

**DİSPERS BOYAMA ATIK SUYUNUN OZONLAMA İLE  
GERİ KAZANIMI VE TEKRAR KULLANIMI**

**Öznur İYİZAMAN**



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİSPERS BOYAMA ATIK SUYUNUN OZONLAMA İLE GERİ KAZANIMI VE  
TEKRAR KULLANIMI

ÖZNUR İYİZAMAN

PROF. DR. HÜSEYİN AKSEL EREN

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TEKSTİL TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

BURSA-2014

## TEZ ONAYI

Öznur İyizaman tarafından hazırlanan “Dispers Boyama Atık Suyunun Ozonlama ile Geri Kazanımı ve Tekrar Kullanımı” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Hüseyin Aksel Eren

<b>Başkan :</b>	Prof. Dr. Dilek KUT U.Ü. Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı	İmza
<b>Üye :</b>	Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN U.Ü. Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı	İmza
<b>Üye :</b>	Prof. Dr. Seval Kutlu Akol SOLMAZ U.Ü. Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı	İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**  
**Prof. Dr. Ali Osman DEMİR**  
**Enstitü Müdürü**  
**../../....(Tarih)**

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
  - atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
  - kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
  - ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı
- beyan ederim.**

.././....

**İmza**

**Öznur İYİZAMAN**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### DİSPERS BOYAMA ATIK SUYUNUN OZONLAMA İLE GERİ KAZANIMI VE TEKRAR KULLANIMI

**Öznur İYİZAMAN**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN

Bu çalışmada, endüstriyel polyester boyama prosesine ait atık suları renksizleştirmek için ozon kontakt tankında ozonlanma işlemi uygulanmıştır. Akbaşlar Tekstil A.Ş.'nin üretiminden alınan farklı miktarlarda ve türlerde dispers boyama atık suları, oda sıcaklığında bekletilip; kontakt tankta 40 dakikalık ozonlama işlemine tabi tutulmuştur. Dispers boyama atıksularının; ozonlama işlemi öncesi ve sonrası iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorbans değerleri karşılaştırılmış, renk giderim yüzdeleri hesaplanmıştır. Daha sonra ozonlanmış atık boyama banyoları ile yeniden boyama yapılmıştır.

Yapılan deneyler üç şekilde incelenmiştir. Boyarmadde ve yardımcı maddeleri içeren temiz su ile yapılan boyama, kontrol numunesi olarak kabul edilmiştir. İlk deneme ozonlanmış dispers boya banyosu atık suyuna sadece boyarmadde ilavesi, ikinci deneme ozonlanmış dispers boya banyosu atık suyuna boyarmadde ve yardımcı madde ilavesi, üçüncü olarak dispers boya banyosu hiç ozonlama yapılmadan suyun tekrar kullanımı ile yapılan boyamalardır.

Ozonlanarak geri kazanılan beş farklı dispers boyama atık suları ile açık renkte yapılan dispers boyamalarda renk farkı olmaksızın ( $\Delta E < 1$ ) abrajısız olarak referanslara ulaşılmıştır. Atık sular ozonlandıktan sonra pH, KOİ ve absorbans değerlerinde düşme gözlenmiştir.

Dispers atık suyunun geri kazanılarak proseslerde tekrar kullanılabilmesi, bu kullanımda kumaşlar arasında renk farkı oluşmaması, geri kazanılmış suyla boyanmış kumaşların haslık değerlerinin işletme suyu ile boyananlarla denk olması ve atık yükünün azaltılması sağlanmıştır. Böylece kimyasal madde ve su tasarrufu, proses maliyetinde azalma, atık su arıtma yükünde azalma elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Boyama, Dispers, Ozon, Tekrar Kullanım

**2014, xii, 131 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **DECOLORISATION AND REUSE OF DISPERSE DYEING WASTE WATER BY OZONATION**

**Öznur İYİZAMAN**

Uludag University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Textile Engineering (Textile Technology)

**Supervisor:** Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN

In this study, effluent of an actual industrial disperse dyeing of polyester process was ozonated in an ozonation chamber in order to remove the residual color in the effluent. Ozonation was performed at room temperature, disperse dyeing bath effluent was collected from the actual jet dyeing machines of the mass production of Akbaslar Textile Co., then cooled to room temperature to subject to forty minute ozone treatments in the ozonation chamber. Disperse dyeing waste water was compared to before and after ozonation process. Percentage of the color removal was calculated. After that, the ozonated disperse dyeing waste water reused for dyeing.

The ozonated disperse dye bath effluent was then used in dyeing trials in a laboratory type sample dyeing machine. Three sets of dyeing experiments were followed, these were; control sample was dyeing in a dye bath prepared by fresh water with all portion of the dye and auxiliaries in it. First trial was dyeing in the ozonated disperse dyebath effluent by addition of only the dye but not the auxiliaries. Second trial was dyeing in the ozonated disperse dyebath effluent by addition of both dyes and the auxiliaries. In the last trial was the dyeing by using disperse dyebath effluent without application ozonation process.

Light color disperse dyeings were done by using the four different sample which were recovered with ozonation from disperse dyebath effluent. Trial results indicated that ozonated disperse dyeing effluent can successfully be reused with  $\Delta E$  values under 1. After the ozonation process, pH, COD and absorbance values of disperse dyeing waste water were decreased.

As a result, there were not a color differences between the fabrics which performed by reuse of disperse dyeing waste water. Fastness values of the fabrics which was dyed with recovered waste water were identical to the control sample. Thus, chemical and water saving, reduction in process costs, a reduction in the load of waste water treatment was prepared.

**Key Words:** Disperse, Dyeing, Ozone, Reuse

**2014, xii, 131 pages.**

## TEŞEKKÜR

Tez konusunun seçimi ve çalışmamın her aşamasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm; deneylerin yönlendirilmesi ve sonuçlandırılmasında büyük emeği geçen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Atık su renksizleştirme ve boyama çalışmalarımın yapılmasında laboratuvarlarını açan Akbaş Holding yetkililerine; işletme müdürü Barış Kocaman'a çok teşekkür ederim. İşletmeden boyama atık su teminini sağlayan çalışma ve sınıf arkadaşım Kadir Yılmaz'a, tez çalışmalarına devam edebilmem için sağladıkları kolaylıklar ve destekleri için Ar-Ge Sorumlusu Tekstil Yüksek Mühendisi Seda Gündoğan'a, çalışma ve sınıf arkadaşım Tekstil Mühendisi Hülya Başaran'a, haslık ve diğer testlerimde yardımcı olan fizik laboratuvar sorumlusu Sevilcan Vatansever'e çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince birçok fedakârlıklar gösterip beni destekleyerek her an yanımda olan eşim Mimar Tefik Mehmet Aydın'a ve aileme desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Dispers Boyama.....	4
2.1.1. Dispers boyarmaddelerin sınıflandırılması.....	5
2.1.2. Dispers boyarmaddelerle polyester liflerinin boyama mekanizması.....	7
2.1.2.1. Adsorbsiyon izotermi.....	8
2.1.2.2. Dispers boyarmaddelerin difüzyonu.....	9
2.1.3. Polyester boyama metotları.....	10
2.1.3.1. Carrier boyama metodu.....	11
2.1.3.2. High Temperature boyama metodu.....	15
2.1.3.3. Termosol boyama metodu.....	20
2.2. Tekstil Atık Sularının Özellikleri.....	23
2.3. Tekstil Atık Sularının Çevreye Etkileri.....	25
2.4. Tekstil Atık Sularının Arıtımında Kullanılan Yöntemler.....	26
2.4.1. Biyolojik yöntemler.....	26
2.4.2. Fiziksel yöntemler.....	31
2.4.3. Kimyasal yöntemler.....	37
2.4. Ozonlamanın Kullanımı.....	47
2.4.1. Ozonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	48
2.4.2. Ozonun oluşumu.....	50
2.4.2.1. UV ışık yöntemi.....	51
2.4.2.2. Corona Discharge yöntemi.....	52
2.4.3. Ozonlama işlemlerinde etkili olan faktörler.....	55
2.4.4. Atık su arıtım sektöründe ozon kullanımı.....	56
2.5. Atık Sularda Renk Ölçümü ve Yönetmelikler.....	57
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	60
3.1. Materyal.....	60
3.1.1. Kumaşlar.....	60
3.1.2. Boyarmaddeler.....	60
3.1.3. Kimyasallar.....	61
3.1.4. Kullanılan cihazlar.....	62
3.2. Yöntem.....	64
3.2.1. Deney düzeneği ve akış diyagramı.....	64
3.2.2. Boyama Prosedürü.....	67
3.2.3. Ölçüm ve Metot.....	70
3.2.3.1. Kimyasal testler.....	70
3.2.3.2. Fiziksel testler.....	73
3.2.3.3. Kumaş ve atık su renk ölçümleri.....	75
3.2.3.4. Boyalı atık suyun KOİ ölçümü.....	76



	<b>Sayfa</b>
4. BULGULAR.....	78
4.1. Sarı Neon Dispers Boyarmadde İçeren Atık Su ile Yapılan Çalışmalar ve Elde Edilen Veriler.....	79
4.2. Bordo Dispers Boyarmadde İçeren Atık Su ile Yapılan Çalışmalar ve Elde Edilen Veriler.....	86
4.3. Siyah Dispers Boyarmadde İçeren Atık Su ile Yapılan Çalışmalar ve Elde Edilen Veriler.....	93
4.4. Pembe Dispers Boyarmadde İçeren Atık Su ile Yapılan Çalışmalar ve Elde Edilen Veriler.....	96
4.5. Lacivert Dispers Boyarmadde İçeren Atık Su ile Yapılan Çalışmalar ve Elde Edilen Veriler.....	103
4.6. Ozonun Dispers Boyarmadde İçeren Atık Su Özelliklerine Etkileri.....	110
4.6.1. İletkenlik.....	111
4.6.2. pH.....	112
4.6.3. KOİ değerleri.....	113
4.6.4. Absorbans.....	115
4.6.5. Renk giderimi.....	115
4.6.6. Kumaş renklerinin ve test sonuçlarının değerlendirilmesi.....	118
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	122
KAYNAKLAR.....	125
ÖZGEÇMİŞ.....	131

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$Al^{+3}$	Alüminyum
$Al(OH)_3$	Alüminyum hidroksit
$Al_2(SO_4)_3$	Alüminyum sülfat
$^{\circ}C$	Santigrad Derece
$[C]_f$	Lif yüzeyindeki boya konsantrasyonu
$[C]_s$	Çözelti içindeki boya konsantrasyonu
C	Difüzyon yapan maddenin konsantrasyonu
$CH_4$	Metan gazı
cm	Santimetre
$CO_2$	Karbondioksit
D	Difüzyon katsayısı
F	Birim kesit alanında transfer hızı
$^{\circ}F$	Fahrenhayt
$Fe^{2+}$	Demir
$FeCl_3$	Demir (III) klorür
$Fe(OH)_2$	Demir (II) hidroksit
$Fe(OH)_3$	Demir (III) hidroksit
$FeSO_4$	Demir (II) sülfat
g	Gram
gf	Gramkuvvet
$H_2$	Hidrojen
$H_2O$	Su
$H_2O_2$	Hidrojen Peroksit
K	Lif ve banyo arasındaki boyanın ayrılma katsayısı
$^{\circ}K$	Kelvin
KCl	Potasyum klorür
kg	Kilogram
kgf	Kilogramkuvvet
kJ	Kilojoule
kPa	Kilopascal
l	Litre
$m^2$	Metrekare
$m^3$	Metreküp
mg	Miligram
Mg	Magnezyum
mm	Milimetre
N	Newton
NaOCl	Sodyumhipoklorit
nm	Nanometre
$O_2$	Oksijen
$O_3$	Ozon
OH	Hidroksil
V	Volt
X	Kesite dik doğrultuda ölçülen ortam koordinatı

$\mu\text{m}$	Mikrometre
$\Delta H$	Entalpi
$\delta C/\delta X$	Konsantrasyon gradyenti
$\mu\text{s}$	Mikrosiemens

## Kısaltmalar

## Açıklama

a*	Kırmızı-Yeşil Ekseni Değeri
ADMI	Amerikan Boya İmalatçıları Enstitüsü renk birimi
AKM	Askıda Katı Madde
AOX	Adsorbe Olabilen Organik Halojenler
Ar-Ge	Araştırma-Geliştirme
A.Ş.	Anonim Şirket
b*	Sarı-Mavi Ekseni Değeri
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
C*	Kroma (Renk Doygunluğu)
CD	Corona discharge
ÇKM	Çözünmüş Katı Madde
DC	Doğru akım
DTS	Difüzyon tanımlama sayısı
EC	Elektrokoagülasyon
EN ISO	Avrupa Normu Uluslararası Standart Organizasyonu
h	Renk Açısı (Ton açısı)
HT	High Temperature
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
ICI	Imperial Chemical Industries
IPPC	The International Plant Protection Convention
L*	Açıklık-Koyuluk Ekseni Değeri
MF	Mikrofiltrasyon
NF	Nanofiltrasyon
pH	Power of Hydrogen
Ppm	Parts per million
Pt-Co	Platin-Kobalt
RES	Renklilik sayısı
RO	Ters ozmos
Tg	Camlaşma sıcaklığı
TOK	Toplam Organik Karbon
UF	Ultrafiltrasyon
UV	Ultraviyole
X, Y, Z	Rengin Tristimulus Değerleri
Xn, Yn, Zn	Aydınlatıcının Tristimulus Değerleri
$\Delta E$	Toplam renk fark

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Kimyasal ve pamuk liflerinin dünya fabrika tüketim verileri 1990-2020.....	3
Şekil 2.2.	Dispers boyarmaddelerin A-D grupları ile sınıflandırılması.....	5
Şekil 2.3.	Dispers boyama mekanizması.....	8
Şekil 2.4.	Nernst yasasından elde edilen adsorpsiyon izotermi.....	9
Şekil 2.5.	Dispers boyarmaddelerin boyama prosesi.....	12
Şekil 2.6.	Carrier boyama eğrisi.....	14
Şekil 2.7.	Polyesterin çektirme yöntemine göre boyama faz eğrisi.....	17
Şekil 2.8.	Redüktif yıkama.....	18
Şekil 2.9.	Termosol boyama prosesi işlem akışı.....	21
Şekil 2.10.	Atık suların nehir ve göllere verilmesi.....	25
Şekil 2.11.	Aktif çamur sistem şeması.....	28
Şekil 2.12.	Aerobik ve anaerobik yöntemlerin çıkış ürün miktarlarının karşılaştırılması.....	29
Şekil 2.13.	Anaerobik-aerobik aktif çamur sistemi.....	30
Şekil 2.14.	Katı faz üzerinde adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemleri.....	32
Şekil 2.15.	Akışkan yataklı sürecin akım şeması.....	33
Şekil 2.16.	Membran filtrasyon mekanizması.....	34
Şekil 2.17.	Membran çalışma prensipleri: düşey ve yatay akışlı filtrasyon.....	34
Şekil 2.18.	Farklı membran bariyerleri.....	35
Şekil 2.19.	Basit elektrokoagülasyon reaktörü.....	42
Şekil 2.20.	Elektrooksidasyon prosesinde kirleticilerin parçalanması.....	43
Şekil 2.21.	Ozonun formülü.....	47
Şekil 2.22.	Ozon üretimi.....	51
Şekil 2.23.	Ultraviyole yöntemiyle ozon üretimi.....	52
Şekil 2.24.	Ultraviyole ve Corona Discharge yöntemleriyle ozon üretimi.....	53
Şekil 2.25.	Ventüri enjektör.....	54
Şekil 2.26.	Ozon jeneratörü.....	55
Şekil 3.1.	Deney sistemi.....	64
Şekil 3.2.	Ozon kontakt tank bölümleri.....	65
Şekil 3.3.	A: Lekeleme gri skalası, B: Solma gri skalası.....	71
Şekil 3.4.	CIELab renk uzayı.....	76
Şekil 3.5.	Termoreaktör ve atık su analiz fotometresi.....	77
Şekil 4.1.	Sarı neon atık su 1'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	80
Şekil 4.2.	Sarı neon atık su 2'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	82
Şekil 4.3.	Sarı neon atık su 3'ncü ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	83
Şekil 4.4.	Bordo atık su 1'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	87
Şekil 4.5.	Bordo atık su 2'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	88
Şekil 4.6.	Bordo atık su 3'ncü ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	90
Şekil 4.7.	Bordo atık su 4'ncü ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	91
Şekil 4.8.	Siyah atık su 1'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	94
Şekil 4.9.	Pembe atık su 1'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	97
Şekil 4.10.	Pembe atık su 2'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	99
Şekil 4.11.	Pembe atık su 3'ncü ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	100

	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.12. Pembe atık su 4'ncü ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	101
Şekil 4.13. Lacivert atık su 1'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	104
Şekil 4.14. Lacivert atık su 2'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	106
Şekil 4.15. Lacivert atık su 3'ncü ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	107
Şekil 4.16. Lacivert atık su 4'ncü ozonlama işleminden alınan su numuneleri.....	108
Şekil 4.17. Ozonun atık boyama sularına ait iletkenlik değerleri üzerine etkisi.....	111
Şekil 4.18. Ozonun dispers boyama atıksularına ait pH değerlerine etkisi.....	112
Şekil 4.19. Ozonun dispers boyama atıksularına ait KOİ değerlerine etkisi.....	114
Şekil 4.20. Ozonun dispers boyama atıksularına ait absorban değerlerine etkisi.....	115
Şekil 4.21. Dispers boyama atıksularına ait bir ozonlama işlemindeki renk giderimi verimi.....	116
Şekil 4.22. Dispers boyama atıksularına ait ozonlama işlemlerindeki ortalama renk giderim yüzdeleri.....	118
Şekil 4.23. Boyama banyosu olarak renksizleştirilmiş atıksuların kullanıldığı dispers boyamalardan elde edilen kumaşların $\Delta E$ değerleri.....	119

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Boyarmadde üretim miktarları.....	23
Çizelge 2.2. Boyama atık sularının karakteristikleri.....	24
Çizelge 2.3. Aerobik ve anaerobik arıtmadaki temel farklılıklar.....	27
Çizelge 2.4. Farklı koagülanların avantaj ve dezavantajları.....	46
Çizelge 2.5. Ozonun ve diğer dezenfektanların oksitleme güçleri.....	49
Çizelge 2.6. Ozonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	49
Çizelge 2.7. Ozonun suda çözünürlüğü.....	50
Çizelge 3.1. Laboratuvar tipi jet boyama makinesinde gerçekleştirilen denemelerde kullanılan kumaşa ait özellikler.....	60
Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan boyarmaddelerin ticari isimleri ve kimyasal özellikleri.....	61
Çizelge 3.3. Dispers boyamada kullanılan yardımcı kimyasalların ticari isimleri ve fonksiyonları.....	62
Çizelge 3.4. Deneyler sırasında kullanılan cihazlara ait detaylar.....	63
Çizelge 3.5. Deney akış şeması.....	66
Çizelge 3.6. Ozon ile renksizleştirme yapıldıktan sonra belirlenen açık renk reçeteye ait boyarmadde yüzdeleri.....	67
Çizelge 3.7. HT yöntemi kullanılan dispers boyamaya ait sıcaklık-zaman diyagramı.....	68
Çizelge 3.8. Kontakt tank ile boyama makinesi (jet) arasındaki döngü.....	69
Çizelge 3.9. Çalışma kapsamında kumaşlara uygulanan testler.....	70
Çizelge 4.1. İşletmeden alınan boyalı atık suların içerdiği dispers boyarmaddeler.....	78
Çizelge 4.2. Sarı neon boyalı atık su içerisindeki kimyasal ve boyarmadde miktarı.....	79
Çizelge 4.3. Sarı neon 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	81
Çizelge 4.4. Sarı neon 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	81
Çizelge 4.5. Sarı neon 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	82
Çizelge 4.6. Sarı neon 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	82
Çizelge 4.7. Sarı neon 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	83
Çizelge 4.8. Sarı neon 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	84
Çizelge 4.9. Sarı neon boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların mukavemet test sonuçları.....	84
Çizelge 4.10. Sarı neon boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların haslık ve pH test sonuçları.....	85
Çizelge 4.11. Sarı neon boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaş renklerinin $\Delta E$ değerleri.....	85
Çizelge 4.12. Bordo atık su içerisindeki kimyasal ve boyarmadde miktarları.....	86

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.13. Bordo 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	87
Çizelge 4.14. Bordo 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	88
Çizelge 4.15. Bordo 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	89
Çizelge 4.16. Bordo 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	89
Çizelge 4.17. Bordo 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	90
Çizelge 4.18. Bordo 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	90
Çizelge 4.19. Bordo 4'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	91
Çizelge 4.20. Bordo 4'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	92
Çizelge 4.21. Bordo boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların mukavemet test sonuçları.....	92
Çizelge 4.22. Bordo boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların haslık ve pH test sonuçları.....	93
Çizelge 4.23. Bordo boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaş renklerinin $\Delta E$ değerleri.....	93
Çizelge 4.24. Siyah atık su içerisindeki kimyasal ve boyarmadde miktarı.....	94
Çizelge 4.25. Siyah 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	95
Çizelge 4.26. Siyah 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	95
Çizelge 4.27. Siyah boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşın mukavemet test sonuçları.....	95
Çizelge 4.28. Siyah boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşın haslık ve pH test sonuçları.....	96
Çizelge 4.29. Pembe atık su içerisindeki kimyasal ve boyarmadde miktarları.....	96
Çizelge 4.30. Pembe 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	98
Çizelge 4.31. Pembe 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	98
Çizelge 4.32. Pembe 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	99
Çizelge 4.33. Pembe 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	99
Çizelge 4.34. Pembe 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	100
Çizelge 4.35. Pembe 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	101
Çizelge 4.36. Pembe 4'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	102

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.37. Pembe 4'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	102
Çizelge 4.38. Pembe boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların mukavemet test sonuçları.....	102
Çizelge 4.39. Pembe boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların haslık ve pH test sonuçları.....	103
Çizelge 4.40. Pembe boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaş renklerinin $\Delta E$ değerleri.....	103
Çizelge 4.41. Lacivert atık su içerisindeki kimyasal ve boyarmadde miktarları. ....	104
Çizelge 4.42. Lacivert 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	105
Çizelge 4.43. Lacivert 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	105
Çizelge 4.44. Lacivert 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	106
Çizelge 4.45. Lacivert 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	106
Çizelge 4.46. Lacivert 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	107
Çizelge 4.47. Lacivert 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	108
Çizelge 4.48. Lacivert 4'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri.....	109
Çizelge 4.49. Lacivert 4'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri.....	109
Çizelge 4.50. Lacivert atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların mukavemet test sonuçları.....	109
Çizelge 4.51. Lacivert boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların haslık ve pH test sonuçları.....	110
Çizelge 4.52. Lacivert boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaş renklerinin $\Delta E$ değerleri.....	110
Çizelge 4.53. Atık suların KOİ değerleri.....	113
Çizelge 4.54. Ozonlama adımlarındaki renk giderim yüzdesi.....	117



## 1. GİRİŞ

Artan kentleşme ve endüstri, çevre kirliliği için önemli iki temel faktördür. Sanayileşme, hızlı nüfus artışı ve kontrolsüz kentsel büyümeyle birlikte elverişli su kaynakları giderek azalmaktadır.

Özellikle endüstrinin gelişmesine bağlı olarak suya olan talebin artması nedeniyle, arıtılmış atık suların tekrar kullanımı ülkelerin su kaynaklarının planlanması ve geliştirilmesinde önemli bir bileşen haline gelmiştir.

Çevreye duyarlı üretimin önem kazandığı günümüzde rekabet koşullarının da etkisiyle üreticiler daha ucuz ve daha temiz ürün üretmeye yönelmişlerdir. Bugün için artık Avrupa Birliği'nde IPPC (The International Plant Protection Convention) kapsamında üretim yapan firmalar, çevre dostu teknolojilerin kullanımını ve uygulama olanaklarını araştırmaktadırlar. Ülkemizde su kıtlığı ve su maliyetinin artması atık suların tekrar kullanımına karşı olan ilgiyi her geçen gün daha da arttırmaktadır.

Tekstil, deri ve boya endüstrisi gibi farklı endüstrilerden kaynaklanan atık suların hacmi ve kompozisyonu göz önüne alındığında tekstil endüstrisinden kaynaklanan atık sular diğer endüstriyel sektörlere oranla daha fazla kirletici özelliğe sahiptir. Tekstil atık suları koyu renkleri, yüksek kimyasal oksijen ihtiyaçları ile çözünmüş katıları ve değişken pH'ları ile karakterize edilirler.

