsh, W.K., Reed I.E. and Namboodri, C.G.** 1995 A Demonstration of Reuse of Spent Dyebath Water Following Color Removal with Ozone, Textile Chemist and Colorist, 28(1).

- Robinson, T. McMullan, G. Marchant, R. and Nigam, P.** 2001. "Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies With a Proposed Alternative", *Bioresource Technology* 77.
- Rozzi A., Malpei F., Bonomo L. And Bianchi R.** (1999). "Textile wastewater reuse in Northern Italy (Como)" *Wat. Sci. Tech.*
- Selçuk, H.** 1997. "Tekstil Atıksularında Kimyasal Yöntemlerle Renk Giderilmesi", İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi .
- Sewekow, U.** 1993. Treatment of Reactive Dye Effluents with Hydrogen Peroxide/Iron(II) Sulphate, *Melliand Textilberichte*, 74.
- Slokar, Y. M. and Marechal, A. M.,** 1998. Methods of Decoloration of Textile Wastewaters, Dyes and Pigments.
- Socha, K.** 1991. Treatment of Textile Effluents, *Textile Month*, 12, 52-56.
- Sponza D., Şık M., Atalay H.** 2000. "İndigo boyar maddelerinin anaerobik arıtılabilirliklerinin incelenmesi", DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Mühendislik Dergisi, Cilt: 2
- Şengül, F.,** 1991. Endüstriyel atıksuların özellikleri ve arıtılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları, İzmir, 975-441-030-5.
- Tang C. ve Chen V.** 2002. "Nanofiltration of textile wastewater for water reuse"
- Tchobanoglous, G. and Stensel, H. D.,** 2003. Membrane Filtration Processes in wastewater Engineering: Treatment and Reuse/ Metcalf&Eddy, pp. 1104- 1136, The McGraw-Hill Inc., New York.
- Tunay, O.,** 1996. "Endüstriyel Kirlenme Kontrolü", ITU İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- Unkroth, A Wagner, V. and Sauerbrey, R.** 1997. Laser-Assisted Photochemical Wastewater Treatment, *Water Science and Technology*, 35(4).
- Vlyssides, A.G. Papaioannou, D. Loizidou, M. Karlis, P.K. and Zorpas, A.A.** 2000. Testing an Electrochemical Method for Treatment of Textile Dye Wastewater, *Waste Management*.
- Willmott, N., Guthrie, J. and Nelson, G.** 1998. The Biotechnology Approach to Colour Removal from Textile Effluent, *Journal of the Society of Dyers and Colorists*, 114, 38-41.

- Woerner, D. L.**, 2002. Membrane technology in textile operations, Koch Membran Systems, Wilmington, MASS, USA.
- Wu, J. and Wang, T.** 2001. Ozonation of Aqueous Azo Dye In a Semi-Batch Reactor, Water Research, 35(4)
- Wu, W., Jain, M. K., Thiele, J. H., Zeikus, J. G.** 1999. “Effects of Storage on the
- Yalçın, F.**, 1998. Membran proseslerle endüstriyel atıksularda renk giderimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zylla R., Sojka-Ledakowicz J., Stelmach E., Ledokowicz S. (2006)** “Coupling membrane filtration with biological methods for textile wastewater treatm” Desalination.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Torul/Gümüşhane’de doğdu. İlköğretim, ortaöğretim ve liseyi Malatya da okudu. 1994 yılında Fırat Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümüne girdi. 1999 yılında Çalık holding’e bağlı Malatya GAP Güneydoğu Tekstil San ve Tic A.Ş de işe başladı. Kalite Güvence şefi, Çevre Görevlisi ve İş Güvenliği Uzmanı olarak hala çalışmaya devam etmektedir. 2011 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitime başladı. Yabancı dili İngilizcedir.

Hacer İNCE