Bu atık sular ciddi çevre sorunlarına yol açmaktadır. Boyarmadde içeren atık suların doğrudan dış ortama verilmesi, su kütlesindeki ışık geçirgenliğinin azalmasına bağlı olarak ekosistemi olumsuz etkilemekte ve zamanla ortamdaki çözünmüş oksijen yoğunluğunu azaltmaktadır. Aynı zamanda bazı boyarmaddelerin ve kullanılan yardımcı kimyasalların doğaya zehirli etkileri ve insanlar üzerindeki mutajenik ve kanserojenik etkilerinden dolayı arıtılmaları zorunludur.

Tekstil prosesleri incelendiğinde suyun en fazla yaş terbiye işlemlerinde (yıkama, boyama, durulama, haşıl sökme, kaynatma, ağartma vb.) kullanıldığı gözlenmiştir. Bu işlemler arasında bulunan boyama ve yıkama ise, hazırlama ve aprelemeye nazaran

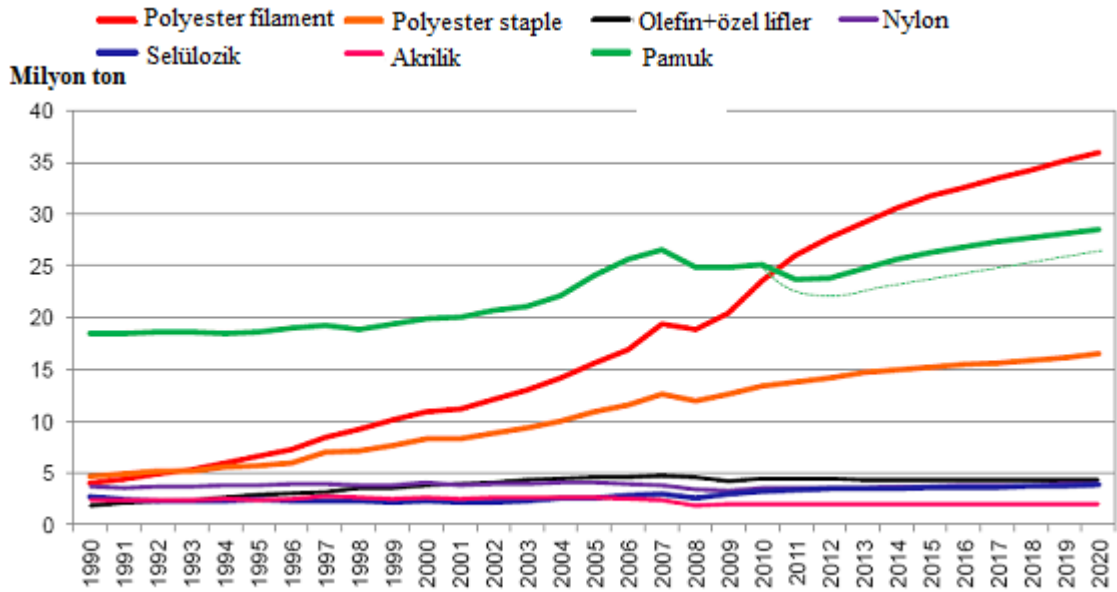
oldukça fazla miktarda su ve kimyasal madde tüketen bir proseslerdir. Boyalı atık suların etkili ve uygun yöntemlerle arıtılması tekstil sektörü için önemli bir konu olup atık su ile ilgili standartlar zamanla daha katı hale gelmektedir. Renk giderimi çalışmaları için kullanılan başlıca metotlar aktif karbon, flokulasyon, klorlama, ozonlama, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Hidrojen Peroksit) ve membran kullanımı şeklindedir. Tekstil atık sularının farklı boyarmaddeler ile yardımcı kimyasalları içeren, kompleks yapılarından dolayı geleneksel arıtma metotları ile ancak kısmi olarak uzaklaştırılabilmektedir. Bu kapsamda çevre dostu Ozon gazının tekstilde kullanım olanaklarının araştırılması önemli ve gereklidir.

Ozonun bu tür çalışmalarda kullanılmasının temel nedeni, oksidasyon potansiyelinin (2.07 V (Volt)) diğer oksidasyonlara oranla oldukça yüksek olmasıdır. Ozon atıksulardan birçok toksik maddenin uzaklaştırılması ve parçalanması için etkin bir maddedir. Bu parçalanmış bileşikler içerisinde boyarmaddeler önemli bir yere sahiptir. Kuvvetli bir oksidan olan ozon yardımı ile atık suyun sadece rengi uzaklaştırılmamakta aynı zamanda organik kirlilik miktarı da azaltılmaktadır. Ozon atık suda renk gideriminde etkili olup, doğrudan konsantre proses çıkış atıksuyuna ya da ön arıtma işlemi uygulanmış atıksuya da uygulanabilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, dispers boyama atık suyunun ozonlama yöntemi kullanılarak optimum koşullarda renksizleştirme işlemi yapılmıştır. Arıtılan atık suyun spektrofotometre ile dalga boyu ve ışık geçirgenliği ölçülmüştür. Arıtım sonucunda elde edilen renk giderim yüzdesi hesaplanmıştır. Ozonlanan atık su ile boyama yapılarak, boyama sonucunda elde edilen kumaşın fiziksel test sonuçları ve rengi değerlendirilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Polyester lifleri günümüzde sentetik lifler içerisinde en fazla üretilen ve kullanılan lif grubunu oluşturmaktadır. Tekstil mamullerinin genellikle renkli olarak kullanılması nedeniyle boyama işleminden geçirilmeden mamulün işletmeyi terk etmediği söylenebilir. Sentetik ve pamuk liflerinin dünyadaki fabrika tüketim verilerine bakıldığında polyester lif tüketim miktarının artacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 2.1. Kimyasal ve pamuk liflerinin dünya fabrika tüketim verileri 1990-2020 (Angel 2012)

Boyar maddeler genellikle rengi veren kromofor ve boyayı life bağlayan fonksiyonel gruptan oluşan küçük moleküllerdir. Literatürde kimyasal yapısına göre veya uygulandığı lif cinsine göre sınıflandırılmış yüzlerce çeşit boyarmadde mevcuttur. Boyanın lif üzerine adsorbe olması lif ve boyanın tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Correia ve ark. 1994).

Polyester liflerinin, yüksek kristalinite ve belirgin hidrofob özellik göstermeleri nedeniyle büyük moleküllü boyarmaddeler elyaf içine kolay nüfuz edemezler. Ayrıca, elyaf kimyaca aktif grup içermediği için boyarmadde anyon ve katyonlarını da bağlayamaz. Bu nedenlerle, polyesterin boyanması için hidrofil boyarmaddeler uygun

değildir. Dispers, bazik, pigment, küp, küp löyko ester ve inkişaf boyarmaddeler, polyester liflerinin boyanmasında kullanılabilir boyarmadde sınıflarıdır. Polyesterin boyanmasında en fazla kullanılan boyarmadde sınıfı ise % 95'i aşan bir payla dispers boyarmaddelerdir (Tarakçıoğlu 1974).

## **2.1. Dispers Boyama**

Sentetik liflerinin gelişimiyle dispers boyarmaddenin tekstil endüstrisinde kullanımı artmıştır. Selüloz asetat liflerinin boyanması için geliştirilen dispers boyarmaddelerin daha sonra polyester liflerini çok iyi boyadığı görülmüş ve en büyük kullanım alanları bu liflerde olmuştur (Perkins 1996, Yurdakul 2006).

Dispers boyarmaddeler oda sıcaklığında suda çözünmeyen, non-iyonik, küçük parçacıklı ve hidrofobik liflere substantiviteye sahip boyarmaddelerdir. Dispers boyarmaddeler amino ve hidroksil grupları ihtiva eden, düşük molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Polyester, asetat, triasetat, nylon ve akrilik gibi hidrofobik lifleri boyamada dispers boyarmaddeler kullanılır. Çeşitli boyama şartlarında, pH (Power of Hydrogen) ve sıcaklıklarda, ton ve haslıklarında gözle görülebilen değişikliklerin olmaması dispers boyarmaddeler için esastır (Koh 2011).

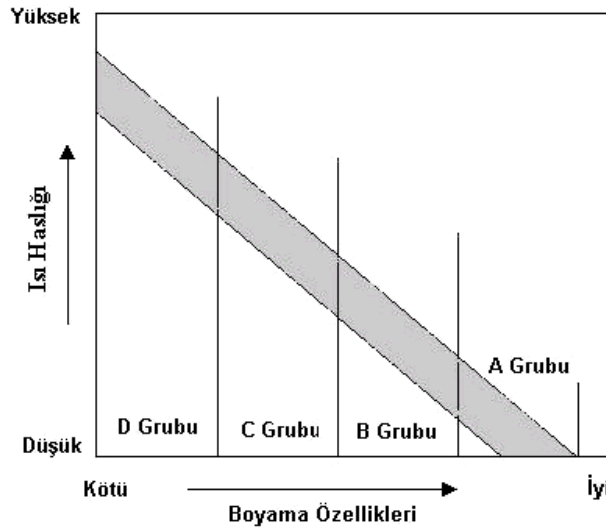
Saf haldeki dispers boyarmaddeler, ısıtıldıklarında (150-200<sup>0</sup>C) eriyen, bozulmaya uğramadan süblime olabilme özelliğine sahip, farklı molekül ağırlıklı kristal haldeki katı maddelerdir. İdeal olarak ticari bir dispers boyarmaddenin suya eklendiğinde oldukça hızlı, çok ince üniform partikül boyutuna sahip kararlı bir dispersiyon verecek şekilde disperslenmesi gerekmektedir (Uğur 2004).

Dispers boyalar toz veya sıvı formda bulunmaktadır. Toz boyalar % 40–60 dispers ajanları, inert seyrelticiler, toz önleyici maddelerden oluşur. Geri kalan kısmı ise aktif boya maddesidir. Bu tür dispers boyarmaddeler zayıf depolama stabilitesine sahiptir. Özellikle nemli ortamda topaklaşma problemi vardır. Toz dispers boyarmaddeler boyama proseslerinde kullanılır. Sıvı dispers boyarmaddelerde dispers ajan oranı % 10-30 aralığındadır. Sıvı formda oldukları için kolay karıştırılabilirlik, dispersiyon stabilitesi, hazır pH değerleri gibi özellikleriyle boya ve emdirme banyolarının kolay hazırlanması

ile kullanım kolaylığına sahiptirler. Sıvı formdaki dispers boyarmaddelerin, lif içerisine difüzyonu için daha az enerji gerekmektedir. Bu nedenle sıvı formdaki boyarmaddeler polyester baskıcılığına daha uygundur. Avantajlarının yanı sıra; depolama esnasında çökme, konsantrasyon değişimi, buharlaşma gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır (Uğur 2004).

### 2.1.1. Dispers boyarmaddelerin sınıflandırılması

ICI (Imperial Chemical Industries) tarafından 1970'li yıllarda dispers boyarmaddelerin süblimasyon haslıkları ve boyama özelliklerine göre A'dan D'ye kadar bir sınıflandırma metodu geliştirilmiştir. Şekil 2.2'de görülen bu gruplandırmada, boyarmaddeler düşükten yükseğe doğru enerji tipleri ile de ilişkilidir. A sınıfı düşük moleküler ağırlıklı, zayıf süblimasyon haslığı, uygun ışık haslığı ve yüksek boyama özelliğine sahiptir. B ve C sınıfı bu iki uç sınıf arasında yer almaktadır. B grubu iyi ışık haslığına sahiptir ve carrier boyama için oldukça uygundur. C sınıfı daha iyi ışık ve süblimasyon haslığına sahiptir. D sınıfı ise yüksek molekül ağırlıklı, iyi süblimasyon haslığı ve daha zayıf boyama özelliklerine sahiptir (Uğur 2004, Koh 2011).



Şekil 2.2. Dispers boyarmaddelerin A-D grupları ile sınıflandırılması (Vigo 1994)

Dispers boyarmaddeler çözülebilen grup sayısına ve molekül ağırlıklarına göre karakterize edilirler. Dispers boyarmaddelerin yaklaşık % 50'si azo, % 25'i antrokinon geri kalanı ise methin, nitro ve naftakinon gruplarından oluşur. Azo boyarmaddeler

parlak mavi ve kırmızı renkler verirler. Antrakinin esaslılar ise mavi, viole, mavimsi kırmızı ve yeşillerdir. Nitro esaslı boyarmaddeler ise genellikle sarı ve turuncu boyarmaddelerden oluşan nispeten küçük bir gruptur (Perkins 1996).

Kimyasal yapılarına göre dispers boyarmaddeler;

- Azo boyarmaddeler: Yapılarındaki kromofor grup olan azo grubu ile karakterize edilir. Bu gruptaki azot atomları,  $sp^2$  hibritleşmesi ile karbon atomlarına bağlanır. Geleneksel antrakinin boyarmaddelerin yerini alarak dispers boyarmaddelerin % 50'sinden fazlasını azo boyarmaddeler oluşturmaktadır. Azo boyarmaddelerin boyama gücü antrakinin grubuna göre 2-3 kat fazla, ucuz başlangıç maddeleriyle ve değişik kimyasal yöntemlerle kolay elde edilebilir, çok geniş bir renk aralığını kullanılabilir olması nedeniyle üretim miktarı arttırmıştır (Koh 2011).
- Antrakinin boyarmaddeler: İlk başlarda asetat boyaları arasında yer almış ve mor-mavi renk gamına önemli bir katkı sağlamıştır. Antrakinin boyaların doğal parlaklığı tipik azo boyarmaddelerden fazladır. Parlak renkler vermeleri, iyi ışık haslığı, boyama sırasındaki stabilitesi ve egalizasyonunun iyi olması avantajlarına sahipken kötü yaş haslık, pahalı ve üretim sırasında çevre kirliliği gibi dezavantajlara da sahiptirler (Koh 2011).
- Nitrodifenilamin boyarmaddeler: Bunlar sarı ve oranj-sarı boyaların küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu gruplu boyalar polyester liflerinde iyi ışık haslığı verirler. Boya molekülüne polar gruplar eklenerek veya boyanın molekül boyutu artırılarak süblimasyon haslıkları iyileştirilebilir (Becerir 2000).
- Diğer dispers boyarmaddeler: Benzodifuranon, metin, stiren türevleri, aroylebenzimidazoles, quinonaphtholes, aminpaphthylimides ve naphtolquinonemines'dir (Vigo 1994, Koh 2011).

### 2.1.2. Dispers boyarmaddelerle polyester liflerinin boyama mekanizması

Polyester lifleri selüloz, protein veya akrilik lifler için kullanılan, birçok boyarmadde gruplarıyla boyanamamaktadır. Boyama güçlüklerinin nedenleri; polyester liflerin yüksek hızdaki lif çekimi ve yüksek oryantasyonu sonucu kristalin bölgelerinin daha fazla, boyarmaddelerin etki edebileceği amorf bölgelerinin az olması, yüksek hidrofobik karaktere sahip olması nedeniyle yapılarında hidrofil gruplarının olmaması ve yapısında boyar madde ile kimyasal bağ oluşturabilecek fonksiyonel grupların bulunmamasıdır ([http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Sentetikleri%20Boyama%201.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sentetikleri%20Boyama%201.pdf), 2011e).

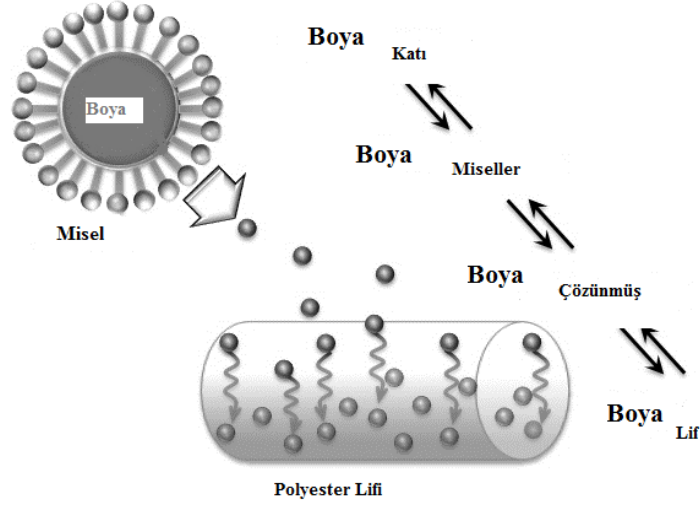
Bu nedenlerden dolayı polyester boyamacılığında en yaygın kullanılan boyarmadde dispersiyon boyarmaddeleridir. Boyarmadde molekülleri lifin polimer sistemine hidrojen bağları, dipol dipol etkileşimi ve van der Waals kuvvetleri yardımıyla tutunurlar. Dispers boyarmaddenin içerisinde bulunan hidrojen atomları lif üzerindeki nitrojen ve oksijenler ile hidrojen bağ oluştururlar. Dipol dipol etkileşimi boya moleküllerinin asimetrik yapılarından dolayı meydana gelmektedir. Van der Waals kuvvetleri boyarmadde ile lifin aromatik grupları arasında oluşur (Uğur 2007).

Banyodaki boya çözeltisinin oranı ve lifin içine difüze olması boya tipine, lif tipine, ortamdaki yabancı maddelere, boyama sıcaklığına ve boyama süresine bağlıdır. Boyama yapılabilmesi için polyesterin kristalin bölgesinin açılıp boyarmaddenin içine gireceği gözeneklerin açılması gerekir. Lifler arasındaki açılma ancak liflerin camlaşma sıcaklığı üzerinde başlar ve böylece boya alımı da gerçekleşir. Dispers haldeki boyarmaddeler lif üzerine difüze olurlar (Atav ve Delituna 2010).

Dispers boyama proses mekanizması 4 adımdan oluşmaktadır:

1. Partikül haldeki boyarmadde boya banyosu içinde çözünmesi: Su içerisinde çözünmüş olan dispers boyarmaddenin çözünürlüğü olarak ifade edilmektedir.

2. Çözeltiden lif yüzeyine boyarmadde molekül transferi: Lif yüzeyine boyarmaddeyi taşıyan boya çözeltisindeki hidrodinamik akışla etkilenmektedir. Bu nedenle, hidrodinamik akışı etkileyen boya banyosundaki karıştırma oranı, tekstil substratının geometrisi ve boya makinesinin dizaynı gibi faktörler lif yüzeyine boya difüzyonu prosesini de etkilemektedir.



**Şekil 2.3.** Dispers boyama mekanizması (Koh 2011)

3. Boyarmaddenin, difüzyon sınır tabakası içerisinde lif yüzeyine tutunması: Difüzyon sınır tabakası içerisinde difüzyonlanmış olan boyarmadde lif yüzeyinde adsorblanır. Boya banyosundaki çözelti, dispersiyondan daha fazla miktardaki katı maddenin çözünmesiyle yenilenir.
4. Lif yüzeyine tutunan boyarmaddenin lif içine difüzyonu ve fiksajı: Lif yüzeyine adsorplanan boyarmadde molekülleri lifin içerisine difüzyonlanır (Vigo 1994, Koh 2011).

#### **2.1.2.1. Adsorbsiyon izotermi**

Boya banyosundaki boyarmadde konsantrasyonu ile lif içerisindeki konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi anlatan adsorpsiyon izotermi geliştirilmiştir. Boyarmaddenin lif



üzerindeki düzenli dağılışına adsorpsiyon denir. Adsorpsiyon süresince, polyester liflerinde makromoleküller arası bağlar gevşetilerek, boyarmadde moleküllerinin girebileceği amorf bölgeler meydana getirilmektedir (Becerir 2000).

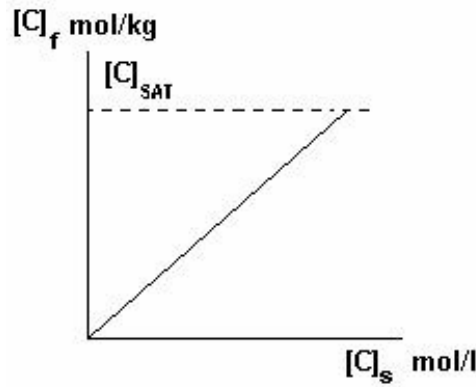
Dispers boyarmaddelerle polyester liflerinin arasındaki ilişki Nernst yasası ile açıklanabilmektedir.

$$[C]_f = K [C]_s \quad (2.1)$$

$[C]_f$  = Lif yüzeyindeki boya konsantrasyonu

$[C]_s$  = Çözelti içindeki boya konsantrasyonu

K= Lif ve banyo arasındaki boyanın ayrılma katsayısı



**Şekil 2.4.** Nernst yasasından elde edilen adsorpsiyon izotermi (Cegarra ve ark. 1992)

Nernst izoterminin yönü doğrusaldır (Şekil 2.4). Boya banyosu içerisindeki boyarmadde konsantrasyonuna karşı lif içerisindeki boya konsantrasyonunun grafiğinde, lifin doyma noktasında tamamen sonlanan düz bir doğru elde edilmektedir (Cegarra ve ark. 1992).

#### **2.1.2.2. Dispers boyarmaddelerin difüzyonu**

Dispers faz konsantrasyonunun yüksek olanından düşük olanına, her iki bölgede konsantrasyonların eşitlenmesine dek, katı ve çözücü moleküllerinin birlikte geçişi difüzyon olarak tanımlanabilir (Gönül 2000).

Difüzyon, boya moleküllerinin lifin kristal olmayan bölgelerine nüfuziyet kolaylığının bir fonksiyonudur. Polyester liflerinde boyanın difüzyonu kristalin olmayan bölgelerdeki oryantasyonun derecesine bağlıdır (Paydak 2006).

Boyama proses başlangıcında lif yüzeyindeki boyarmadde konsantrasyonu maksimum iken lif içerisindeki minimumdur. Boyarmadde molekülleri lif yüzeyinde içerisine doğru difüzyonu Fick denklemi ile ifade edilir. Lifin herhangi bir birim alandaki boyarmadde difüzyon oranı ile boyarmadde konsantrasyon gradyanıyla doğrudan orantılıdır. Polyester lifi tarafından sabit konsantrasyondaki banyodan aldığı boyarmadde miktarı, doygunluk değerine ulaşana kadar, boyama zamanının karekökü ile orantılı olduğu görülmüştür (Koh 2011).

$$F = - D [\delta C/\delta X] \quad (2.2)$$

F: Birim kesit alanında transfer hızı (g veya mol)

C: Difüzyon yapan maddenin konsantrasyonu

X: Kesite dik doğrultuda ölçülen ortam koordinatı

D: Difüzyon katsayısı (uzunluk<sup>2</sup>/süre, m<sup>2</sup>/s.)

$\delta C/\delta X$ : Konsantrasyon gradyenti

Fick denklemindeki negatif işareti difüzyonun artan konsantrasyona ters yönde oluştuğunu ifade etmektedir (Cegarra ve ark. 1992).

### **2.1.3. Polyester boyama metotları**

Hidrofobik liflerin dispers boyarmaddelerle boyanması katı organik çözücünden (lif) sıvı çözücüye (su) boya transfer prosesi olarak düşünülebilir. Sulu bir dispersiyon oluşturmak için dispers boyarmaddeler yüzey aktif madde içeren banyoya ilave edilir. Boya banyosuna ısı uygulanmasıyla boya moleküllerinin enerjisi artar ve liflerin boyanmasını hızlandırır. Isınan boya banyosunda lif az miktarda şişer ve lif polimer sistemine boyarmaddenin geçişine yardımcı olur. Böylece boyarmadde molekülleri liflerin amorf bölgelerinde yerini alır. Polimer sistemi içerisinde yerini alan boyarmadde

molekülleri hidrojen bağları ve van der Waals kuvvetleri tarafından tutulur (Kiron 2012).

Polyester boyama mekanizması, mekanik olarak 1 mikronun altına öğütülmüş olan dispers boya taneciklerinin yüksek sıcaklıkta, suda moleküler çözünmesi ve aynı sıcaklıkta polyesterin amorf bölgesine emilmesi ile olur. Polyesterin sıkı yapısı gereği camlaşma noktası yüksektir. Bilindiği gibi lif içerisine boyarmadde girişi, camlaşma sıcaklıklarının ( $T_g$ ) üzerindeki derecelerde başlamaktadır. Yani düşük camlaşma sıcaklığına sahip lifler daha düşük sıcaklıkta boyanabilirler. Bunun nedeni ise, life boyarmadde difüzyonu amorf bölgelerdeki hareketlenme ile gerçekleşir (Yıldırım ve ark. 2012).

Polyester liflerinin üç farklı yöntemle boyanabilir. Bunlardan birincisi 100°C'de carrier denilen taşıyıcı maddelerle, ikincisi 180-220°C'de yüksek ısı ile termosolleme metoduna göre, üçüncüsü ise yüksek basınç ve sıcaklık altında (High Temperature metodu) Jet'lerde çektirme metoduna göre yapılan boyamalardır ki polyester mamüllerin boyanmasında en fazla tercih edilen yöntemdir.

- Carrier yöntemine göre boyama (Çektirme yöntemi)
- HT (High Temperature) yöntemine göre boyama (Çektirme yöntemi)
- Termosol boyama yöntemi (Emdirme yöntemi)

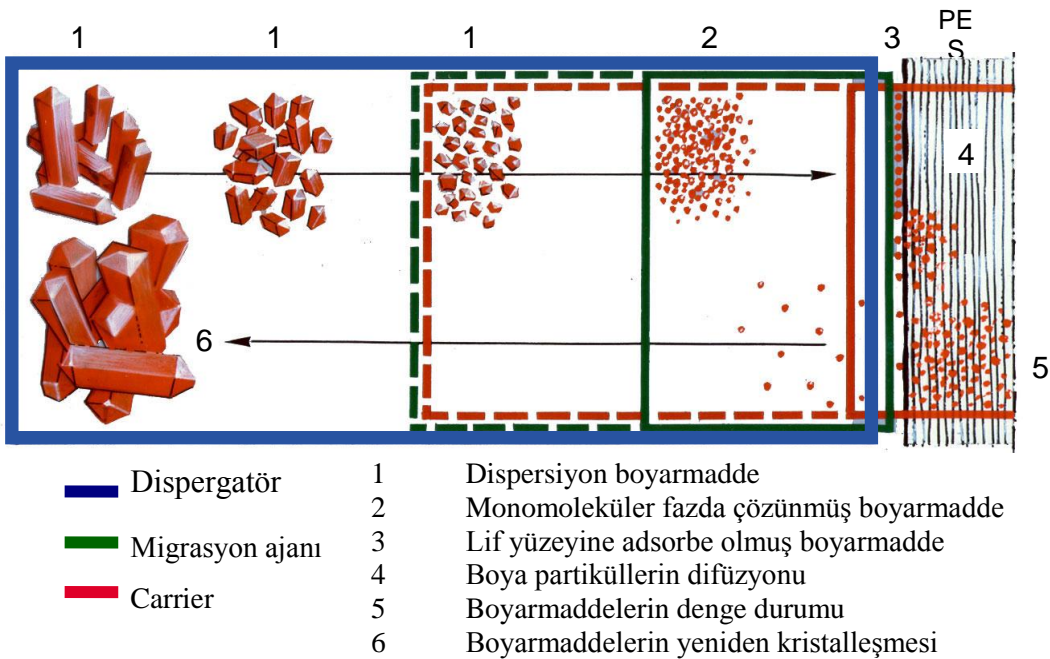
#### **2.1.3.1. Carrier boyama metodu**

Polyester lifleri yüksek kristalizasyon dereceleri ve 85<sup>0</sup>C üzerindeki camlaşma noktaları nedeniyle kaynama sıcaklığının altındaki sıcaklık değerlerinde boyanamamaktadır. Bu liflerin kaynama sıcaklığında yapılan boyamalarında, carriersiz boyanabilen polyester liflerinin ve difüzyon tanımlama sayısı (DTS) yüksek birkaç boyarmaddenin dışında sonuç alınmamaktadır. Dispers boyarmaddelerin lif içerisine difüze olabilme yetenekleri DTS ile belirlenmektedir. Carrierin optimum kullanım miktarı boyarmaddenin DTS'ye bağlı olarak değişmektedir. DTS'si yüksek olan boyarmaddelerde düşük carrier konsantrasyonunda optimum koyuluk elde edilirken, DTS'si düşük olanlarda ise

optimum koyuluk yüksek carrier konsantrasyonunda elde edilmektedir (Yurdakul 2006).

Carrier terimi dispers boyarmaddelerle hidrofobik liflerin boyanması veya baskı yapılması esnasında kullanılan bir hızlandırıcı olarak tanımlanır (Burkinshaw 1995).

Bu boyama metodunda, lifin hızlı boyanmasına neden olan lif içerisine boyarmadde taşıyan bir kompleks oluşturma fikrine dayanmaktadır. Carrier amorf bölgelerin yapısını değiştirerek boyarmaddenin liflerin içerisine adsorbe edilmesini sağlar. Carrier çözülmemiş veya boya banyosunda emülsiyeye edilmiş organik bir bileşiktir. Carrierler kısa bir süre içerisinde bile koyu renk eldesini sağlarlar. Yaygın polyester carrierleri bütibenzoat, metilnaftalin, diklorobenzen, difenil ve o-fenilfenol gruplarını içerir (Perkins 1996, Koh 2011).



Şekil 2.5. Dispers boyarmaddelerin boyama prosesi (Anonim 2002)

Boyanabilirliği geliştirmek için kullanılan metotta boya banyosuna carrier ilavesi ile boyanabilirliği arttırmak amaçlanır. Carrier bir plastikleştirici gibi çalışır, camlaşma sıcaklığını düşürür, genellikle kaynar suda boyama sıcaklığında boya alımını gerçekleştirir. Polyester mamulleri dispers boyarmaddelerle normal basınç altında ve

kaynama sıcaklığının altında carrier ilavesi ile boyanabilir. Carrier life nüfuz ederek yapının daha düşük sıcaklıklarda açılmasını sağlayarak boyarmadde difüzyonunun daha hızlı gerçekleşmesini sağlarlar (Uğur 2004).

Carrier boyama yöntemi gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Çünkü bu boyama yönteminin hem olumlu hem de olumsuz etkileri bulunmaktadır. Polyesterin diğer liflerle karışımlarının (Polyester/yün, polyester/polyamid ve polyester/poliakrilonitril) boyanmasında yüksek sıcaklıklara çıkılmadığı için carrier ilavesi ile düşük sıcaklıklarda boyama yapmak uygun olmaktadır. Carrier ile boyamada boyarmadde çekimi 85<sup>0</sup>C'lerde bile iyi olduğundan uzun süre kaynatılması istenmeyen mamüllerin boyanmasında bu yöntem kullanılır. Carrier yönteminin olumlu yönü düşük sıcaklıklarda polyester liflerini ve bunların farklı lif karışımlarının boyanmasına imkân sağlamasıdır. Olumsuz yönleri ise;

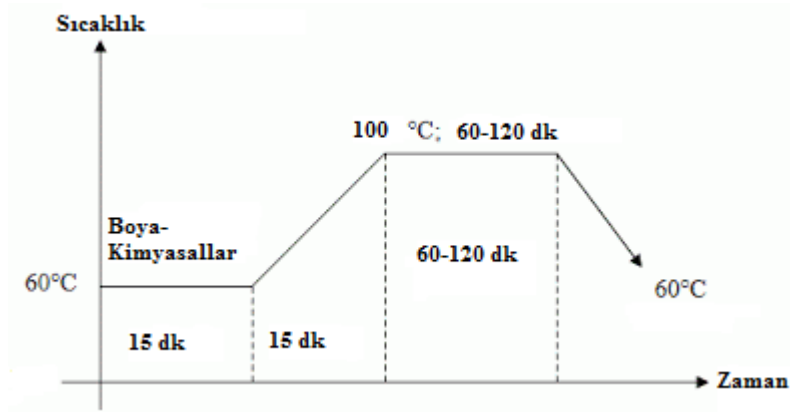
- Maliyetinin yüksek olması,
- Carrier artıklarının uzaklaştırılmasının güç olması,
- Çevre ve hava kirliliğine neden olması,
- Sudaki atık yükünü arttırması,
- Rahatsız edici kokuya sahip olması,
- Carrier artıklarının ışık haslıklarını etkilemesi,
- Koyu ton boyamada istenen etkinin elde edilememesidir.

Bu olumsuz özelliklerinden dolayı carrier yöntemi çok tercih edilmez (Becerir 2005).

Bu olumsuz özellikleri nedeniyle carrier varlığında uygulanacak boyarmadde dikkatli seçilmelidir. Carrier kullanılırken boyarmaddenin hızlı alındığı sıcaklık aralığında, sıcaklık yükselmesi yavaş olmalı ve boyarmadde bileşimlerinde difüzyon hızları birbirine yakın boyarmaddeler kullanılmalıdır (Yurdakul 2006).

Boyama hızı kullanılan carriera bağlıdır. Polyester lifleri carrieri absorbe eder ve şişer. Bu şişme banyo akışını engelleyebilir. Carrierin genel etkisi polimerin camlaşma sıcaklığını düşürmesidir, böylece polimer zincirlerinin hareketine olanak sağlar ve

serbest bir hacim oluşturur. Bu durum da boyarmaddenin life difüzyonunu artırır. Boyama sonrasında carrier genellikle 150-180°C’lerde kuru hava ile kurutulurken mamül üzerinden uzaklaştırılmalıdır. Mamül üzerindeki carrier ışık haslığını olumsuz etkileyebilir. İlk uygulanmaya başladığında basınçsız ortamda polyester kumaşları boyayabildiği için carrierin faydaları oldukça büyüktü. Fakat 130°C’lerde ve basınç altında çalışabilen makinelerin gelişiminden bu yana carrier boyama yöntemine olan ilgi azalmıştır (Koh 2011).



Şekil 2.6. Carrier boyama eğrisi (Kiron 2012)

Tipik carrier boyama prosesinde öncelikle boyama flottesinin pH'ı 4,5-5,5'e ayarlanır. Kullanılan carrier cinsine göre boya banyosu 60°C'ye ısıtılmaktadır. Boyama banyosu 60°C'de iken dispergator, emülsiyeye edilmiş carrier ve son olarak da dispers boyarmaddeler ilave edilir. Sıcaklık kaynama noktasına kadar yavaş yavaş artırılır ve boyama bu sıcaklıkta devam eder ve en az 60 dakika beklenir. Tekrar sıcaklık 60°C'ye düşürülür ve gerekirse redüktif yıkama yapılır. En iyi haslık değerleri için carrier boyamadan sonra bir redüktif ard işlem ve 190-220°C sıcaklıkta fiksaj işlemleri uygulanılarak alınmaktadır (Uğur 2004, Kiron 2012).

Kullanılan yardımcı kimyasalların görevi, carrier boyarmaddenin life taşınmasını sağlar. Egalizatör kumaş yüzeyinde boyarmaddenin homojen yayılmasını, dispergator boyarmaddenin banyo içerisinde dispers halde kalmasını, asit ise pH değerinin ayarlanmasını ve boyama süresince bu değer sabit kalmasını sağlar ([http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Sentetikleri%20Boyama%201.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sentetikleri%20Boyama%201.pdf), 2011e).

### 2.1.3.2. High Temperature boyama metodu

Polyester materyallerin boyanması için bugün en fazla uygulanan boyama metodu kaynama sıcaklığından yüksek sıcaklıklarda basınç altında gerçekleştirilen HT boyama yöntemidir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için işletmede yüksek sıcaklıklarda çalışan HT boyama makinelerine ihtiyaç vardır (Yurdakul 2006).

Jetlerde çektirme metoduna göre yapılan bu yöntemin boyamalarında;

- Liflerin fiksaj ve çekmelerindeki düzensizliklerden ileri gelen farklılıkların örtülmesi daha iyidir.
- Boyama süresi kısalmaktadır.
- Boyarmadde, ipliklerin ve liflerin içerisine daha iyi nüfuz etmektedir (<http://www.temyad.com/app/kullanici-dosyolari/POLYESTER%20MAM%C3%9CCLLER%C4%B0N%20JETLERDE%20BOYANMASI.pdf>, 2012a).

Polyesterin 1. camlaşma noktası olan 70-80<sup>0</sup>C'nin altındaki sıcaklıklarda liflerin sıkı moleküler üstü yapılarındaki sadece amorf bölgelerde bulunan etilen gruplarının hareketlilik kazanması nedeni ile boyarmadde nüfuz edememektedir. Lifler ancak polyesterin 2. camlaşma sıcaklığı olan 120-140<sup>0</sup>C'de yapılarındaki kristalin bölgelerde bulunan benzen halkalarını hareketlilik kazanması ile boyarmadde almaktadır (Uğur 2004).

HT yönteminin carrier yöntemine göre avantajları aşağıdaki gibidir:

- Lif moleküllerinin termal hareketi 120–130<sup>0</sup>C'de gerçekleşmekte, bu hareket sırasında açılan boşluklardan boyarmadde girebilmekte ve çekim kolaylaşmaktadır.
- 120–130<sup>0</sup>C'de boyar maddenin çözünürlüğü artacağından, boyama işlemi hızlanır.

- 120–130°C’de boyar maddenin migrasyon yeteneği artmaktadır ([http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Sentetikleri%20Boyama%201.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sentetikleri%20Boyama%201.pdf), 2011e).

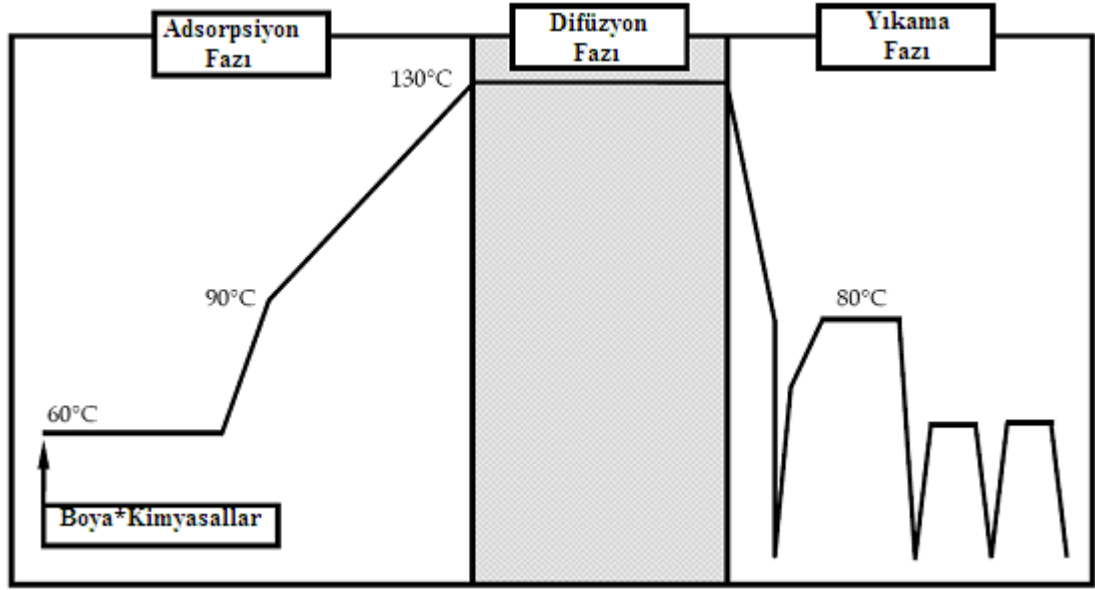
Polyester boyamasında boya banyosu içerisine yardımcı kimyasal olarak asit, dispergator, egalizator ve kırık onleyici ilave edilir.

- Asit, boya banyosunun pH’ın 4,5-5,5’a ayarlanmasını ve boya banyosunun pH’ının boyama süresince sabit kalmasını sağlar. Sabit kalmazsa elde edilen renklerin tekrarlanabilirliği azalır.
- Dispergatorler, dispers boyarmaddenin boyama süresince banyoda dispers halde kalmasını sağlar. Boyarmaddenin boyama süresince kümeleşmesini engelleyerek dispersiyonu sabit tutar.
- Egalizator, dispers boyarmaddenin kumaş yüzeyinde homojen dağılmasını ve boyarmaddenin life yavaş geçmesini sağlar. Egalizatorü yüksek miktarlarda kullanmak, boyama düzgünlüğünü bozabilir. Koyu renklerde daha az, açık renklerde daha fazla kullanmak gerekir.

Boyamaya 50-60°C’de başlanır. Öncelikle boya banyosunun pH’ını ayarlamak için asit ilave edilir. Bu değer 4,5-5,5 arasında olmalıdır. Daha sonra diğer yardımcı kimyasallar ve boyarmadde ilave edilerek 10-15 dakika muamele edilir. Boya banyosunun sıcaklığı 30-40 dakika içerisinde (açık renklerin boyamalarında sıcaklık biraz daha yavaş arttırılır) 120-130°C’ye çıkarılıp, boyamanın koyuluğuna göre ortalama 2-3 saat boyama yapılır. Boyama sonrası durulama ve redüktif yıkama yapılır. Açık renklerde redüktif yıkama yapılmasına gerek yoktur. Koyu renklerde ise boyarmadde yüzdesine bağlı olarak çift redüktif yıkama yapılabilir. Redüktif yıkama yapıldıktan sonra asit ile nötralizasyon işlemleri yapılır (Yurdakul 2006).

Polimer zincirleri ve artan kinetik enerjiye sahip boyarmadde molekülleri arasındaki kohezyonun azalmasıyla boyarmadde difüzyonu artmaktadır böylece boyanma oranı artar. Tipik bir çektirme boyama uygulaması (Şekil 2.7) adsorpsiyon fazı, difüzyon fazı ve yıkama fazını içeren üç ana fazdan oluşmaktadır (Koh 2011).





Şekil 2.7. Polyesterin çektirme yöntemine göre boyama faz eğrisi (Koh 2011)

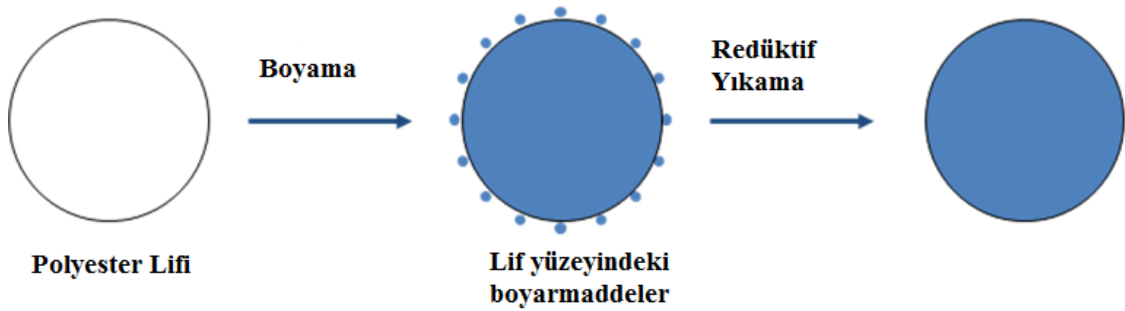
Adsorpsiyon fazı boyanmış lifin yüzey düzgünlüğünde belirleyici olduğu ve ısıtma hızının kontrollü bir şekilde boya adsorpsiyonuna izin verdiği için en önemli fazdır. Adsorpsiyon davranışı boyarmadde konsantrasyonu, sıcaklık gradyanı ve lif cinsinden etkilenmektedir. Dispers boyarmaddenin life çekim oranı sıcaklığın yükselme oranı tarafından kontrol edilir. 80-120<sup>0</sup>C sıcaklık aralığında boyama hızı maksimuma ulaşır. Boyama oranının maksimum olduğu bu sıcaklık aralığı kritik boyama sıcaklığı olarak bilinir. Kritik boyama sıcaklığı; sıcaklık artışına, boyarmadde konsantrasyonuna, banyo akış hızına ve banyo oranına bağlıdır. Kritik boyama sıcaklığı civarında sıcaklık yavaş yavaş yükseltilerek boyarmaddenin kumaşa geçiş hızının optimal olması sağlanır (Koh 2011).

Difüzyon fazı; polyesterin boyanması genellikle difüzyon kontrollü bir proses olarak tanımlanır. Bu faz lif içerisine moleküler difüzyon ve banyo adsorpsiyonu yoluyla taşınımını içeren hız belirleyici bir adımdır (Dawson ve Todd 1979). Adsorpsiyon fazı için gerekli süre büyük ölçüde makine şartları tarafından belirlenir. Difüzyon fazında 130<sup>0</sup>C'de beklenmesi gereken süre boyarmaddelerin difüzyon karakteri ve boyama derinliği ile doğrudan ilgilidir. Ancak genellikle standart süreler; açık renk boyamalar için 10-20 dakika, orta renk boyamalar için 20-30 dakika ve koyu renk boyamalar için 30-35 dakikadır. Bu fazda önemli olan boyarmaddenin dağılımıdır. Sıcaklığın hızlı

yükselmesi ve yetersiz banyo sirkülasyonu nedeniyle düzensiz boyarmadde adsorpsiyonu gerçekleşebilir. Bu faz boyunca dispers boyarmaddelerin difüzyon hızı ve dispersiyon özellikleri önemli parametrelerdir (Koh 2011).

Yıkama fazında; polyesterin bir özelliği olan kapalı ve hidrofob yapısından dolayı inorganik maddeler yüzeyinden içeriye giremez. Bu özellikten faydalanarak polyesterin yüzeyindeki ölü boya, elyafın içerisindeki nüfuz etmiş boyaya zarar vermeden uzaklaştırılabilir (Balcı 2007).

Dispers boyarmaddelerin sudaki çözünürlüğü sınırlı olduğundan boyama fazı tamamlandıktan sonra lif yüzeyinde bazı dispers boyarmadde parçacıkları bulunabilir. Yüzeyde bulunan ölü boya olarak adlandırılan bu boyanın renk verimine katkısı çok azdır. Ölü boyalar redüktif yıkama yapılarak temizlenmezse rengin parlaklığının yanı sıra yıkama, süblimasyon ve sürtme haslık sonuçlarını da olumsuz etkiler. Yıkama fazında, istenilen haslık değerlerini elde etmek ve rengin parlaklığını sağlamak için polyesterin yıkanmasında deterjan, redüktif ve oksidatif işlemlerle muamele edilerek kumaş yüzeyindeki ölü boyarmaddeler temizlenir. Redüktif yıkama işleminde hidrosülfid, tiouredioksit, hidroskiaseton, glikoz derivatları, sodyumborhidrit, sodyumbisülfid, tioglikolikasit kullanılmaktadır. Hidrosülfid ve tiouredioksit bunlardan en yaygın kullanılanlarıdır (Aniş ve Yıldırım 2003).



**Şekil 2.8.** Redüktif yıkama (Perkins 1996)

Redüktif yıkama genel olarak alkali ortamda gerçekleşmesine rağmen asidik ortamda da uygulanabilmektedir. Alkali ortamda gerçekleştirilen yıkamada kostik ve tiouredioksit kullanıldığında sıcaklık 90<sup>0</sup>C olması gerekirken, kostik ve hidrosülfid kullanıldığında

sıcaklık için 70-80<sup>0</sup>C'ler yeterli gelir. Alkali yıkama esnasında yüksek su tüketimi ve atık suya yüksek kükürt atığı bırakma gibi olumsuz yönleri bulunmaktadır. İndirgen yıkama ile elyafa yüzeysel olarak tutunmuş ölü boyarmadde daha küçük, suda çözünebilir ve renksiz parçalara ayrılmaktadırlar. Asidik ortamda gerçekleştirilen indirgen yıkamada ise boya banyosu, boyama bitiminde boşaltılmaz ve basıncın ortadan kalkması amacıyla çözelti soğutulur. Çözeltiye asidik indirgen ilavesi edilir, pH değerine bakılır. Eğer pH 4 civarında değilse asit ile ayarlanır ve asidik indirgen yıkamaya başlanır. Böylece su, enerji, zaman ve işçilik maliyetlerinde tasarruf sağlanır. (Balcı 2011).

Artık boyarmaddenin temizlenmesi kromofor gruplarına göre değişmektedir. Antrakinin boyarmaddeleri tamamen indirgemek mümkün değildir. Redüktif yıkama sonrası kalan antrakinin boyarmaddelerin kalıntıları için oksidatif bir uygulama kullanılabilir (Koh 2011).

Polyester mamüllerin Jet'lerde boyanmasında karşılaşılan sorunlardan bir tanesi oligomer oluşumudur. Normal olarak polyester liflerinde % 1,4 civarında oligomer bulunmaktadır. Lif içerisindeki bu oligomer miktarı yüksek sıcaklıklarda artmaktadır. Yüksek sıcaklıkta artan oligomerler flottede çözülmekte ve soğutma sırasında mamül üzerine veya makine çeperlerine çökmektedir. Bu çöken oligomerler toz oluşturmakta ve boyamanın nüansını bozmaktadırlar. Ayrıca makine çeperlerine birikerek makine duruşlarına neden olabilir (Yurdakul 2006).

Oligomerlerin olumsuz etkilerini gidermek için anılabilecek önlemler:

- Makinenin sık ve efektif temizlenmesi
- Boya banyosunu sıcakken boşaltmak
- Oligomer birikimini azaltıcı kimyasalların seçimi
- Alkali indirgen ard işlem
- Alkali boyama (Aniş ve Eren 2003).

Alınan önlemlere rağmen oligomer sorunu tamamen çözülebilmemiş değildir. Polyester boyamadaki son gelişme boyamanın alkali ortamda yapılmasıdır. Alkali şartlara uygun dispers boyarmaddelerle alkali ortamda yapılan boyamaların en önemli avantajı oligomer sorununun oluşmamasıdır (Yurdakul 2006).

### **2.1.3.3. Termosol boyama metodu**

Termosol boyama prosesi ağırlıklı olarak örme ve dokuma kumaşlarda kullanılan polyester ve polyester/selüloz lif karışımlarının dispers boyarmaddelerle boyanması için önemli bir kontinü işlemdir. Bu metot, 1949 yılında Du Pont firması tarafından Termosol ticari adı altında polyester ve polyester karışımı mamullerin dispers, küp leuko ester ve bazı küp boyarmaddeleri ile boyanması için geliştirilmiş bir yöntemdir (Manian 2002).

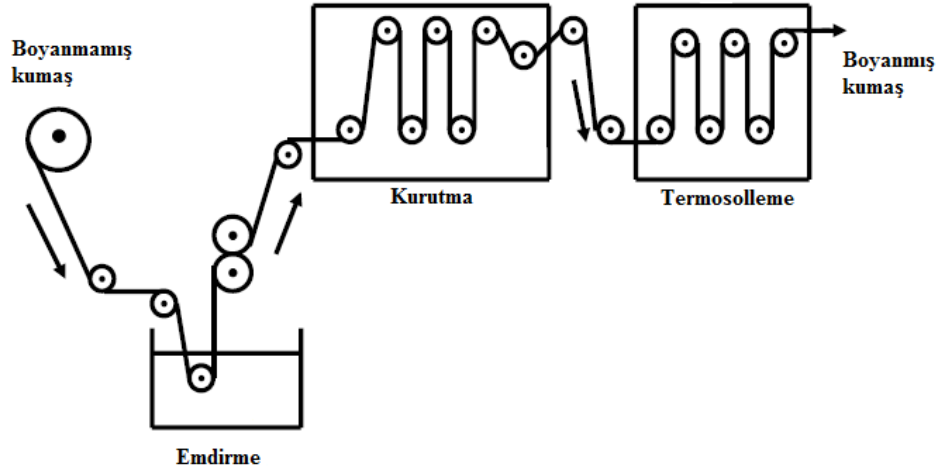
Termosol boyama metodu, çok ince bir dispers boyarmadde tabakası ile çevrelenen polyester lifinin yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak (180-220<sup>0</sup>C), boyarmaddenin lif içerisine difüzyonunun sağlanması esasına dayanmaktadır. Boyarmaddenin 200<sup>0</sup>C'deki difüzyonu 100-120<sup>0</sup>C sıcaklık seviyesine oranla daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bugün en fazla polyester/selüloz karışımlarına uygulanan bir boyama yöntemidir (Vigo 1994, Burkinshaw 1995).

Bu boyama yönteminde kullanılacak boyarmaddelerin fiksaj verimi/termosolleme sıcaklığı eğrileri birbirinden farklı olabilmektedir. Bu tür farklı eğrilere sahip boyarmaddelerin kombinasyonundan kaçınarak olabildiğince benzer eğrilere sahip boyarmadde kombinasyonu seçilmesine dikkat edilmelidir. Dikkat edilmezse termosolleme sıcaklığına bağlı olarak boyama nüansında kaymalar meydana gelebilmektedir (Yurdakul 2006).

Termosol yöntemi, kontinü bir yöntem olduğundan diğer polyesterin boyama yöntemlerine göre üretim hızı yüksektir. Bu yöntemde kumaş, enine açık olarak işlem gördüğü için boyarmaddenin fiksesi ile birlikte polyesterin termofiksesi aynı anda yapılabilir

([http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Sentetikleri%20Boyama%201.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sentetikleri%20Boyama%201.pdf), 2011e).

Kumaş bir fulardda boya banyosu ile fularlanır. Fulardlamadan sonra kumaş üzerine uygulanan boya flottesinin akmaması ve boyarmaddenin göç etmemesi sağlanmalıdır. Fulardan çıkan yaş kumaş, üzerindeki boya ve kimyasal tabakasının bozulmaması için genellikle fulardın üzerine yerleştirilen ön kurutma kanalına girmektedir. Esas kurutma sıcaklığı kurutucunun özelliğine ve kumaş cinsine göre 100–140<sup>0</sup>C’de yapılmaktadır. Termosolleme işleminden çıkan kumaşın ard işlemleri genellikle geniş yıkama makinelerinde durulama ve indirgen yıkama şeklinde yapılmaktadır (Yurdakul 2006).



**Şekil 2.9.** Termosol boyama prosesi işlem akışı (Manian 2002)

Termosol boyama yöntem bazı işlem basamaklarından (Şekil 2.9) oluşmaktadır.

- Kumaşın dispers boyarmadde flottesini ile fularlanması,
- Ara kurutma (Ön kurutma + Esas kurutma),
- Termosolleme,
- Ard işlem (Yıkama + Kurutma) adımlarından oluşmaktadır (Uğur 2004, Yurdakul 2006).

Fularlama işleminde, reçeteye göre hazırlanan dispers boyarmadde dispersiyonu emdirme banyosu aracılığıyla kumaş üzerine emdirilir. Emdirme boya banyosunda

dispers boyarmaddelerin yanı sıra, anti-migrasyon maddesi, pH düzenleyici ve gerektiğinde absorpsiyon hızlandırıcı maddeler de içermelidir. Bu aşamada kumaşın homojen bir şekilde emmesi önemlidir. Polyester liflerinin hidrofob karakteri nedeni ile mamule applike edilen flotte lifler tarafından emilmeyip, liflerin yüzeyinde bir boyarmadde ve yardımcı kimyasal tabakası oluşturmaktadır (Koh 2011).

Kurutma işlemi esas olarak iki aşamadan oluşur. Birinci aşamada ön kurutma işlemi yapılır. Ön kurutma işlemindeki amaç, kumaş üzerindeki nem miktarını % 20–30 düşürerek migrasyonu en aza indirmektir. Bu kurutma işlemi daha az boyarmadde migrasyonu sağlayan hot flue veya infrared kurutucular kullanılarak gerçekleştirilir. Ön kurutmadan sonra 100–120°C’de esas kurutma işlemi yapılır. Kurutma işlemi sonunda mamul üzerindeki suyun tamamı uzaklaştırılır. Kurutma işlemi ile boyar madde, kumaş üzerinde bir film tabakası oluşturur ([http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Sentetikleri%20Boyama%201.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sentetikleri%20Boyama%201.pdf), 2011e).

Termosolleme işleminde, 180–220°C’de 30-60 saniye sürede kuru kumaş üzerindeki film tabakasından boyarmaddeler ısınarak elyaf içerisine difüzyonlanır ve fikse olurlar. Termosollemenin 200°C civarında yapılmasının nedeni, bu sıcaklıkta boyarmaddeler liflerin molekül zincirlerine daha iyi nüfuz edebilmesi yani boyama veriminin iyi olmasından kaynaklanmaktadır (Uğur 2004).

Termosol boyama yönteminde optimal termosolleme süresi;

- Kumaşın özelliğine (m<sup>2</sup> ağırlığı),
- Termosollemede kullanılan cihaza (ramöz, hot-flue, silindirik kurutucu),
- Boyarmaddenin cinsine ve boyama koyuluğuna,
- Termosolleme sıcaklığına

bağlı olarak 15-90 saniye arasında değişmektedir (Yurdakul 2006).

## 2.2. Tekstil Atık Sularının Özellikleri

Tekstil, deri ve boya endüstrisi gibi farklı endüstrilerden kaynaklanan atık sular potansiyel kanserojen olarak bilinen tehlikeli ve toksik bileşikleri içermektedirler. Hacmi ve kompozisyonu göz önüne alındığında tekstil endüstrisinden kaynaklanan atık sular diğer endüstriyel sektörlere oranla daha fazla kirletici özelliğe sahiptir. Tekstil endüstrisinin atıksuları içerdikleri çok çeşitli kimyasallardan ve boyarmaddelerden dolayı arıtılması zor olan endüstriyel atık sulardır. Tekstil endüstrisinde yıkama ve boyama proseslerinde yüksek su tüketimi nedeniyle atık su oluşumu oldukça fazladır (Vandervivere ve ark. 1998).

Tekstil atık sularının ortak özellikleri; yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (yüksek KOİ), yüksek biyolojik oksijen ihtiyacı (yüksek BOİ), yüksek sıcaklık, yüksek pH, askıda katı maddeler ve çeşitli boyarmaddelerin neden olduğu renktir. Tekstil atık sularındaki önemli kirleticiler, temel olarak organikler, renk, toksik maddeler, inhibitör bileşikler, yüzey aktif maddeler, adsorbe olabilen organik halojenler<sup>5</sup> (AOX), pH ve tuzların yanı sıra boyarmaddelerdir (Başbuğ 2008).

### Çizelge 2.1. Boyarmadde üretim miktarları

(<http://www.chinainterdy.com/en/newstotwo.aspx?id=97>, 2009)

Boyarmadde sınıfı	2004 (ton)	2005 (ton)	2006 (ton)	2007 (ton)	2008 (ton)
Dispers	236 670	264 223	309 365	351 762	263 484
Reaktif	110 000	104 037	174 731	188 571	191 500
Vat	48 130	52 826	56 240	44 341	44 578
Asit	19 675	32 963	40 595	26 558	43 528
Katyonik	23 348	21 178	18 886	11 860	16 075
Sülfür	88 465	85 722	83 552	91 035	96 858
Organik Pigment	143 600	156 585	182 600	172 608	184 890

Sentetik boyarmaddeler, değişik endüstrilerde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Tekstil endüstrisi yaklaşık 10 000 farklı boya kullanmakta olup dünyadaki yıllık üretimi  $7 \times 10^5$  tonun üstündedir (Polat 2010). Boyarmaddelerin iç piyasa ortalama tüketim miktarları; reaktif boyarmaddeleri 7000 ton/yıl, dispers boyarmaddeler 3500 ton/yıl, bazık boyarmaddeler 1000 ton/yıl ve pigment pasta 1500 ton/yıl olarak bildirilmiştir ([http://www.ekoteks.com/tr/images/sempozyum3/pdf/SETAS\\_KIMYA.pdf](http://www.ekoteks.com/tr/images/sempozyum3/pdf/SETAS_KIMYA.pdf), 2013a).

Boyama, diğer tekstil prosesleri olan ön terbiye, yıkama ve apre işlemlerine göre oldukça fazla miktarda su ve kimyasal madde tüketen bir prostedir. Boyama işleminde oluşan atık suların içerisinde önemli miktarda banyo kalıntıları ve fikse olmamış boyarmaddeler bulunmaktadır (Grau 1991). Sentetik boyarmaddelerin kumaşa uygulandıktan sonra % 10-20 kumaşa tutunmadığı için atık sularla deşarj edilmektedir (Chen ve ark. 2011).

Tekstilde bir çok üretim prosesi olduğu için proses atık sularının miktarı ve karakteristiği yönünden değişiklik göstermektedir. Bu karakteristik elyaf cinsi, uygulanan işlemler ve kullanılan kimyasal maddelere bağlı olarak değişiklik gösterir (Özyonar ve Karagözoğlu 2012). Boyalı atık suların karakterizasyonu, boyaların kimyasal yapısındaki farklılıklardan ve boyama prosesinin değişim göstermesinden dolayı karmaşık bir yapıya sahiptir. Farklı boyaların kullanıldığı ve farklı elyafların boyandığı boyahane atık sularının karakterizasyonuna ilişkin bazı değerler (Çizelge 2.2) görülmektedir (Correia ve ark. 1994).

**Çizelge 2.2.** Boyama atık sularının karakteristikleri (ADMI: Amerikan Boya İmalatçıları Enstitüsü renk birimi, BOİ: Biyolojik Oksijen İhtiyacı, TOK: Toplam Organik Karbon, AKM: Askıda Katı Madde, ÇKM: Çözünmüş Katı Madde) (Correia ve ark. 1994)

Boya türü	Elyaf çeşidi	Renk ADMI	BOİ, mg/l	TOK, mg/l	AKM, mg/l	ÇKM, mg/l	pH
Asit	Poliamid	4000	240	315	14	2028	5.1
1:2 Metal Kompleks	Poliamid	370	570	400	5	3945	6.8
Bazık	Akrilik	5600	210	255	13	1469	4.5
Direkt	Viskoz	12500	15	140	26	2669	6.6
Reaktif, kesikli	Pamuklu	3890	0	150	32	12500	11.2
Reaktif, sürekli	Pamuklu	1390	102	230	9	691	9.1
Vat	Pamuklu	1910	294	265	41	3945	11.8
Dispers, yüksek sic. 'ta	Polyester	1245	198	360	76	1700	10.2



### 2.3. Tekstil Atık Sularının Çevreye Etkileri

Ülkemizde tekstil proseslerinden kaynaklanan atık suyun toplam hacmi 150 milyon m<sup>3</sup>/yıl civarındadır (İnce ve Tezcanlı 1999). Tekstil endüstrisinde kullanılan boyarmadde kaynaklı renk, atık sularda tanımlanmış ilk kirleticidir ve nehirlere veya karaya deşarj edilmeden önce atık sudan uzaklaştırılmalıdır.



**Şekil 2.10.** Atık suların nehir ve göllere verilmesi (<http://www.haberler.com/ergene-nehri-ne-dokulen-atik-sularin-renk-3298685-haberi/>, 2012b)

Tekstil endüstrisi atık suları çok sayıda kimyasal madde ve boyarmaddeler içerir, bu nedenle arıtılmaları zordur. Farklı organik maddeler, çözülmüş tuzlar ve ağır metal içerdiklerinden dolayı yüksek derecede boyanmış ve renkli görünümde olup, bulanıklık ve değişen pH'larda dış ortama bırakıldıklarından birinci derecede arıtımlarına ihtiyaç duyulur (Aniş ve Eren 1998).

Alıcı ortama verilen boyarmaddeli atık sular su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltır ve ışığın yansımaya engel olduğu için ışığın suya girişini engelleyerek sudaki doğal dengeyi bozarlar. Fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler. Ayrıca boyarmaddelerin bazı sucul organizmalarda birikmesi toksik ve kanserojenik ürünlerin meydana gelme riskini de beraberinde getirmektedir. Boyarmadde içeren tekstil endüstrisi atık sularının renk giderim prosesleri ekolojik açıdan önemli olmaktadır. Ancak kompleks kimyasal yapılarına ve sentetik kökenlerine bağlı olarak, boyarmaddelerin giderilmesi oldukça zor bir işlemdir (Kocaer ve Alkan 2002).

## **2.4. Tekstil Atık Sularının Arıtımında Kullanılan Yöntemler**

Tekstil atık sularının arıtımında geleneksel yöntemler; biyolojik, fiziksel ve kimyasal yöntemlerin çeşitli kombinasyonlarından oluşmaktadır. Atık suların arıtımında aerobik ve anaerobik parçalanma olarak sınıflandırılan biyolojik yöntemler de kullanılmaktadır. Fiziksel metotlar; adsorpsiyon, iyon değişimi, membran filtrasyon yöntemlerinden ibarettir. Kimyasal yöntemler; fenton ajanları, fotokimyasal, sodyum hipoklorit, kimyasal çöktürme ve flokleştirme, ozonlama yöntemlerinden oluşur.

### **2.4.1. Biyolojik yöntemler**

Biyolojik metotların uygulanması ucuz ve basittir. Ancak, aktif çamur gibi klasik biyolojik arıtım yöntemleriyle boyalı atık sular büyük oranda giderilememektedir (Gürtekin ve Şekerdağ 2008). Biyolojik yöntemler aerobik ve anaerobik yöntemlerden oluşmaktadır.

Biyolojik arıtım, denizleri ve akarsuları kirleten maddelerin alıcı ortama bırakılmadan önce belli bir yerde toplanarak biyokimyasal parçalanmanın daha hızlı ve kontrollü bir şekilde yapıldığı bir metottur. Biyolojik arıtmanın ana prensibi mikroorganizmaların enzimleri tarafından atıksularda çözünen ve çözünmeyen organik maddeleri özümleyerek kolay ayrılabilen çamurlar haline getirmeleridir (Karaoğlu 2007).

Tekstil atık suların arıtılmasında geleneksel biyolojik yöntemlerini kullanmanın temel sorunu boyarmaddelerin suda çözünen yapısı, yüksek molekül ağırlığı ya da katyonik yapıları nedeniyle çökertilmiş veya aktive edilmiş çamur üzerinde boyarmaddelerin adsorpsiyonudur. Atık suyun tekrar kullanımı için gerekli olan su kalitesini elde etmek basit biyolojik sistemler ile yetersizdir. Boyarmaddelerin adsorpsiyon probleminin yanında aerobik parçalanmaya da dayanıklıdırlar (Uzal 2007).

Biyolojik arıtma yöntemleri arasında bazı farklılıklar (Çizelge 2.3) görülmektedir.

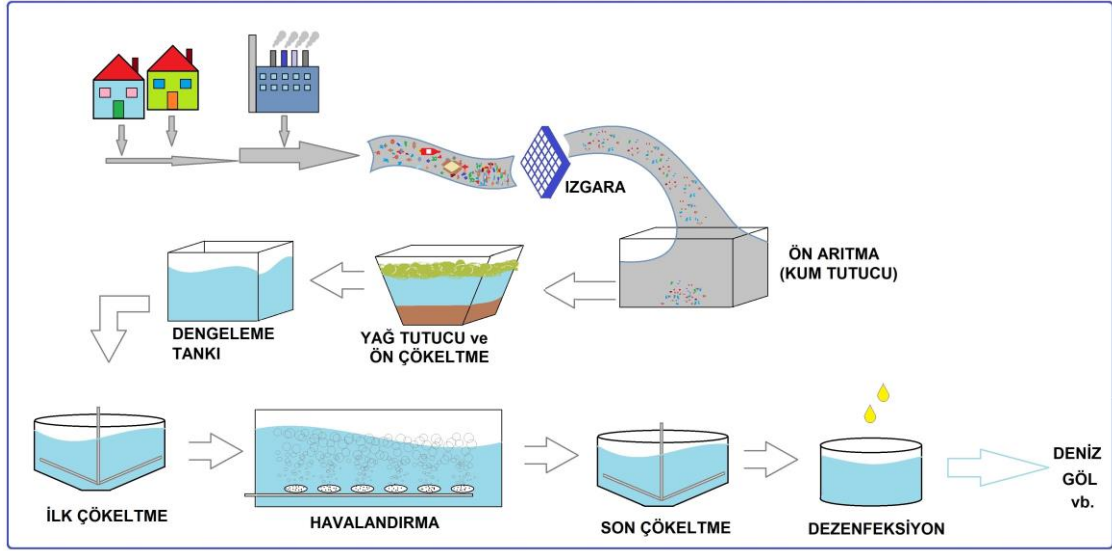
**Çizelge 2.3.** Aerobik ve anaerobik arıtmadaki temel farklılıklar (Mittal 2011)

PARAMETRE	AEROBİK ARITMA	ANAEROBİK ARITMA
Proses Prensipleri ve Son Ürünler	- Oksijen varken - Son ürünler: CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, aşırı biyokütle	- Oksijen yokken - Son Ürünler: CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , aşırı biyokütle
Uygulamalar	Biyolojik parçalanması zor olan orta kirlilik için düşük ve atıksu (Örneğin, belediye kanalizasyonu, rafineri atıksu)	Yüksek organik kirleri orta ve kolayca biyolojik arıtma (Örneğin, nişasta/ şeker/ alkol zengin yiyecek ve içecek atıksuyu)
Kinetik Reaksiyon	Nispeten Hızlı	Nispeten yavaş
Net Çamur Verimi	Nispeten Hızlı	Nispetendüşük (aerobik tedavi süreçlerinin genel olarak beşte birinden onda birine kadar)
Ön Arıtma	Genellikle doğrudan akıntı veya filtrasyon/ dezenfeksiyon	Değişmez aerobik muamele takip eder
Kaplama Alanı	Nispeten büyük	Nispeten küçük ve kompakt
Sermaye Yatırımı	Nispeten yüksek	Nispeten düşük geri ödemeli
Teknoloji	Aktif çamur	Sürekli reaktör, yukarı akış anaerobik çamur, ultra yüksek hız akışkan yataklı reaktörler, karıştırıcı tanklar

### **Aerobik arıtma**

Endüstriyel atık suların arıtılmasında yaygın olarak kullanılan geleneksel aktif çamur sistemleri için tekstil endüstrisindeki birçok boya bileşiği ya biyolojik olarak çok zor indirgenebilmekte ya da inert kalmaktadır. Çünkü ticari boyaların çoğu kompleks bir yapıya sahiptir ve kimyasal yapısı ile moleküler büyüklüğünden dolayı biyolojik olarak parçalanamamaktadır (Aulia 2010). Azo boyarmaddeler gibi sentetik boyaların aerobik şartlar altında mikrobiyel parçalanmaya karşı dirençli olmasının nedeni boya malzemelerinin, kimyasal ve ışık kaynaklı oksidatif etkiler sonucu, renklerinin solmasını önleyecek şekilde üretilmeleridir (Uzal 2007).

Aktif çamur sistemi, aerobik biyolojik aktif ürünlerin (mikroorganizma) atıksu ile havalandırılarak karıştırıldığı ve oluşan flokların bir yerde çöktüğü sürekli bir sistemdir (Curi 2005). Aktif çamur sistemi dengeleme, havalandırma, çöktürme ve dezenfeksiyon aşamalarından oluşur (Şekil 2.11).



**Şekil 2.11.** Aktif çamur sistem şeması (<http://www.bilcev.com.tr/atik-su-aritma-tesisleri.aspx>, 2011c)

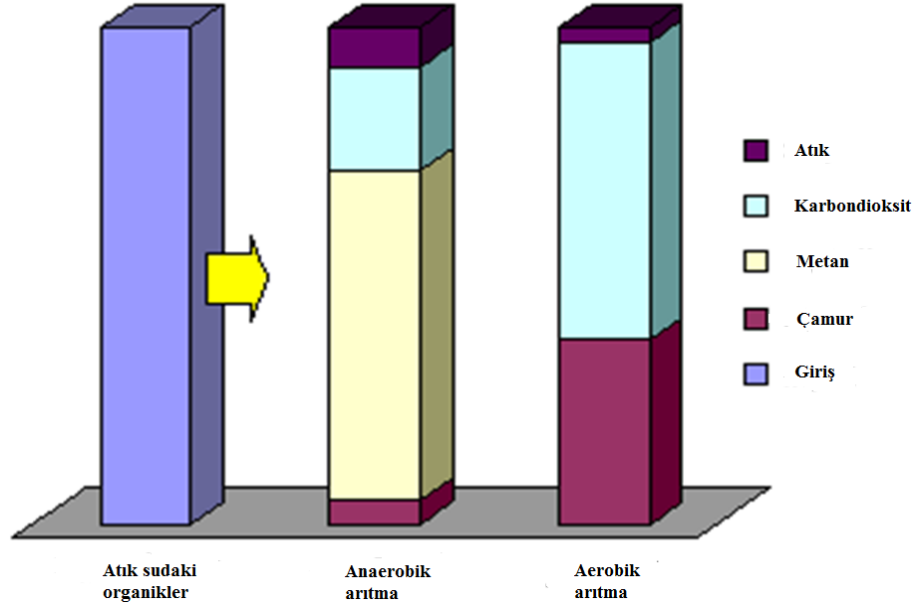
Biyolojik arıtma ünitesi, havalandırma sonucu organik maddelerin askıda büyüyen mikroorganizmalar tarafından parçalanması prensibiyle çalışır. Mikroorganizmaların organik maddeleri oksitlemesi sonucu organik maddeler ya okside olur ya da biyokütleyle dönüşür. Gereken arıtma veriminin sağlanması için oluşan biyokütlenin bir kısmı çöktürme kademesinde fazla çamur olarak sistemden atılırken, bir kısmı havalandırma ünitesine geri verilir. Aktif çamur sürecinde bakteriler en önemli mikroorganizmalardır, çünkü organik maddelerin parçalanmasından sorumludurlar (Yüce 2007).

Aerobik yöntem tek başına kullanıldığında, suda iyi çözünen bazik direkt ve bazı azo boyarmaddelerinin olması durumunda mikroorganizmalar bu tür bileşikler biyolojik olarak indirgeyememekle birlikte boyanın bir kısmını adsorbe ederek atık suyun rengini almakta ve renk giderimi sağlanmaktadır (Kocaer ve Alkan 2002).

## Anaerobik arıtma

Anaerobik prosesler, organik kirliliği yüksek olan atık suların arıtımında kullanılır. Proseste anaerobik ayrışma asit ve metan tarafından gerçekleştirilir. Atık suyun anaerobik şekilde arıtılması organik ve inorganik maddelerin moleküler oksijenin bulunmadığı bir ortamda anaerobik mikroorganizmalar tarafından çözümlenmesi ile gerçekleşir (Curi 2005).

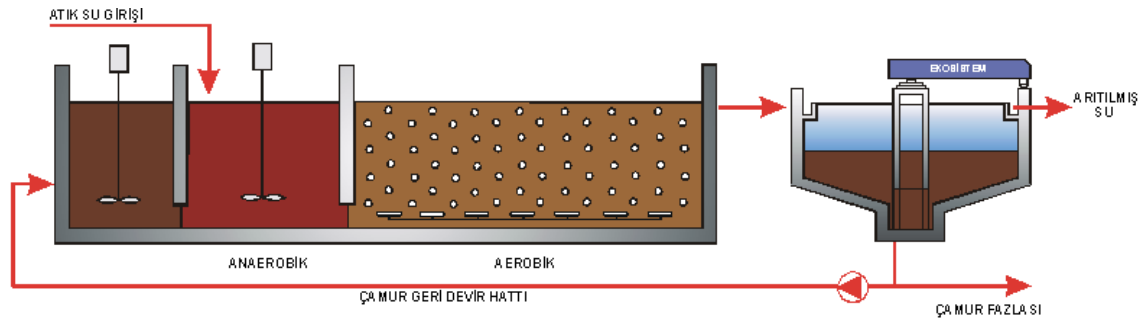
Atık su içerisindeki organik maddelerin anaerobik ortamda ayrışması en basit haliyle iki temel aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşamada (hidroliz ve asit fermentasyonu), organik maddelerin asit bakterileri tarafından organik asitlere, alkollere ve CO<sub>2</sub>'ye dönüşümü gerçekleşmektedir. İkinci aşama (metan oluşumu) ise asit bakterilerinin parçalama reaksiyonları sonucunda oluşan ürünlerin, metanojenler tarafından metan, CO<sub>2</sub> ve suya dönüştürülmesini içermektedir. Bu prosesler sonucu oluşan metan gazının kalori değeri yüksektir ve enerji kaynağı olarak kullanılabilir (Korkut 2013).



**Şekil 2.12.** Aerobik ve anaerobik yöntemlerin çıkış ürün miktarlarının karşılaştırılması (<http://www.ebsbiowizard.com/2011/08/aerobic-vs-anaerobic-treatment-in-wastewater-systems-part-1-2/>, 2011b)

Bu yöntemle tekstil atıklarının % 60-70'inde bulunan ve klasik yollarla arıtılmayan azo boyalar ve diğer çözümlü boyalar dekolorize edilirler. Bu işlem oksidasyon redüksiyon mekanizmaları ile gerçekleşir. Anaerobik sistemin büyük bir avantajı biyogaz üretimidir. Oluşan biyogaz ısı ve güç kaynağı olarak yeniden kullanılabilir ve enerji maliyetini düşürür. Birçok atık su çeşidi için uygulanabilmesi, enerji gerektirmemesi, hatta fazladan enerji üretebilmesi, düşük teknolojiyle çalışabilmesi ve maliyetinin düşük olması gibi avantajlara sahiptir (Yüce 2007).

Anaerobik şartlarda arıtma da atıklardan enerji geri kazanımını sağlayan ve uzaklaştırılması gereken atığı en az olan bir biyolojik arıtma teknolojisidir. Anaerobik şartlarda arıtma ile atık su içindeki organik maddeleri enerji amacı ile kullanılabilir biyogaza dönüştürmek mümkündür. Böylece hem atık suyun kirlilik yükü düşürülür hem de biyogaz üretilir (Korkut 2013).



**Şekil 2.13.** Anaerobik-aerobik aktif çamur sistemi (orhankural.net/wp-content/uploads/2013/.../ATIK-SU-VE-ARITMA.ppt, 2013)

Son zamanlarda tekstil atık sularının renk gideriminde anaerobik ve aerobik sistemlerin beraber kullanılması üzerine çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Boyarmadde içeren atık suların kombine anaerobik aerobik sistemlerle arıtılması sonucu ilk basamakta etkili bir renk giderimi sağlanmakta ve anaerobik ortamda dirençli olan aromatik aminler aerobik basamakta giderilebilmektedir (O'neill ve ark. 2000, Uzal 2007).

Yapılan bir araştırmaya göre; bir pamuklu tekstil fabrikasının atıksuyunu temsil eden simüle atık suyun anaerobik/aerobik ardışık bir biyolojik arıtım sistemi kullanılmış ve sistemin arıtım verimi değerlendirilmiştir. KOİ'nin büyük bir kısmı anaerobik reaktörde giderilirken geri kalan kısmı aerobik reaktörde giderilmiştir. Anaerobik reaktörde KOİ

giderim verimi % 67 iken, aerobik reaktörde % 77 ve toplam sistemde % 92 verim elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, tam renk giderimi sağlanmıştır. Aerobik reaktörde atıksu içindeki azo boyarmaddelerinden kaynaklanan rengin gideriminde başarılı olmadığı da vurgulanmıştır (Işık ve Sponza 2004).

#### **2.4.2. Fiziksel yöntemler**

Fiziksel arıtma teknikleri başarılı bir renk giderimi sağlasa da çamur gibi katı atık üretmek gibi bir dezavantajı vardır. Tekstil endüstrisi atık sularının arıtımında adsorpsiyon, membran filtrasyonu, iyon değişimi ve elektrokoagülasyon en yaygın kullanılan fiziksel yöntemlerdir.

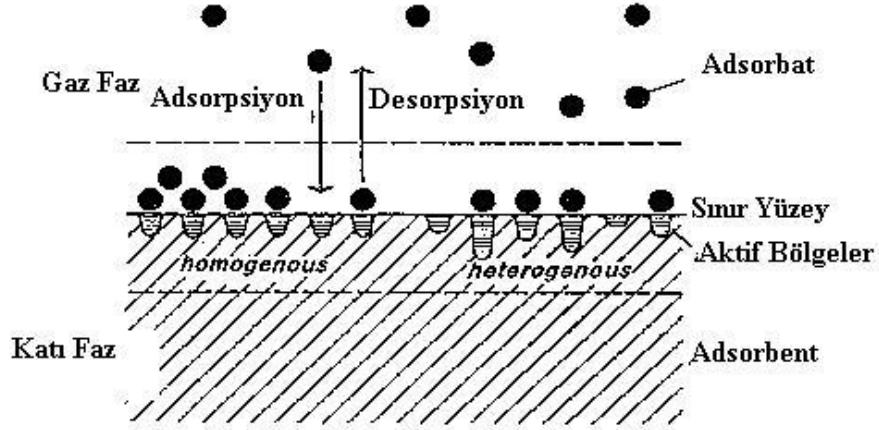
#### **Adsorpsiyon yöntemi**

Atık suların arıtılmasında adsorpsiyon metodu hem ucuz hem de etkili bir metot olarak göze çarpmakta ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Adsorpsiyon teknikleri geleneksel metotlar için fazla kararlı olan kirleticilerin giderimindeki verimlilikten dolayı son yıllarda ilgi görmektedir. Adsorpsiyon prosesi, boya/sorbent etkileşimi, adsorbanın yüzey alanı, tanecik büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresi gibi pek çok fizikokimyasal faktörün etkisi altındadır (Aulia 2010).

Adsorpsiyon, klasik arıtma ile arıtılması güç olan zehirlilik, renk, koku vb. kirlilik oluşturan kimyasal maddelerin adsorplayıcı bir katı madde (adsorban) yüzeyinde kimyasal ve fiziksel bağlarla tutunarak ayrılması işlemidir (Erkut 2008).

Bir çözeltide çözünmüş olarak bulunan iyon ya da moleküllerin, uygun bir ara yüzeyde yoğunlaşması işlemine adsorpsiyon, tutunan taneciklerin yüzeyden ayrılmasına desorpsiyon adı verilir. Adsorpsiyon işlemi herhangi iki değişik fazın arakesitinde meydana gelebilir; sıvı-sıvı, gaz-katı, sıvı-katı gibi. Yüzeyde tutulan maddeye adsorplanan, yüzeyinde tutanlara adsorban denir. Adsorplama kapasitesi yüksek olan bazı katılar; killer, zeolitler, kömürler ve çeşitli metal filizleri şeklinde; yapay katılar ise

aktif kömürler, uçucu küller, yapay zeolitler, silika jeller ve metal oksitleri şeklinde sıralanabilir (Karaoğlu 2007).



**Şekil 2.14.** Katı faz üzerinde adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemleri

(<http://www.kimyaevi.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFF8007620E7D5602E8572D351204A6037B>, 2013)

Adsorbsiyon üç temel adımda oluştuğu belirtilmektedir. Film difüzyonu; adsorplanacak olan çözünen moleküller karbon partiküllerinin içine girerek yüzey filmi oluştururlar. Gözenek difüzyonu; karbon gözeneklerinden, adsorpsiyon merkezine çözünen moleküllerin göçünü içerir. Karbon yüzeylerine çözünen moleküllerin yapışması; çözünen molekül, karbon gözenek yüzeyine bağlandığında tutunma meydana gelir (<http://www.kimyaevi.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFF8007620E7D5602E8572D351204A6037B>, 2013).

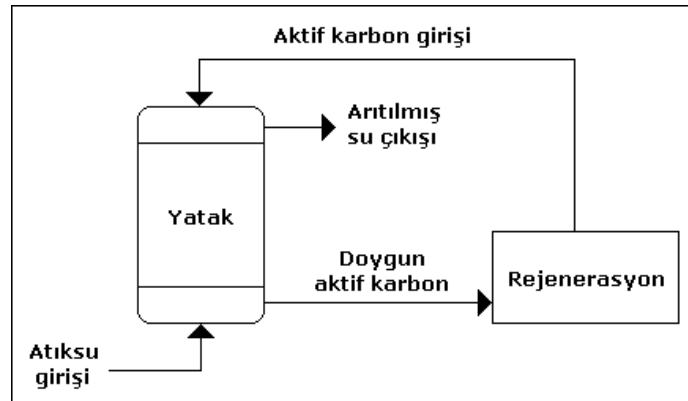
Adsorpsiyon fiziksel ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılır.

Fiziksel adsorpsiyon, moleküller arası zayıf çekim kuvvetlerinden veya van der Waals kuvvetlerinden dolayı meydana gelmektedir. Adsorbe olan molekül katı yüzeyine bağlanmamış olup, yüzey üzerinde hareketli bir konumdadır. Fiziksel adsorpsiyon genellikle tersinirdir. Düşük adsorpsiyon ısı ile karakterize edilir ve adsorpsiyonun derecesi sıcaklık yükseldikçe azalır (<http://biyokure.org/adsorpsiyon-turleri/6490/>, 2011a).



Kimyasal adsorpsiyon, yüzey moleküllerinin değerlik kuvvetleri nedeniyle yüzey üzerinde adsorplanan maddenin monomoleküler tabakası ile bir kimyasal bağın oluşmasından kaynaklanır. Genellikle adsorplanan yüzey üzerinde bir molekül kalınlığında bir tabaka oluşturur, moleküller yüzey üzerinde hareket etmezler. Kimyasal adsorpsiyonda bağlanma çok kuvvetli olduğundan olay tersinmezdir (Karaoğlu 2007).

Adsorbsiyonla 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 (Kocaer ve Alkan 2002).

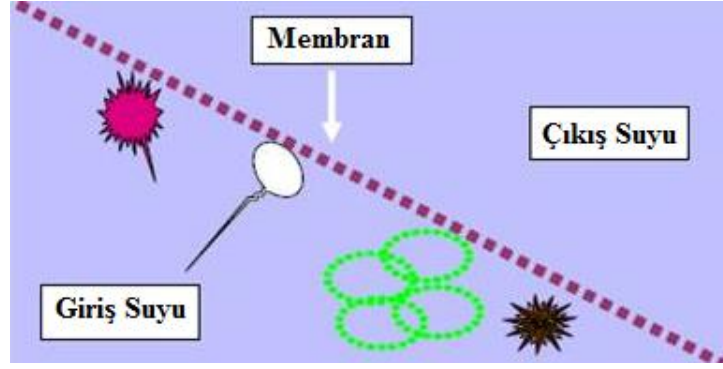


Şekil 2.15. Akışkan yataklı sürecin akım şeması (Öztürk ve ark. 2005)

Aktif karbon ile adsorbsiyon olayını; aktif karbonun özelliği, adsorbe edilen maddenin özelliği ve konsantrasyonu, atıksuyun özelliği (pH, askıda katı madde, vb) etkileyen başlıca faktörlerdendir (<http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10095.pdf>, 2005).

### Membran filtrasyon yöntemi

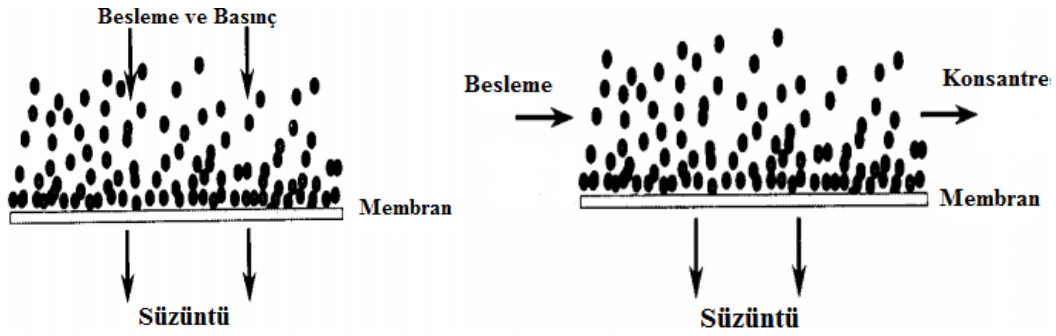
Membran, iki farklı fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve bir tarafından diğer tarafa maddelerin seçici bir şekilde taşınmasını sağlayan geçirgen bir tabakadır (Öztürk ve ark. 2005).



**Şekil 2.16.** Membran filtrasyon mekanizması

([http://water.me.vccs.edu/exam\\_prep/mfiltration.html](http://water.me.vccs.edu/exam_prep/mfiltration.html), 2004)

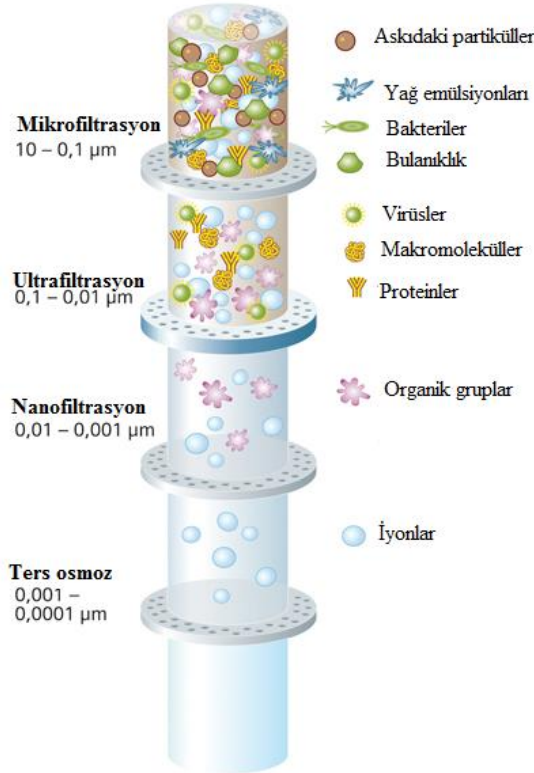
Membran arıtımında, atık sudaki bileşenler membranın bir tarafından diğer tarafına basınç, elektriksel potansiyel ve konsantrasyondan kaynaklanan sürücü kuvvetler vasıtasıyla geçirilir. Partiküller membranların mikroskobik gözeneklerinde tutulurlar. Membranın tipi ve yapısal özellikleri, sıcaklık, basınç farkı, beslemenin akış hızı ve fiziksel özellikleri (vizkozite, yoğunluk) arıtma işleminin performansını etkileyen önemli işlem parametreleridir (<http://www.wwdmag.com/desalination/membrane-filtration-water-and-wastewater>, 2000).



**Şekil 2.17.** Membran çalışma prensipleri: düşey ve yatay akışlı filtrasyon (<http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/web/userAnnouncementsFiles/dosyaaf9b91652478418681dc155d2f251265.pdf>, 2013b)

Filtrasyonda su gözenekli bir ortamda akarken içerisinde bulunan safsızlıklar filtre ortamı tarafından tutulmaktadır. Filtreler suyun akış yönüne göre yatay akışlı, düşey akışlı, yukarı akışlı ve radyal akışlı olarak isimlendirilebilmektedir (<http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10095.pdf>, 2005).

Membranların gözenek boyutları ve konfgürasyonlarına göre farklı türde filtrasyon teknikleri mevcuttur. Büyük parçacıklardan çözülmüş bileşiklerin bertaraf edilmesine kadar çok sayıda membran filtrasyon uygulamaları mevcuttur. Membran ayırma prosesleri mikروفiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmos (RO) olmak üzere dört temel sınıftan oluşmaktadır ([http://water.me.vccs.edu/exam\\_prep/mfiltration.html](http://water.me.vccs.edu/exam_prep/mfiltration.html), 2004)



**Şekil 2.18.** Farklı membran bariyerleri

([http://www.industry.siemens.com/industrysolutions/de/en/water-treatment/products\\_chemfeed\\_filtration/membrane\\_filtration\\_separation/pages/default.aspx](http://www.industry.siemens.com/industrysolutions/de/en/water-treatment/products_chemfeed_filtration/membrane_filtration_separation/pages/default.aspx), 2014b)

Mikrofiltrasyon, besleme suyunun bulanıklığını azaltmak veya askıdaki katı madde ve bakterileri uzaklaştırmak için kullanılır. Bu proses ile parçacık boyutu büyük olan kirleticiler giderilir (<http://www.napier-reid.com/Include/pdf/Membrane.pdf>, 2007a).

Ultrafiltrasyon, yüksek molekül ağırlığına sahip çözülmüş maddeleri, mikroorganizmaları ve askıda katı maddeleri hidrostatik bir basınç kullanarak yarı

geçirgen zar yardımıyla uzaklaştıran bir ayırma prosesidir. Gözenek büyüklüğü mikrofiltrasyondan daha küçüktür. Ultrafiltrasyon membranlar genellikle 0,01-0,05 mikron ( $\mu\text{m}$ ) arasında gözenek boyutlarına sahiptir (Vegt ve Iliev 2012).

Nanofiltrasyon, genelde sulardan çok değerlikli iyonları ve düşük molekül ağırlıklı organik maddeleri gidermek amacıyla kullanılmaktadır. Yaklaşık 0,001  $\mu\text{m}$  por çapına sahip olup membranlarının moleküler ayırma sınırı 80-1000 da arasındadır. Böylece bu molekül ağırlığına sahip bileşenler daha büyük molekül ağırlığına sahip bileşenlerden kolayca ayrılabilir. Nanofiltrasyonda nispeten daha az geçirgen olan membran tabakasının göstermiş olduğu dirençten dolayı, mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyondan daha yüksek basınçlarda çalışılır (Wang ve ark. 2011, Alan ve Tercan 2012).

Ters ozmos, mümkün olan en yüksek seviyede süzmedir. RO prosesi atık sudan inorganik tuzları ayırmada ve atıksudaki belli organik çözücülerin gideriminde kullanılır. En küçük gözenek boyutuna sahip olan ve bu yüzden çok yüksek basınca ihtiyaç duyan prosestir (Öztürk ve ark. 2005).

Membran teknolojisiyle boyanın sürekli olarak arıtılarak atık sudan ayrılması mümkün olmaktadır. Diğer yöntemlere göre en önemli üstünlüğü, sistemin sıcaklığa, beklenmedik bir kimyasal çevreye ve mikrobiyal aktiviteye karşı dirençli olmasıdır (Kocaer ve Alkan 2002, Aulia 2010).

Membran filtrasyon sistemleri, boyalar ve diğer kimyasal maddelerin hiçbir kimyasal ya da fiziksel deformasyona uğramadan geri kazanımını da mümkün kılabilir. Ham tekstil atık sularının membran sistemler kullanılarak geri kazanımında yoğunlaşan maddenin uzaklaştırılması ve tıkanma problemleri, sıklıkla membran değiştirme sebebiyle maliyet artışı, enerji maliyeti, işletme güçlüğü gibi problemler oluşabilmektedir. Membran sistemleri renk gideriminde tek başına kullanılamamaktadır. Bu sebeple, tekstil atık sularının membran sistemlere verilmeden önce ön arıtmadan geçirilmesi uygun olmaktadır. Bu bağlamda, membran sistemler, hem ekonomik, hem de ekolojik yararlar sağlayabilmektedir (Kocaer ve Alkan 2002, Kayıkoğlu ve ark. 2012).

Membran sistemler kullanılarak atık su deşarjı % 63 oranında azaltılabilmekte ve geri kazanılan su birçok proste kullanılabilir. Geri kazanım ve tekrar kullanım yoluyla yeraltı suyu rezervlerinin daha az kullanılması da sağlanmaktadır. Bu çevresel faydalar, çoğu zaman membran sistemlerinin başlangıçtaki yüksek yatırım maliyetini telafi edecek düzeyde olmaktadır (Kayıkoğlu ve ark. 2012).

### **İyon değişim yöntemi**

İyon değiştirme atık sudaki istenmeyen anyon ve katyonların giderilmesinde kullanılır. Atıksu, mevcut değişim bölgeleri doğunluğa erişene kadar iyon değiştirici reçineler üzerinden geçer. Bu şekilde, boyar madde içeren atıksulardaki hem katyonik hem de anyonik boyalar uzaklaştırılabilmektedir (Erdem 2004).

Yöntemin avantajları, rejenerasyonla adsorban kaybının bulunmaması, çözücünün kullanıldıktan sonra iyileştirilebilmesi ve çözünebilir boyaların etkin şekilde giderilebilmesidir. En büyük dezavantaj ise yöntemin maliyetidir. Organik çözücüler oldukça pahalıdır. Ayrıca iyon değişimi metodu dispers boyalar için pek etkili değildir. Bu nedenle tekstil atık suların arıtılmasında iyon değiştiricilerin kullanılması yaygın değildir (Robinson ve diğ., 2001).

### **2.4.3. Kimyasal yöntemler**

Atık su kalitesinde meydana gelen değişikliklerin kullanılan kimyasalda veya uygulanan dozda yapılan değişikliklerle kolayca tolere edilebilir olması nedeniyle en çok rağbet gören yöntem kimyasal yöntemlerdir (Socha 1991).

Tekstil endüstrisi atık sularının arıtımında en yaygın olarak kullanılan kimyasal yöntemler oksidasyon yöntemleri, kimyasal çöktürme ve flokülasyon yöntemi gibi yöntemler ile arıttır (Kocaer ve Alkan 2002).

## **Oksidasyon yöntemi**

Boya moleküllerini tam parçalamaya götüren oksitleyici gücü yüksek hidroksil radikallerinin üretildiği ileri oksidasyon teknikleri önem kazanmıştır (Yaman ve Gündüz 2010).

Oksidasyonda amaç, boyarmaddelerin kromofor gruplarının renk veremez duruma getirilmesi ve indirgenen ara ürünlerin biyolojik oksidasyona uygun formlara dönüştürülmesidir. Bütün boyalar aromatik bağlar içerirler ve oksidasyon için seçilen oksidan, doymamış bağlarla reaksiyon vererek bileşiği daha küçük moleküllu bileşiklere indirger (Sert 2006).

Oksidasyon kimyasal yöntemler içinde en yaygın olarak kullanılan renk giderme yöntemidir. Bunun en büyük nedeni uygulanmasının basit oluşudur (Robinson ve ark. 2001).

Oksidasyon yöntemleri; fenton ajanları, ozonlama, fotokimyasal, sodyumhipoklorit, elektrokimyasal yıkım yöntemlerinden oluşmaktadır.

## **Fenton ayıracı**

Fenton gibi ileri oksidasyon yöntemleri tekstil atık sularının arıtımında son zamanlarda önem kazanmıştır. Fenton prosesi ( $Fe^{2+}/H_2O_2$ ) kirlilik yükü fazla ve oldukça renkli olan atıksulara uygulanabilmektedir. Proses işletme kolaylığı, sisteminin basitliği, geniş sıcaklık aralığında uygulanabilir olması ve işletme maliyetinin ucuz olmasından dolayı tercih edilmektedir (Arslan ve ark. 2001).

Fenton prosete oluşan hidroksil radikalleri organik maddeyi okside ederek oldukça reaktif ve oksitlenebilir organik radikallerin oluşumunu sağlamaktadır. Bu proses, boyamada kullanılan reaktif, direkt, bazik, asit ve dispers boyarmadde gibi farklı tipte boyarmadde çeşitlerini içeren tekstil atıksularının renk ve KOİ gideriminde etkilidir (Gürtekin ve Şekerdağ 2008).

Fenton prosesini etkileyen faktörler;  $Fe^{+2}$  iyonu,  $H_2O_2$  konsantrasyonları, pH, sıcaklık, boyanın başlangıç derişimi ve karıştırma hızıdır. Bu parametreler reaksiyon verimini tayin etmektedir. Genel olarak bakıldığında Fenton prosesi dört basamaktan oluşmaktadır; pH ayarlama, oksidasyon reaksiyonu, nötralizasyon ve koagülasyon ile çöktürme reaksiyonudur. Bu şekilde organik maddeler iki aşamada oksidasyon ve koagülasyon ile giderilmektedir (Bigda 1995).

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). Renk gideriminin yanı sıra bazı dezavantajları da mevcuttur. Fenton prosesi, floklaşma işlemini de içerdiği için atık sudaki kirleticiler çamura transfer olurlar ve çamur problemi ortaya çıkar (Robinson ve ark. 2001).

### **Fotokimyasal yöntem**

Fotokimyasal yöntem; boya moleküllerini, hidrojen peroksit varlığında Ultraviyole (UV) radyasyonu ile  $CO_2$  ve  $H_2O$ 'ya dönüştürür. Parçalanma yüksek konsantrasyonlardaki hidroksil radikallerinin oluşmasıyla meydana gelir. Yani, UV ışığı hidrojen peroksiti aktive ederek iki hidroksil radikaline parçalanmasını sağlar. Bu hidroksil radikalleri organik atıkları okside ederler (Kocaer ve Alkan 2002).



Bu yöntemle boya molekülleri karbondioksit ve suya kadar parçalanırlar. Degredasyon sonucu yüksek miktarda serbest radikal oluşur ve bunlar organik atıkları okside ederler. Her boya için etkili bir hidrojen peroksit konsantrasyonu vardır (Yüce 2007).

Boyar maddenin giderim hızı, UV radyasyonunun şiddetine, pH'a, boyar maddenin yapısına ve boya banyosunun kompozisyonuna bağlıdır (Robinson ve ark. 2001).

Fotokimyasal yöntemlerde UV radyasyonu genellikle civa ark lambalarıyla sağlanmaktadır. Yapılan bir çalışmada civa lambalarının kullanılmasına alternatif olarak lazer destekli fotokimyasal arıtım önerilmiştir. Ancak çalışma sonucunda yöntemin enerji verimliliği açısından iyi sonuçlar vermediği görülmüş, yeni ve daha etkili bir radyasyon kaynağının geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır (Kocaer ve Alkan 2002).

Boya içeren atık suların fotokimyasal yöntemlerle arıtılmasının en önemli avantajı atık çamur oluşmaması ve kötü kokulara neden olan organiklerin önemli derecede azaltılmasıdır (Akgün ve Söğüt 2008).

### **Sodyumhipoklorit ( NaOCl )**

Renkli atık suların kimyasal oksidasyonunda kullanılan diğer bir oksitleyici madde asit ve direkt boyaların renklerinin gideriminde etkili olan NaOCl'dir. Bu yöntemde, klor, boyarmadde molekülünün amino grubuna etki ederek azo bağının kırılmasına yol açmaktadır (Erkut 2008).

NaOCl yöntemi ile asit boyarmaddeler için kısa sürede olumlu sonuçlar alınırken çok koyu renklerde ise daha uzun sürelerde etkili olabilmektedir. Metalkompleks ve reaktif boyarmadde içeren çözeltilerde daha uzun bir oksidasyon süresine ihtiyaç duyulurken, dispers boyalarda hemen hemen hiç etkili değildir. NaOCl ile renk giderimi, Klor derişiminin artışına paralel olarak renk giderimi de artmaktadır. (Slokar ve Marechal 1998).

Son yıllarda çevre üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı boyarmadde giderimi için klor kullanımı giderek azalmaktadır (Kocaer ve Alkan 2002).



## **Elektrokimyasal yöntem**

Son yıllarda elektrokimyasal arıtım prosesi çevreye uyumlu ve çok yönlü bir arıtım prosesi olmasından dolayı atıksu arıtımında oldukça dikkat çekmektedir. Elektrokimyasal arıtım proseslerinin genel mekanizmasında koagülasyon, adsorbsiyon, çöktürme ve flotasyon prosesleri bulunur. Elektrokimyasal proseslerin en önemli farklılıkları prosesin şekli ve yapısıdır (Elektrot tipi, uygulanan akım, elektriksel gerilim ve prosesin tipi) (İlhan ve ark. 2007).

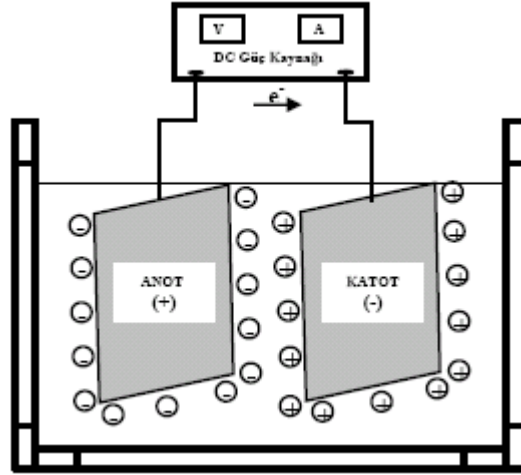
Elektrokimyasal bir reaktör; bir anot, bir katot, bir iletken elektrolit ve bir güç kaynağından oluşmaktadır. Elektrokimyasal bir reaksiyonda yük, elektrot ile iletken sıvı içindeki reaktif türler arasındaki ara yüzeyde transfer olur. Katotta yük, reaktantlar tarafına geçerek reaktif türleri indirgemektedir. Anotta ise yük, türlerden elektroda geçerek bunların yükseltgenmelerine neden olmaktadır. Yükseltgenme durumundaki değişimler, bunların yasal özelliklerinin ve yapılarının değişmesine yol açmaktadır (Erkut 2008).

Elektrokimyasal arıtım yöntemleri içme suyu arıtımı, evsel atık su, tekstil atık suları, restaurant atık suları, mezbaha atık suları, süt endüstrisi atık suları, sızıntı suları, kağıt atık suları, deterjan atık suları ve maden atık suları gibi bir çok alanda uygulanmaktadır ([http://katalog.ibb.gov.tr/kutuphane2/YordamVt/projem\\_istanbul/pi\\_00088.pdf](http://katalog.ibb.gov.tr/kutuphane2/YordamVt/projem_istanbul/pi_00088.pdf), 2010).

Elektrokimyasal arıtım; elektrokoagülasyon, elektrooksidasyon, elektroflotasyon olmak üzere 3 yöntemden oluşmaktadır.

### **- Elektrokoagülasyon**

EC reaktörü, basit olarak anot ve katot elektrodun bulunduğu elektrolitik hücre ile anot ve katot elektrotların bağlandığı doğru akım (DC) güç kaynağından oluşmaktadır (Avcu 2010).



**Şekil 2.19.** Basit elektrokoagülasyon reaktörü (Avcu 2010)

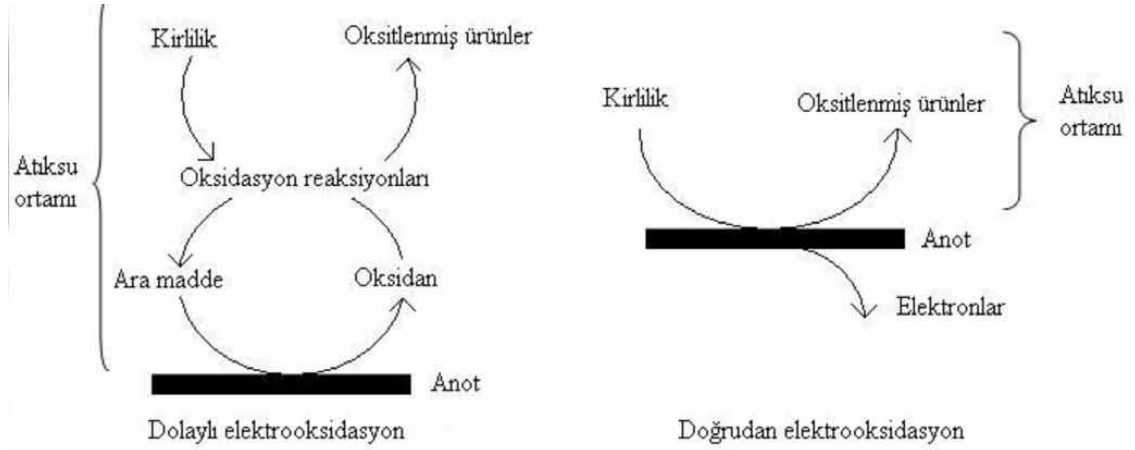
Günümüzde elektrokoagülasyon ile arıtım yöntemi birçok farklı tipte atık suyun arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir elektrokimyasal proseste en önemli şartlardan biri elektrot cinsidir. Elektrokoagülasyonda genellikle alüminyum ( $Al^{+3}$ ) ve demir ( $Fe^{+3}$ ,  $Fe^{+2}$ ) elektrotlar kullanılmaktadır. Bu elektrotların prosesin işletme aşamasında suyla reaksiyona girerek  $Al(OH)_3$ ,  $Fe(OH)_2$  ve  $Fe(OH)_3$  gibi metal hidroksitler oluşturmaktadır. Sistemde arıtım metal hidroksitlerin oluşmasıyla başlamaktadır. Adsorpsiyon kapasitesi çok yüksek olan metal hidroksitlerin sudaki değişik kirletici parametreleri adsorbe ederek çökelti yoluyla sudan uzaklaştırma prensibine dayanan bu arıtım metodu günümüzde birçok yerde kullanım alanı bulmaktadır (İlhan ve ark. 2007).

Elektrokoagülasyon prosesi; elektrolitik oksidasyon esnasında çözünen elektrot ile koagülan türlerin oluşumu, kirleticilerin destabilizasyonu, partikül süspansiyonu ve emülsiyonların parçalanması ve stabilize olmuş partiküllerin flokları oluşturmak üzere yumaklaşması olmak üzere üç adımı kapsamaktadır (Arslan ve ark. 2008).

Elektrokoagülasyon, elektriksel alanın varlığından dolayı en küçük koloidal parçacıkları bile uzaklaştırabilme avantajına sahiptir.

- Elektrooksidasyon

Ana prensip çözünmeyen elektrotlar (Titanyum, Rutenyum, Platin, paslanmaz çelik vb.) kullanılarak elektrotlar vasıtasıyla çıkan gazlar ( $O_2$  ve  $H_2$ ) ile istenilen oksidasyonun sağlanmasıdır. Bu işlemle birlikte birçok madde oksidasyona uğratılabilirken biyolojik olarak parçalanabilirliği zor olan bileşikler biyolojik olarak kolay parçalanabilir organik bileşiklere veya  $CO_2$  ve  $H_2O$  gibi son ürünlere dönüştürülmektedir (İlhan ve ark. 2007).



**Şekil 2.20.** Elektrooksidasyon prosesinde kirleticilerin parçalanması (Fil ve ark. 2012)

- Elektroflotasyon

Genellikle tek başına değil de bir diğer elektrokimyasal prosesle birlikte kullanılır. Elektroliz esnasında katot ve anot reaksiyonları sonucu açığa çıkan gaz kabarcıkların kirleticileri adsorbe ederek yüzeye çıkarması sonucu kirliliğin giderilmesi esasına dayanır ([http://katalog.ibb.gov.tr/kutuphane2/YordamVt/projem\\_istanbul/pi\\_00088.pdf](http://katalog.ibb.gov.tr/kutuphane2/YordamVt/projem_istanbul/pi_00088.pdf), 2010).

Elektrokimyasal yönteminin avantajları;

- Kimyasal madde kullanımının sınırlı düzeyde kalması veya hiç kullanılmaması,
- Oldukça etkili ve ekonomik bir boya giderimi sağlaması,
- Çamur oluşumunun gözlenmemesi,
- Reaksiyonların hızlı gerçekleşmesi,

- Elektrokimyasal proseslerin yeterli iletkenliğe sahip atık sularda çok düşük amper ve voltajlarda elektrik akımlarında dahi gerçekleşebilmeleri,
- Diğer yöntemlerden daha düşük sıcaklık gerektirmesi,
- Dirençli kirleticilerin parçalanmasında yüksek verim elde edilmesidir (İlhan ve ark. 2007, Akgün ve Söğüt 2008).

Elektrokimyasal yönteminin dezavantajları ise; tehlikeli bileşiklerin oluşma olasılığıdır. Yapılan bir çalışmada elektrokimyasal arıtım sürecinde oluşan kloroorganik bileşik miktarlarının oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yüksek akım hızlarının renk gideriminin de doğrudan bir azalmaya neden olması diğer bir dezavantajdır. Kullanılan elektrik maliyeti diğer yöntemlerdeki kimyasal madde giderleriyle kıyaslanabilir niteliktedir (Erkut 2008).

### **Ozonlama**

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 atık su için aynı başarıyı gösterememiş ve renk giderimi % 50 ile sınırlı kalmıştır (Kocaer ve Alkan 2002).

Ozon tekstil atık sularının arıtılmasında kullanılan kimyasal oksidasyon yöntemlerinden biridir. Ozonlama ile suda çözünmeyen dispers boyalar dışındaki bütün boyaların rengi giderilebilir. Fakat ham tekstil atık suyunda ozonlama yeterince verimli olmadığından dolayı son uygulama olarak veya en azından kimyasal koagülasyonu takiben kullanımı daha verimli olur. Ozonlama sonucunda KOİ çok azalır ve BOİ artar. Diğer bir problem ise boyarmaddeleri ozon tarafından parçalama ürünlerinin özellikle omurgasız sucul canlılar üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu yöndedir. Pek çok boyarmadde kükürt klorür ve klor içeriğinden dolayı parçalanma ürünleri bazen oldukça toksik olabilmektedir (Robinson ve ark. 2001).

Ozonla oksidasyon, klorlu hidrokarbonların, fenollerin, pestisitlerin ve aromatik hidrokarbonların parçalanmasında da oldukça etkilidir. Boya içeren atık suların ozonlanmasında hız sınırlayıcı basamak ozonun gaz fazından atık suya olan kütle transferidir. Önemli bir avantaj ise ozonun gaz durumunda uygulanabilir olması ve dolayısıyla diğer bazı yöntemlerin aksine atık çamur oluşmamasıdır (Wu ve Wang, 2001). Çıkış sularının ozonlandıktan sonra tekrar kullanılabilmesi arıtım tesisi için kimyasal madde ve su tasarrufu sağlamaktadır (Perkins ve ark. 1995).

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 ve ark. 2001).

### **Kimyasal çöktürme ve flokülasyon yöntemi**

Koagülasyon ve flokleştirme prosesleri endüstriyel atık su arıtımında kullanılan çok yönlü prosesler olup askıda katı madde ve organik madde gideriminde kullanılmaktadır. Koagülant maddeler genellikle çözünmeyen boyarmaddeler üzerinde etkili olmaktadır. Çözünen boyarmaddeler üzerinde fazla bir etki göstermemektedir. Genellikle alum ve demir tuzları koagülant madde olarak kullanılmakta bunlarla birlikte flokleştirmaya yardımcı olması bakımından düşük dozlarda polimer de ilave edilmektedir.  $FeSO_4$  kireç ile birlikte kullanıldığında % 80'den fazla renk giderimi sağlamaktadır (Pekel 2009).

Bu yöntemde flokleştirme ve çökelme, kimyasal maddeler kullanılarak gerçekleştirilir. Bu amaçla en çok kullanılan kimyasallar arasında  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $FeSO_4$ , Mg ve kireç sayılabilir (Kocaer ve Alkan, 2002).

**Çizelge 2.4.** Farklı koagülanların avantaj ve dezavantajları (Birgül 2006)

Adı	Avantaj	Dezavantaj
Alüminyum Sülfat (Alum) $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$	Temini ve uygulaması kolay, en çok kullanılan koagülant, kireçten daha az çamur üretir, etkili olduğu pH aralığı 6,5-7,5	Suya ilave çözünmüş katı bırakır, belli pH değerinde etkilidir.
Sodyum Alüminant $Na_2Al_2O_4$	Sert sular için oldukça etkilidir. Genellikle düşük miktarlarda kullanılır.	Genellikle alumla birlikte kullanılır. Yüksek maliyet, yumuşak sular için uygun değildir.
Polialüminyum Klorür (PAC) $Al_{13}(OH)_{20}(SO_4)_2Cl_{15}$	Bazı uygulamalarda flok yoğunluğu alumina nazaran daha yüksektir ve alumina nazaran çabuk çöker.	Sık kullanılmaz ve kullanımı ile ilgili geniş bilgi yoktur.
Demir(III) Sülfat $Fe_2(SO_4)_3$	pH 4-6 ve 8,8-9,2 arasında etkilidir.	İlave alkalinite ve çözünmüş katı madde bırakır.
Demir Klorür $FeCl_3 \cdot 6H_2O$	pH 4-11 arasında etkilidir.	Alumun iki katı alkalinite oluşturur, ilave çözünmüş katı bırakır.
Demir (II) Sülfat $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Kireç kadar pH'a hassas değildir.	Alkalinite ve çözünmüş katı bırakır.
Kireç $Ca(OH)_2$	En çok kullanılan koagülanttır. İlave tuz oluşturmaz.	Çok miktarda çamur oluşur, düşük kaliteli su elde edilir.

Asit boya içeren bir atık suda kimyasal çöktürme, kimyasal oksidasyon ve adsorpsiyon yöntemleri denenmiş ve yöntemler renk giderim verimlilikleri açısından karşılaştırılmıştır. Kimyasal çöktürme deneylerinde makul kimyasal dozlarıyla orta dereceden yüksek dereceye kadar renk giderimi sağlandığı ve kullanılan kimyasallar içinde alumun nispeten daha etkili olduğu görülmüştür (Tünay ve ark. 1996).

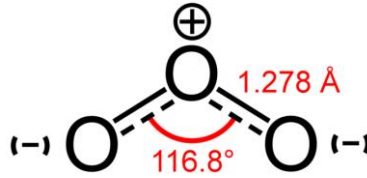
Katyonik boyalar kimyasal yapılarından dolayı son derece zayıf veya hiç koagüle olamamaktadır. Asit, direkt ve reaktif boyalar ise koagüle olmakla birlikte oluşan flokların kalitesi çok zayıf olup ortama flokülant ilavesi bile çökeltme verimini pek arttıramamaktadır. Dispers boyalarda ise koagülasyon ve flokülasyon yöntemleriyle tam bir renk giderimi sağlanmaktadır (Robinson ve ark., 2001).

Uygulama esasında, kimyasal koagülasyonun tek başına veya diğer yöntemlerle kullanıldığında polielektrolit kullanımının etkinliği artırdığı, fakat son oluşan atıkta bazı zararlı maddelerin ortaya çıktığı belirtilmektedir. Son derece etkili bir yöntem olan kimyasal koagülasyonun dezavantajı, kontrolsüz ve aşırı dozda kimyasal kullanımınıdır (Karaoğlu 2007).

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 (Tünay ve ark. 1996, Pekel 2009, Aulia 2010).

## 2.5. Ozonlamanın Kullanımı

Ozon (O<sub>3</sub>) molekülü, üç adet oksijen atomunun birleşmesiyle oluşmuş, stabil olmayan bir yapıya ve simetrik açılara sahip bir moleküldür (Polat 2010).



**Şekil 2.21.** Ozonun formülü

([http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:Ozone\\_Molecule\\_Formula\\_png](http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:Ozone_Molecule_Formula_png), 2007b)



Ozon ilk defa 1893'de Hollanda'da içme suyu için kullanıldı. Avrupa'da suyun dezenfeksiyonu ve oksidasyonu için kullanılırken, Amerika'ya da yavaş yavaş yayılmaya başladı. Amerika'da da ilk ozon uygulamaları renk ve koku giderimi gibi dezenfeksiyon olmayan amaçlar için olmuştur (Yıldırım 2009).

Ozon 1781'de ilk defa Van Marum'un dikkatini çekmiş, daha sonra alman kimyacı C.F. Schoenbein 1840'ta bu gaza ozon adını vermiştir. Ancak 20 yıl sonra oksijenin

triatomik allotropu olduğu anlaşılmış, 1856'da Thomas Andrew ozonun sadece oksijenden oluştuğunu göstermiştir. 1863'te Soret, oksijen ile ozon arasındaki ilişkiyi bulmuştur. Ozon, üç oksijen atomunun kovalent bağ ile birleşmesinden oluşan bir gazdır. Kimyasal formülü  $O_3$  olan ozonun oluşumu endotermik bir reaksiyondur. Ozon termodinamik olarak kararsızdır ve hemen oksijene dönüşür, güçlü bir oksitleyicidir (Çetin 2008).

Günümüzde ozon; havuz hijyeni, içme ve atık suların temizlenmesi, gıda işleme ve depolama, hayvancılık, tarım, bina dezenfeksiyonu, tedavi ve koruma amaçlı tıbbi alanlarda kullanılmaktadır (Polat 2010).

Ozonun tekstil terbiyesinde başlıca kullanım alanları; her cins lifin oksidatif ağartılmasında hipoklorit, klorit ve hidrojen peroksitine alternatif olarak kullanılır. Ayrıca oksidatif haşıl sökme, kükürt ve küp boyarmaddeleriyle boyamada oksidasyon ve poliester ve poliester/pamuk karışımlarının boyama sonrası ard işlemleridir. Ozon gazı, tekstilde atık suların renk gideriminde ve denim yıkama sektöründe eskitme ve desen oluşturma amacıyla merkezi olarak boyanın sökülme işlemlerinde kullanılmaktadır. Ozonlama ile tekstil atıksularında dikkate değer boyutlarda renk giderimi sağlanmıştır (Öztürk ve Eren 2010).

### **2.5.1. Ozonun fiziksel ve kimyasal özellikleri**

Ozon, oksijenin 3 atom içeren bir allotropu olup 2,07 V'luk oksidasyon potansiyeline sahiptir. Bu oksidasyon potansiyeli tekstil terbiyesinde en yaygın kullanılan oksidan olan hidrojenperoksitin 1,77 V olan oksidasyon potansiyelinden daha yüksektir (Eren 2007).

Ozon,  $-112^{\circ}C$ 'de koyu mavi bir sıvı olup,  $-215^{\circ}C$ 'de ise mavimsi siyah renkte kristalleşmektedir. Açık mavimsi renkli, kuvvetli ve keskin kokulu stabil olmayan bir gazdır. Ozonun karakteristik keskin kokusu düşük konsantrasyonlarda bile algılanabilir (0,02-0,05 ppm) ve uzun süre direkt solunması durumunda üst ve alt solunum yollarında olumsuz etkileri görülebilir (<http://www.mikronozon.com/ozon.html>, 2006).



**Çizelge 2.5.** Ozonun ve diğer dezenfektanların oksitleme güçleri  
(<http://www.mikronozon.com/ozon.html>, 2006)

Dezenfektan	Oksitleme Gücü (V)
Ozon	2,07
Hidrojen peroksit	1,77
Permanganat	1,67
Klor dioksit	1,57
Hidroklorik asit	1,49
Klor gazı	1,36
Oksijen	1,23
Brom	1,09
Hipoklorit	0,94
Klorit	0,76
İyot	0,54

**Çizelge 2.6.** Ozonun fiziksel ve kimyasal özellikleri  
(<http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone>, 2014c)

<b>Moleküler formülü</b>	O <sub>3</sub>
<b>Molar ağırlığı</b>	48 g/mol
<b>Görünüş</b>	Açık mavi
<b>Yoğunluk</b>	2.144 mg/cm <sup>3</sup> (0 °C)
<b>Erime noktası</b>	-192,2 °C; -313,9 °F; 81,0 °K
<b>Kaynama noktası</b>	-112 °C; -170 °F; 161°K
<b>Sudaki çözünürlüğü</b>	1,05 g L <sup>-1</sup> (0 °C)
<b>Kırılma indisi</b>	1,2226 (sıvı)

Ozon çoğu maddede çözünebilir, kararlı ya da orta kararlı çözelti oluşturabilir. Suda ozon oksijenden 14 kez daha fazla çözünür ancak orta kararlı çözelti oluşturur. Sulu fazda çözünürlüğü sıcaklığın azalması, basıncın artmasıyla artar (Yıldırım 2009).

**Çizelge 2.7.** Ozonun suda çözünürlüğü (Yıldırım 2009)

Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Çözünürlük ( $\text{kg/m}^3$ )
0	1,09
10	0,78
20	0,57
30	0,40
40	0,27
50	0,19
60	0,14

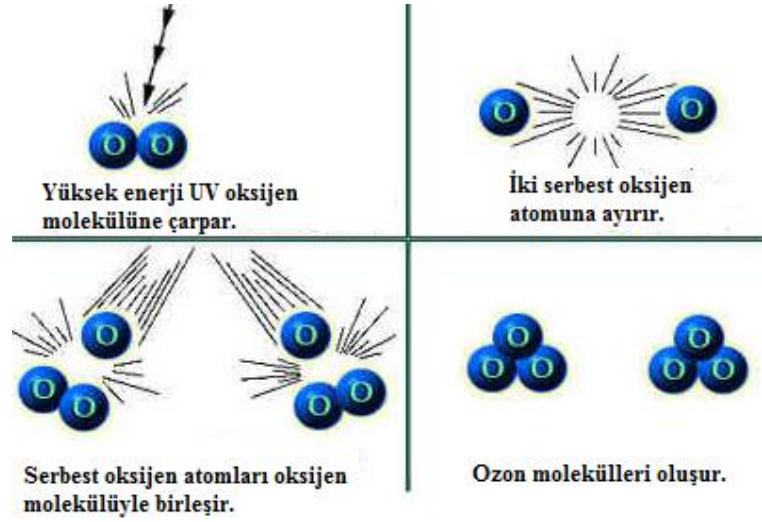
Oksijen doğada iki oksijen atomundan meydana gelen bir molekül olarak bulunur. İki atomun bir oksijen molekülü, yüksek enerji ile üçüncü bir oksijen atomunu alarak, üç atomlu bir ozon molekülü oluşturur. Bu üçüncü oksijen atomu, çok zayıf bir bağ ile bağlandığından her fırsatta molekülden ayrılmaya meyillidir. Molekülden ayrıldığından tek başına kalan oksijen atomu, son derece aktiftir ve ortamda bulunduğu her maddeyi oksitler (<http://www.airozon.com/ozon-o3/ozonun-etkileri.htm>, 2009).

Ozon çok çabuk reaksiyona girdiği için hızla tükenir ve oksijene dönüşür. Bu yüzden depolanamaz; kullanılacağı yerde ve zamanda üretilmelidir. Kendiliğinden bozulması ve yok olması yarı ömür olarak ifade edilir. Yarı ömür, konsantrasyonunun yarıya düşmesi için gereken süredir. Bu süre havanın sıcaklığına göre değişkenlik gösterir. Düşük sıcaklıklarda ömrü uzundur, birkaç saat civarındadır (<http://www.airozon.com/ozon-o3/ozonun-etkileri.htm>, 2009).

### **2.5.2. Ozonun oluşumu**

Ozon doğada, güneşten gelen yüksek enerjili ultraviyole radyasyonunun etkisiyle atmosferdeki oksijen molekülü parçalanarak, serbest oksijen atomu haline dönüşmektedir. Daha sonra serbest haldeki oksijen atomları yine ultraviyole radyasyonunun etkisiyle oksijen molekülüyle birleşerek ozon molekülünü

oluşturmaktadırlar. Yüksek enerjili ultraviyole radyasyonu ozonun hem oluşumunda, hem de parçalanmasında tek başına etken bir rol oynamaktadır (Öztürk ve Eren 2010).



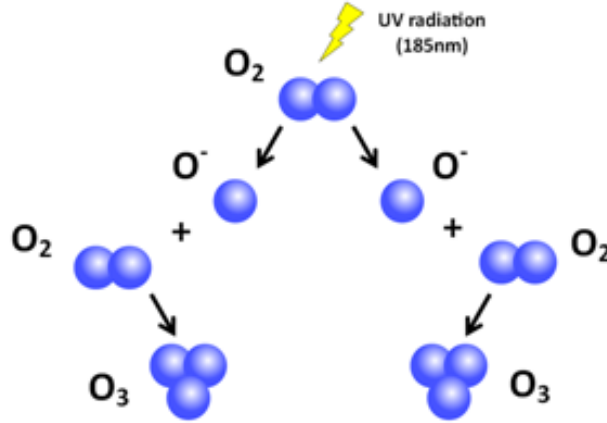
**Şekil 2.22.** Ozon üretimi (<http://www.theozonhole.com/ozonecreation.htm>, 2013)

Ozon gazı endüstriyel ölçekte ozon jeneratörlerinde üretilir. Ozon jeneratörlerinin yerli ve yabancı birçok üreticisi ve birçok modeli ticari olarak mevcuttur. Ozon gazı endüstriyel ölçekte ultraviyole ışık ve corona discharge olmak üzere iki ana prensipte üretilir.

### 2.5.2.1. UV ışık yöntemi

140-190 nm'deki UV ışığına maruz kalmış oksijenden ozon üretimi 1900 yılında Lenard tarafından ilk kez bahsedilmiştir ve 1903 yılında Goldstein tarafından da tamamen kabul görmüştür. Teknik üretim için etkin dalga boyunun 200 nm'nin altında olduğu fark edilmiştir. Bu konudaki en son araştırma 1982 yılında Du Ron tarafından gerçekleştirilmiştir. Mercury esaslı UV emisyon lambalarıyla ilgili en son teknolojilerde, 254 nm dalga boyuyla birlikte 185 nm dalga boyu da yayılmaktadır. 254 nm dalga boyu ile 185 nm dalga boyu kıyaslandığında görece olarak emisyon yoğunluğu 5-10 kat daha yüksek olmaktadır. Bu lambalarda ozon üretimi önemini yitirmiştir. Sebebi ise; ozon oluşumu ile birlikte ozonun termal bozunmasının da meydana gelmesidir. Küçük uygulamalar dışında UV-ozon işlemi (UV-Fotokimyasal ozon üretimi) olgunlaşmamıştır. Bu yeni teknoloji; 200 nm'nin altındaki dalga boylarında

yüksek emisyon yoğunluğuna ve daha az eskime özelliklerine sahip yeni lamba teknolojilerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (Perinçek 2006).



**Şekil 2.23.** Ultraviyole yöntemiyle ozon üretimi (<http://www.jenact.co.uk/odour%20control.html>, 2011d)

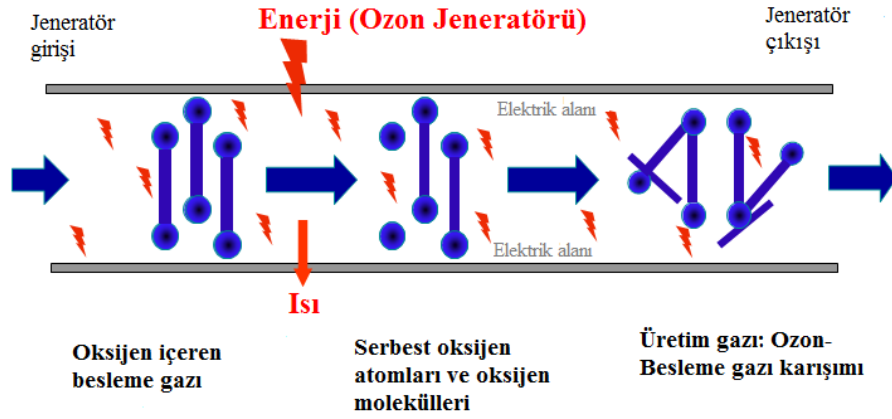
Ultraviyole (UV) yöntemi ile oksijen atomunu 220 nm'den daha kısa dalga boyda ışık veren ultraviyole ampulünün etrafından geçirerek parçalanmasını sağlayıp serbest kalan oksijen atomu ile birleşip ozon gazını oluşturur. Bu yöntem laboratuvarlar gibi küçük miktarlarda ozon gereken yerlerde uygulanabilir (<http://www.lenntech.com/library/ozone/generation/ozone-generation.htm>, 2014d).

UV jeneratörlerinden elde edilen ozon miktarı, su dezenfeksiyon/arıtma işlemleri için yeterli değildir. Yüksek konsantrasyonda ve daha fazla ozon üretimi için corona-discharge teknolojisinin kullanılması gerekmektedir (<http://www.opalsu.com.tr/ozon.php?ozon=ozonuretimi&menu=ozonmenu>, 2005).

### 2.5.2.2. Corona Discharge yöntemi

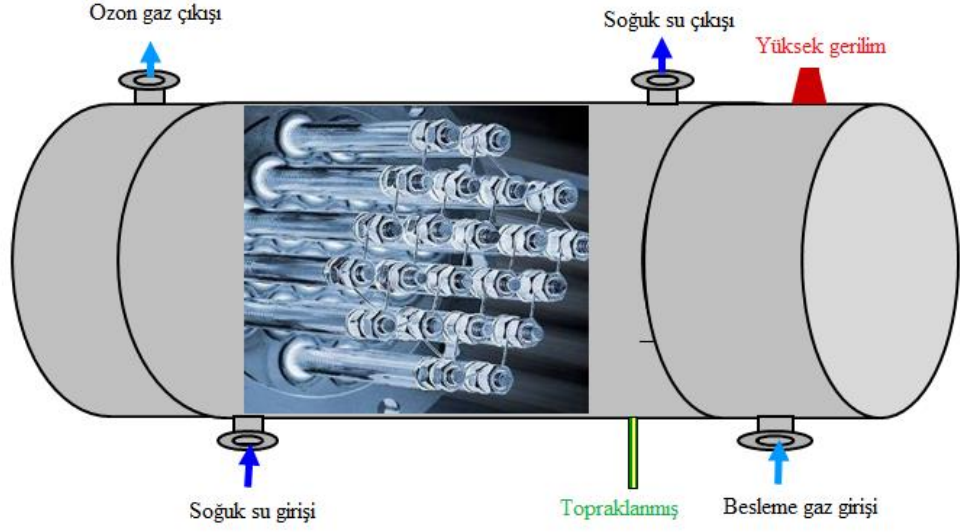
Corona discharge tekniği, su arıtma veya dezenfeksiyon işlemleri için en fazla kullanım alanına sahip ozon üretim tekniğidir. Bu yöntem, ozon ünite kullanım ömrü daha uzun, daha yüksek miktarlarda ozon üretimi ve işletme maliyetleri açısından UV ışık yöntemine göre daha avantajlı olduğu söylenebilir (<http://www.lenntech.com/library/ozone/generation/ozone-generation.htm>, 2014d).

“Corona Discharge” (CD) yöntemi korona ile karakterize edilen bir elektrik deşarjıdır. Elektrik alan yeterince güçlü olduğunda iletkenin etrafındaki akışkanın iyonizasyonu ile gerçekleşir, ama burada şartlar kısa devre ya da ark oluşumuna izin vermemelidir. Bunu sağlayan dielektrik kısımdır, elektrik yükü dielektrik yüzeyine dağılarak koronayı oluşturur. İyonizasyon sonucu bir plazma atmosferi oluşmakta ve iyonlar yükü daha düşük potansiyele sahip bölgelere taşımaktadır. Korona oluşumu sırasında ışık, ısı ve ses açığa çıkmaktadır. Elektrodun şekli, gazın cinsi ve deşarj aralığı etkili parametrelerdir. Corona Discharge yöntemiyle ozon üretimi sırasında ısı açığa çıkmaktadır ve bu ısının jeneratörden uzaklaştırılması gerekmektedir. Isının uzaklaştırılması için deşarj tüpünün su ile ya da hava ile soğutulduğu uygulamalar vardır (Öztürk ve Eren 2010).



**Şekil 2.24.** Ultraviyole ve Corona Discharge yöntemleriyle ozon üretimi (Yüksel 2012)

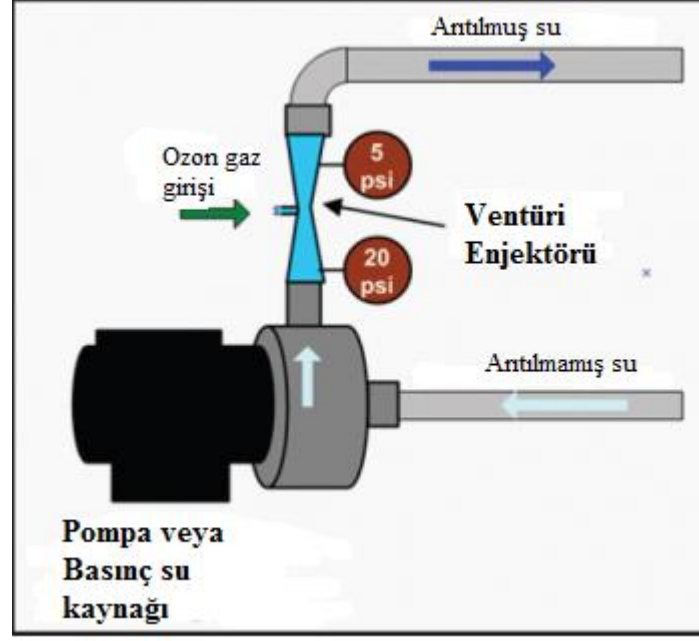
Üretim basamakları; gaz kaynağı (kompresör ve sıvılaştırılmış gaz), toz filtresi, gaz kurutucusu, ozon jeneratörü, temas bölgesi, uzaklaştırılan gazın yok edilmesidir. Oksijen kullanımıyla veya havayı oksijence zenginleştirerek, ozon jeneratörünün üretim kapasitesi arttırılabilir. Bu durumu tasarım parametreleri de etkilemektedir. Oksijence zenginleştirilmiş gaz kullanılarak elde edilen sonuç; gaz alanının daraltılması ve elektriksel frekansın arttırılması ile yükseltilebilmektedir. İşlem gazının soğutulması bir diğer önemli parametredir. En etkili soğutma sistemi, çift taraflı soğutma sistemidir (yüksek voltaj alanında ve toprak hattında soğutma). Ancak en güvenli soğutma; sadece toprak hattının soğutulmasıdır (Perinçek 2006).



**Şekil 2.25.** Ozon jeneratörü (Yüksel 2012)

Corona Discharge yönteminde, sabit elektrik akımı verilerek elektronları hızlandırmak suretiyle kinetik enerji kazandırarak, oksijen molekülündeki oksijen- oksijen çift bağının bozulması ve parçalanması sağlanmaktadır. Bu şekilde parçalanan oksijen molekülü ozonu oluşturmak üzere diğer oksijen molekülleriyle birleşir ve ortam dezenfeksiyonunu sağlamak üzere ortamdaki bakterilerle reaksiyona girer daha sonra tekrar oksijene dönüşür (Kılıçer 2006).

Uygun gaz/sıvı temas mekanizması verimli bir sistem tasarımı için önemlidir. Ozon jeneratörlerinden sisteme ozon beslenebilmesi için bir ventüri enjeksiyon sistemi kullanılır. Ozon gazının su içerisine ilave edilmesi için kullanılan en yaygın yöntemdir. Ventüri enjektörler konik gövdelidirler. Enjeksiyon sisteminde boru kesit alanı azaltılarak sıvı giriş çıkış yerleri arasında bir basınç farkı oluşturur (Pompa çıkış kısmında basınç yüksektir). Böylece basınç düşümü ve buna bağlı olarak hız yükselmesi sağlanarak ozonun atık su ile karışımı sağlanmış olur. Bu sistemin avantajları; ozon transfer oranının yüksekliği, minimum bakım masrafı, kontrollü ve zamanında iletimi, basınçlı ve basınçsız sıvı akışının iyi çalışmasıdır (<http://www.ozonesolutions.com/journal/2013/ozone-venturi-injectors-work-dissolve-ozone-water/>, 2013).



**Şekil 2.26.** Ventüri enjektör (<http://www.ozonesolutions.com/journal/2013/ozone-venturi-injectors-work-dissolve-ozone-water/>, 2013)

### 2.5.3. Ozonlama işlemlerinde etkili olan faktörler

Ozonlama ile renk gideriminde etkili olan başlıca faktörler: pH, sıcaklık, mekanik karıştırma, atıksu bileşenleri ve ozon dozu olarak sayılabilir.

**pH:** Ozonun materyal ile reaksiyonu pH'a bağlıdır. Yüksek pH'larda ozon daha hızlı dekompoze olur ve baskın olarak hidroksil radikali oluşturur. Hidroksil radikallerinin oksidasyon potansiyeli moleküler ozona göre daha yüksek olduğundan indirekt reaksiyonlarda oksidasyon daha hızlıdır (Alaton ve diğ., 2002). Ozonlama ile pH arasındaki diğer ilişki ozonlama süresince pH'ta oluşan değişimlerdir. Ozonlama işlemi sonrasında pH değerlerinin düştüğü gözlenmiştir (Eren ve Aniş 2006).

Genel olarak; nötr pH'larda ozonun çözünürlüğü düşük olduğundan reaksiyon hızı da düşüktür, asidik pH değerlerinde ozon moleküler ozon olarak kullanılabilir (Eren 2006, Eren ve Aniş 2006).

**Sıcaklık:** Artan sıcaklıkla ozon çözünlüğü düşer. Bununla birlikte çözünlüğün düşmesi nedeniyle ozonlama etkinliğinin azaldığı söylenemez çünkü sıcaklık artışı reaksiyon hızını da artırmaktadır (Eren ve Anış 2006).

**Mekanik karıştırma:** Ozonlama etkinliğini sınırlandırıcı faktörlerin başında ozonun gaz fazından sıvı faza transferindeki kütle transferi gelmektedir. Rotor ile karıştırma yapılan çalışmalarda artan rotor hızı ile birlikte ozonlama ile renk giderimi etkinliğinin arttığını rapor edilmiştir (Wu ve Wang 2001).

**Atık su bileşenlerinin etkisi:** Atık su bileşenleri olarak hem boyarmadde konsantrasyonunun hem de çözeltide mevcut yardımcı kimyasal maddelerin etkisi söz konusudur. Yardımcı kimyasal maddeler ozonlama etkinliğini değiştirmektedirler (genelde azaltmakta) ve pratikte rengi giderilecek atık su içerisinde boyama banyosu yardımcıları bulunan boyama banyosu atığıdır, bu atık su kanala boşaltıldığında diğer atık sularla karışmakta ve daha kompozit bir yapı kazanmaktadır (Eren ve Anış 2006).

**Ozon dozajı:** Oksidasyon reaksiyonlarını moleküler ozon ya da ozonun reaksiyonlarıyla oluşan radikal türleri verdiği için ozon dozu ya da ozonlama süresi arttıkça ozonlama etkinliğinin artacağı açıktır (Wu ve Wang 2001, Sevimli ve Sarıkaya 2002).

#### **2.5.4. Atık su arıtım sektöründe ozon kullanımı**

Sanayide yaşanan en büyük problemlerden biri de, işletmelerde atık ve atık su kimyasal değerlerinin, insan ve çevre için tehdit edici boyutlara ulaşmasıdır. Ozon, zehirli kimyasallar ihtiva eden atık ve atık sularda etkili bir dezenfeksiyon sağlarken, insan ve doğa için koruyucu bir görev üstlenmektedir. Pek çok endüstri kuruluşu, yüksek maliyetler ile arıtma tesisleri kurmalarına rağmen, yeterli ve etkili bir işlem yapamamaktadırlar. Ozon, bilinen tüm yöntemlerden daha etkilidir. Ozon atık suda % 99'a varan oranda koku ve renk giderimi sağlamaktadır (Perinçek 2006).



Atık suyun renginin giderilmesinde, rengi oluşturan kromoforların ve çift bağların oksidatif yollarla kolayca parçalanması ve renksizleştirilmesi en temel yaklaşımdır. En hızlı renk giderme konusunda ozonlama diğer oksidatif metotlardan daha önde görünmektedir. Yüzey aktif maddelerin köpürme özelliklerini önleyebilir ve suyun KOİ değerini önemli ölçüde azaltır. Çamur kütlesi ve atık su hacmi artmaz. Tam ölçekli uygulamalarda renk giderme etkisini arttırmak ve katı maddeleri azaltmak için ilave olarak filtrasyon işleminden geçirilebilir. Geçmişte oksidasyon maddesi olarak sodyumhipoklorit yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Azo bağların parçalanmasını hızlandırırken negatif etki olarak kanserojen aromatik aminler ve toksik maddeleri serbest bırakır. Bu durumun önlenmesinde ozonlama ilave bir arıtım metodu olarak da uygulanabilmektedir (Wang ve ark. 2011).

Boya banyosu çıkış sularının ozonlandıktan sonra tekrar kullanılabilmesi tesis için kimyasal madde ve su tasarrufu sağlamakta, atıksu arıtma tesisinin yükü azalmaktadır. Ozonlama ile dikkate değer boyutlarda renk giderimi sağlanabilmektedir. Ozonlama sonucu elde edilen renk giderimi boyanın cinsine göre farklılık göstermektedir. Vat boyarmaddesi içeren atıksularda renk giderimi % 50 ile sınırlıyken azoik, dispers, sülfür ve reaktif boya içeren atıksularda başarılı bir renk giderimi sağlanmaktadır. Klorlu hirdokarbonların, fenollerin, pestisitlerin ve aromatik hidrokarbonların parçalanmasında ozonlama, oldukça etkili olmaktadır. Diğer bazı yöntemlerin aksine, bu yöntemde atık çamur oluşumu gözlenmemektedir (Erkut 2008).

Yarı ömrünün kısa oluşu (tipik olarak 20 dakika) ozonlamanın en büyük dezavantajıdır. Alkali şartlarda ozonun bozunması hız kazandığı için atık suyun pH'ı dikkatle izlenmelidir. Ozonlama yönteminin diğer bir dezavantajı kısa yarı ömrüne bağlı olarak ozonlamanın sürekli olması gerekliliği ve yüksek maliyettir (Robinson ve ark. 2001).

## **2.6. Atık Sularda Renk Ölçümü ve Yönetmelikler**

Boyarmadde içeren atık sularının alıcı ortama deşarjında renk parametresi olarak kullandığı ve literatürde en sık rastlanılan 4 farklı renk ölçüm metodu mevcuttur. Bu

metotlar Pt-Co renk birimi, RES, ADMI ve alan (spektral tarama: dalga boyu taraması) ölçüm metotlarıdır.

Pt-Co renk metodu bir renk ölçüm yöntemidir ve 1982'de Kimyager "Allen Hazen" tarafından geliştirilmiştir (1869-1930). Bu metot atıksulardaki kirlilik seviyelerini belirlemek ve değerlendirmek için geliştirilmiştir. O zamandan günümüze kadar sarı tonlarda renk içeren numunelerin renk değerlerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Bu metoda göre numunenin rengi, konsantrasyonu bilinen renkli çözeltilerle görsel olarak karşılaştırılarak belirlenir. Karşılaştırma özel, kalibre edilmiş, renkli cam disklerle de yapılabilir. Pt-Co metodu, renk ölçümünde standartlaşmış yaygın kullanılan bir metottur. Pt-Co renk metodu, içilebilir suların ve doğal olarak suyun yapısında bulunan maddelerin sebep olduğu rengin belirlenmesinde kullanışlıdır. Yoğun renkli endüstriyel atıksularda uygulanamamaktadır (<http://www.asaanalytics.com/color-analysis.php>, 2014a, [http://en.wikipedia.org/wiki/Pt/Co\\_scale](http://en.wikipedia.org/wiki/Pt/Co_scale), 2014e).

Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde endüstrilerden kaynaklanan renkli atık suların alıcı ortamlara deşarjı ile ilgili EN ISO 7887'de belirlenen standartlar esas alınarak, renklilik sayısı (RES) uygulanmaktadır. EN ISO 7887'ye göre renk parametresinin RES metodu ile ölçülmesi 3 kategoriye (Remazol Yellow RR gran için 436 nm, Remazol Red RR gran için 525 nm, Remazol Blue RR gran için 620 nm dalga boylarında ölçüm yapılır) ayrılmaktadır ve renk değeri RES olarak m-1 birimiyle ifade edilmektedir. RES metodu ile renk ölçümünde 3 farklı dalga boyunun kullanılmasının amacı; 400-500 nm bandında sarı ve tonları, 500-600 nm bandında kırmızı ve tonları, 600-700 nm bandında ise mavi ve tonlarının absorban vermelerinden kaynaklanmaktadır. 400-700 nm bandında dalga boyu arttıkça renkler koyu tonlarına doğru geçiş göstermektedir (Yiğit ve ark. 2009).

Renk parametresi ölçümünde kullanılan analitik metotlardan bir tanesi de ADMI Tristimulus Filter Metodu'dur (3 dalga boyu (WL) metodu). Bu metot Standart Metot 2120 D numaralı başlıkta tanımlanan Tristimulus Filtre Metodunun Amerikan Boya İmalatçıları Enstitüsü tarafından modifiye edilmiş şeklidir. En yaygın kullanılan metot

ozonlanan çözeltilerin maksimum absorbanans dalga boyunun tespit edilerek bu dalga boyundaki değişimin gözlenmesidir (Eren ve Anış 2006).

Alan yöntemi her türden su ve atık su numuneleri için uygulanabilen ve daha çok akademik çalışmalarda kullanılan bir yöntemdir. Renk parametresi değerinin alan yöntemi ile belirlenmesi atıksu numunesinin 400-700 nm arasındaki görünür dalga boyunda her 0,5 nm değerinde absorbanansının ölçülmesi ile ilişkilidir. Tarama sonucunda 400-700 nm aralığında her 0,5 nm dalga boyu değerine karşılık bir absorbanans değeri mevcuttur. Dalga boyu değerleri “x” ordinat eksenine, absorbanans değerleri de “y” ordinat eksenine yerleştirilerek oluşan eğrinin altında kalan alanın hesaplanmasıyla elde edilen değer numuneye ait rengin sayısal bir büyüklüğüdür (Cırık ve ark. 2013).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Kumaşlar

Bu çalışma için deneylerde kullanılan kumaşın özellikleri Çizelge 3.1’de yer almaktadır. Kumaş, Akbaş Holding Tekstil ve Enerji A.Ş.’nin boyahanesine ait kumaş deposundan temin edilmiştir. Kumaşın seçiminde; işletmede kullanılan yaygın kumaş tipi olması dikkate alınmıştır.

**Çizelge 3.1.** Laboratuvar tipi jet boyama makinesinde gerçekleştirilen denemelerde kullanılan kumaşa ait özellikler

Lif Oranı ve Cinsi	% 100 Polyester
Kumaş Konstrüksiyonu	1/1 Bezayağı Dokuma
Kumaş Gramajı (g/m <sup>2</sup> )	70
Atkı Sıklığı (Tel/inch)	89
Çözümlü Sıklığı (Tel/inch)	114
Atkı ve Çözümlü İplik Numarası	75 Denye

Polyester liflerin üzerine üretimleri, dokunmaları, depolanmaları esnasında yağlar ve kirler bulaşabilir. Kirleşmenin boyama ve apreğe zarar vermesini önlemek için boyamadan önce uzaklaştırılması gerekir. Bu amaçla kullanılan polyester kumaşlar, 2 g/l kostik ve 2 g/l yüzey aktif maddelerle 90<sup>0</sup>C’de 30 dakika ön işlem uygulanmıştır. Böylece kumaş üretimi esnasındaki yağlar ve kirlerden uzaklaştırılmıştır. Yıkama işlemi sonunda 1 g/l asit ile nötralizasyon işlemine tabi tutulmuştur.

##### 3.1.2. Boyarmaddeler

Tez kapsamında, Akbaş Holding Tekstil ve Enerji A.Ş.’nin boyahanesinden boyama makinelerinden çıkışlarından temin edilen boyama atık suları kullanılarak ozonlama

işlemi uygulanmıştır. Dolayısıyla boyamalarda kullanılan farklı firmalara ait dispers boyarmaddelerdir. Kullanılan boyarmaddelere ait detaylar Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Deneyleerde kullanılan boyarmaddelerin ticari isimleri ve kimyasal özellikleri

<b>Boyarmadde Adı</b>	<b>Boyarmadde Firması</b>	<b>Colour İndex</b>	<b>Boyarmadde Grubu</b>
Starcron Yellow 6GSL	İlteks	Yellow 114	Azo
Starcron Blue SGSL	İlteks	Blue 60	Azo
Starcron Red S-5BLN	İlteks	Red 167	Azo
Starcron Navy Blue S3LSN	İlteks	Blue 79	Azo
Setapers Neon Yellow 10GFC	Setaş	Yellow 82	Coumarine
Setapers Yellow CE5G	Setaş	Yellow 241	Azo
Setapers Red BEL	Setaş	Red 92	Antrakinin
Dianix Brilliant Violet R	Dystar	-	Antrakinin
Dianix Black SR	Dystar	Orange 30/Violet 93:1	Azo
Dianix Rubine CC	Dystar	Red 73	Azo
Dianix Blue CC	Dystar	Blue 366/Green 9	Azo

### **3.1.3. Kimyasallar**

Temin edilen boyama atık suları, herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan, boyama banyolarından çıktığı haliyle deneyleerde kullanılmıştır. Dispers boyama atık sularında bazı yardımcı kimyasallar bulunmaktadır. Boyamalarda kullanılan farklı firmaların yardımcı kimyasallarına ait detaylar Çizelge 3.3’de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Dispers boyamada kullanılan yardımcı kimyasalların ticari isimleri ve fonksiyonları

<b>Kimyasal Adı</b>	<b>Firma</b>	<b>Kimyasal Yapısı</b>	<b>Fonksiyon</b>
Sirrix NE	Clariant	Organik asitler	Nötralizasyon asidi
Asitex S Class	MYD	Organik asit karışımı	Uçucu olmayan tampon asidi
Leonil EHC	Clariant	Alifatik ester	Anyonik ıslatıcı
Serafoam MEO	Dystar	Emülsiyeye edilmiş yağlar	Köpük kesici
Orgafen RX 11	Organik Kimya	Özel anyonik yüzey aktif maddeler karışımı	Egalizatör
Breviol HTF	Pulcra Cognis	Özel polimerlerin kombinasyonu	PES boyama için etkin dispersiyon ve egalizasyon maddesi
Anticrease P	Spot	Polimerik bazlı yağlar	Parlama önleyici
Rucogen EYS	Rudolf Duraner	Yağ alkolü etoksilatları karışımı	Yıkama maddesi

#### **3.1.4. Kullanılan cihazlar**

Boyama ve ozon çalışmaları Akbaş Holding Tekstil ve Enerji A.Ş.'nin Boya-Baskı üretimine ait AR&GE departmanında yapılmıştır. Deney çalışmalarında; kumaşların boyanması ve atık suyun ozonlanması için laboratuvar tipi jet boyama makinesi, ozon jeneratörü ve kontakt tanktan oluşan bir sistem kullanılmıştır. Yapılan boyama sonrası kumaşın bazı özellikleri, fiziksel test cihazları ve spektrofotometre yardımıyla elde edilen verilere göre değerlendirilmiştir. Kullanılan cihazlara ait detaylı bilgiler Çizelge 3.4'de verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Deneyle sırasında kullanılan cihazlara ait detaylar

<b>Cihazın Adı</b>	<b>Marka</b>	<b>Model</b>	<b>Fonksiyonu</b>
Laboratuar Tipi Jet Boyama Makinesi	Ataç	HT 3F	Boyama
Ozon Jeneratörü	Ozonia	CFS 3 2G	Ozon üretimi
Kompresör	Atlas Copco	SF2SKID1	Ozon jeneratörü için hava üretimi
Desikant Kurutucu	Atlas Copco	CD3+	Havayı çığlenme noktasına getirir.
Ram Makinesi	Ilsung	Sun Super II	Boyama yapıldıktan sonra kumaşın kurutulması.
Mukavemet Test Cihazı	Hounsfield	H5KT-HT400	Dikiş açması, dikiş kopması, kopma mukavemet değerleri
Dijital Yırtılma Test Cihazı	James H. Heal	Elmatear	Yırtılma mukavemet değeri
Yıkama haslığı	James H. Heal	Gyrowash	Renklerin aktif oksijen içeren yıkama etkisine dayanımı
Su haslığı	James H. Heal	ISO Perspirometer	Renklerin su etkisine dayanımı
Etüv (Incubator)	Nuve	FN 400	Su haslığındaki kumaşların kurutulması
Sürtme haslığı	James H. Heal	Hand Driven Crockmeter	Renklerin sürtünme etkisine dayanımı
pH	WTW	pH315i	Banyonun asidikliğinin ölçümü
Spektrofotometre	Datacolor	SF600	Boyama atıksuyu ve renk ölçümü
Termoreaktör	WTW	CR2200	Atıksuların KOİ ölçümü
Atıksu spektrofotometresi	WTW	PHOTOLAB 6100 VIS	Atıksuların KOİ ölçümü
Işık kabini	Verivide	CAC60	Yapılan testlerin değerlendirmeleri

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Deney düzeneği ve akış diyagramı

Tez çalışması kapsamında; Akbaş Holding Tekstil ve Enerji A.Ş. boyahanesinin üretiminden boyama atık suyu temin edilmiştir. Üretim jet boyama makinelerinde yapılan dispers boyamaların atık suları makine çıkışında toplanmış ve deneylerde kullanılmak üzere Ar-Ge departmanına getirilmiştir. Ar-Ge departmanındaki laboratuvar tipi jet boyama makinesi ve ozon jeneratörü kullanılarak geri kazanım ve tekrar kullanım deneyleri yapılmıştır.

Deney sistemi; kompresör, desikant kurutucu, ozon jeneratörü, kontakt tank ve laboratuvar tipi jet boyama makinesinden oluşmaktadır (Şekil 3.1).



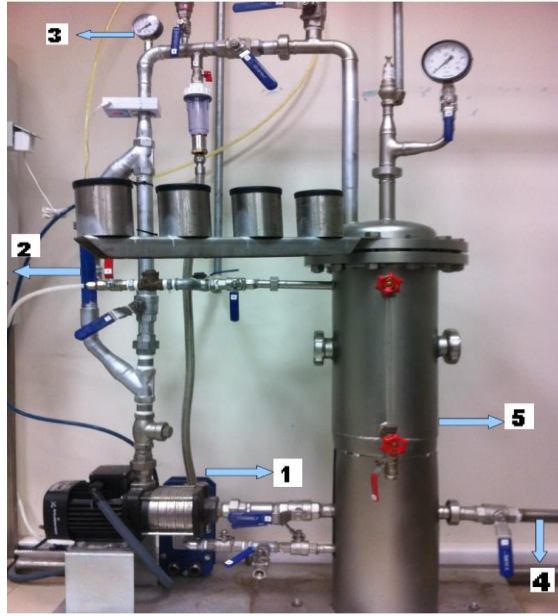
**Şekil 3.1.** Deney sistemi (1. Kompresör, 2. Desikant kurutucu, 3. Ozon jeneratörü, 4. Kontakt tank, 5. 5 kg'lık Jet boyama makinesi)

Ozon üretimi, hava beslemeli (bir kompresör ve kurutucu ile) Ozonia CFS 3 2G modeli ozon jeneratörü ile gerçekleştirilmiştir. Ozon jeneratörü, 115 g/h maksimum ozon



üretim kapasitesine sahiptir; % 90 kapasitede çalıştırıldığı için 103,5 g/h ozon gazı kontakt tanka beslenmiştir.

Bu çalışmada, endüstriyel polyester boyama prosesine ait atıksuyu renksizleştirmek için ozon kontakt tankında ozonlanma işlemi uygulanmıştır. Kontakt tank (Şekil 3.2), atık su sirkülasyonu içerisinde ozon gazı besleyebilen bir ventüri enjeksiyon sistemi ve 30 litre sıvı kapasiteli paslanmaz çelikten oluşmuştur.

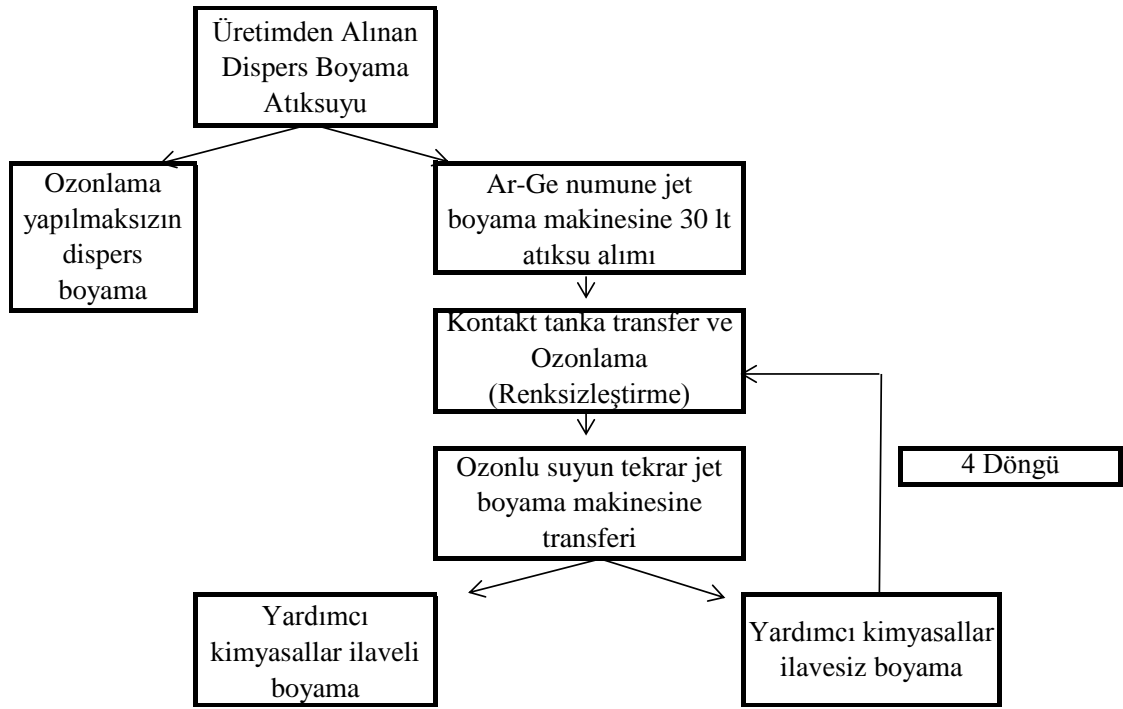


**Şekil 3.2.** Ozon kontakt tank bölümleri (1. Sirkülasyon pompası, 2. Ventüri enjeksiyon sistemi, 3. Manometre, 4. Sirkülasyon borusu, 5. Ana tank)

Üretim jet boyama makinesinden boyama sonrası alınan boyalı atık su öncelikle laboratuvar tipi jet boyama makinesine alınmıştır. Daha sonra su giriş hattı ile kontakt tankına transfer edilmiş ve burada ozon yardımıyla renksizleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Desikant kurutucunun görevi; kompresörden alınan hava desikant kurutucuyla çığlenme noktası sıcaklığına (Çığlenme noktası sabit basınç ve su buharı miktarıyla havanın soğutulmuş doyma noktasına geldiği sıcaklığa çığ noktası sıcaklığı denir) getirilerek ozon jeneratörünün ozon üretebilmesi için gerekli hava kalitesini sağlamaktır. Ozon jeneratörü, kompresörden gelen hava içerisindeki oksijeni kullanarak ozon üretimini gerçekleştirmektedir. Üretilen ozon gazının sisteme beslenmesi için bir

ventüri enjeksiyon sistemi kullanılmıştır. Enjeksiyon sisteminde boru kesit alanı azaltılarak basınç düşümü ve buna bağlı olarak hız yükselmesi sağlanarak ozonun boyalı atık su ile karışımı sağlanmıştır. Bu sayede etkili bir renksizleştirme işlemi elde edilmiştir. İşlemin başlangıcından sonuna kadar sürekli bir ozon dozajı sağlandığından atık suyun farklı zamanlardaki temizlenme derecesinin kontrolü şeffaf renk gözlem borusu ve gözlem camı ile sağlanır. Sistem sürekli kendi içerisinde sirkülasyon halinde olduğu için şeffaf renk gözlem borusunun içerisinde anlık olarak su numunesi bulunmaktadır.

**Çizelge 3.5.** Deneş akış şeması



Kontakt tankındaki ozonlama işlemi esnasında her beş dakikada bir numune alınmıştır. Alınan çözelti numunesinin renk farkı görsel olarak kalmayıncaya dek ozonlamaya devam edilmiştir. Deneşlerde genel olarak uygulanan ozonlama süresi 40 dakika olarak belirlenmiştir. Ancak koyu renk dispers boyamalara ait atık suyun rengi açılmadığından 60 dakika ozon uygulanmıştır.

Ozonlayarak renksizleştirilen su ile yeniden boyama yapılmıştır. Yapılan boyama sonrası, boyalı atık suya ozonlama ve boyama işlemleri tekrarlanmıştır. Bu tekrar sayısı elde edilen atık suların rengine göre 4 olarak belirlenmiştir.

Boyalı atık suların ozonlama işlemi öncesi ve sonrası bazı değerleri incelenmiştir. Suyun renksizleştirme oranları sadece alınan renk numunelerinden belirlenmemiş olup spektrofotometre ile % olarak renkleri ölçülmüştür. Ayrıca atık suların ve ozonlanmış su numunelerinin iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorbans değerleri de karşılaştırılmıştır.

Geri kazanılmış su ile yapılan boyamalarda elde edilen renk, mukavemet ve haslık değerleri işletme suyu ile yapılan boyamalarda elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

### 3.2.2. Boyama prosedürü

Ozonlayarak renksizleştirilen su, dispers boyama için boya banyosu olarak kullanılmıştır. Boyama yapıldıktan sonra bu boyalı su tekrar kontakt tanka alınarak ozon ile renksizleştirme işlemine tabi tutulup boyama banyosu olarak tekrar kullanılmıştır.

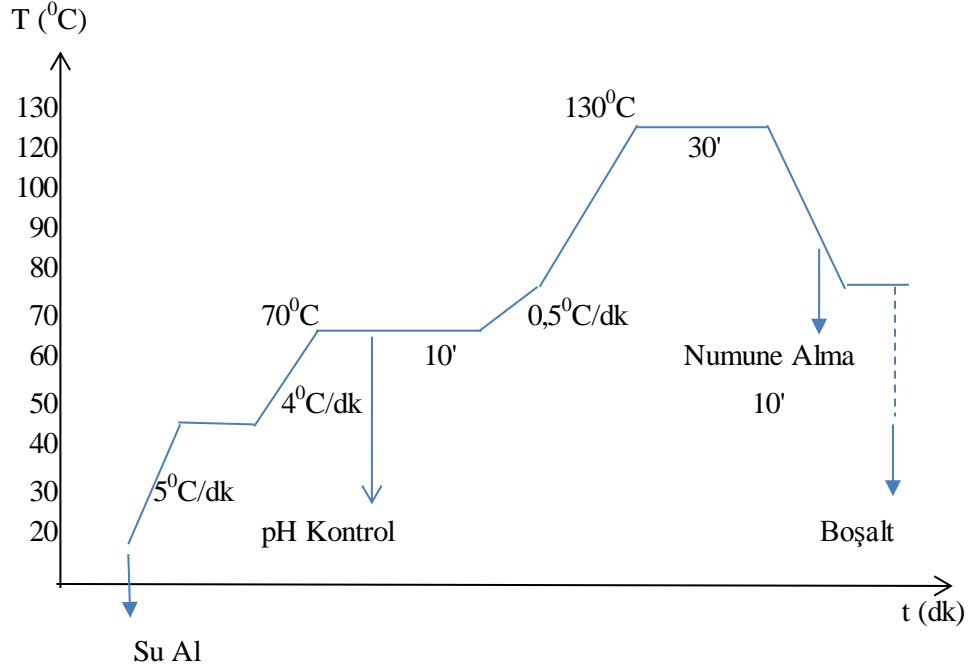
Geri kazanılan su ile boyamada kullanılan reçete Çizelge 3.6'da verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Ozon ile renksizleştirme yapıldıktan sonra belirlenen açık renk reçeteye ait boyarmadde yüzdeleri

Boyarmadde Adı	Yüzdesi
SETAPERS YELLOW CE5G	0,0213%
SETAPERS RED BEL	0,1931%
DİANIX BLUE CC	0,0016%

Deneyler için belirlenen reçeteye sahip bir HT dispers boyama grafiği Çizelge 3.7'de detaylı bir şekilde verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** HT yöntemi kullanılan dispers boyamaya ait sıcaklık-zaman diyagramı



Her renksizleştirme işleminde 30 litre boyalı atık su kullanılmıştır. Dispers boyamalar genellikle 1/8 flotte oranıyla gerçekleştirilir. Boyama makinesi üretimdeki büyüklükte olmadığı ve düzgün boyama elde edebilmek amacıyla flotte oranı 1/15 (kumaş miktarı 2 kg iken atıksu miktarı 30 l) olarak belirlenmiştir. Boyama işlemi esnasında kumaş üzerinde su taşıdığı için her boyama işlemi sonrasında suyun miktarı azalmıştır. Yapılan deneylerin flotte oranlarını sabit tutabilmek amacıyla ortalama 7 l su ilavesi yapılmıştır.

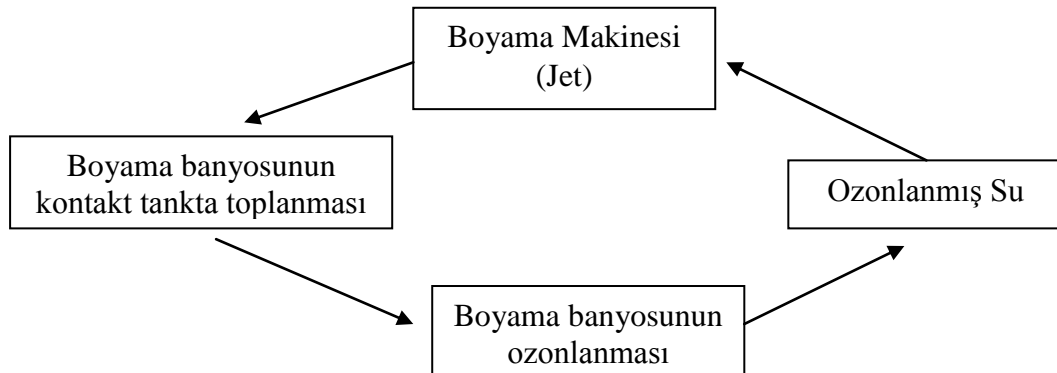
Ozonlu dispers boya banyosu atık suyu laboratuvar tipi numune boyama makinesi kullanılarak farklı boyama denemeleri yapılmıştır.

1. Kontrol: Boyarmadde ve yardımcı kimyasal ilaveli temiz su kullanılan boyama banyosu kullanılarak yapılan boyama.
2. Deneme 1: Hiç ozonlama yapılmaksızın alınan dispers boyama atık suyuna boyarmadde ilave edilerek yapılan boyama.
3. Deneme 2: Ozonlanmış dispers boyama atık suyuna boyarmadde ve yardımcı kimyasal ilave edilerek yapılan boyama.
4. Deneme 3: Ozonlanmış dispers boyama atık suyuna sadece boyarmadde ilave edilerek yapılan boyama.

İlk olarak kontrol numune deneyi yapılmıştır. Temiz su ile yapılan boyamada boyarmadde ve yardımcı kimyasallar ilave edilerek yapılan boyama standart numune olarak kabul edilmiştir. Birinci deneme olarak, üretimden alınan dispers boyama atık suyu ozonlama yapılmaksızın yardımcı kimyasallar ilave edilmeden belirlenen açık renk reçeteye göre gerekli olan boyarmadde ilave edilerek boyama denemesi yapılmıştır. Elde edilen kumaş rengi standart numuneyle karşılaştırıldığında renk sapması fazla olduğu için bu denemeye farklı renklerde devam edilmemiştir. İkinci denemede, dispers boyama atık suyu ozon ile renksizleştirme işlemi yapılmıştır. Ozonlanan suya boyarmadde ve yardımcı kimyasal ilave edilerek boyama yapılmıştır. Bu denemeye ait kumaş rengi standart numuneden farklı çıkmıştır. Bu fark nedeniyle farklı renklere ait atık sularda denenmemiştir. Üçüncü denemede ise, ozonlanan suya sadece gerekli boyarmadde ilavesiyle dipsers boyamalar yapılmıştır. Bu denemelerde başarılı sonuçlar elde edildiği için farklı renklerdeki dispers boyama atık suları ozonlanarak boyama işlemine devam edilmiştir.

Çizelge 3.8’de kontakt tank ile boyama makinesi arasındaki ilişkiyi gösteren akış şemasında görüldüğü gibi alınan boyalı atık su bir döngü içerisinde kullanılmıştır. Denemelerde 4 defa kimyasalsız boyama yapılmıştır. Boyama işlemi esnasında polyester kumaş üzerinde çözelti taşımaktadır. Bu nedenle boyama yapıldıktan sonraki atık suyun kontakt tanka transferi sırasında çözeltinin azaldığı gözlenmiştir. Bu azalma nedeniyle temiz su ilave edilerek flote oranı sabit tutulmaya çalışılmıştır. Her döngüde ilave edilen temiz su miktarı 7 litredir.

**Çizelge 3.8.** Kontakt tank ile boyama makinesi (jet) arasındaki döngü



### 3.2.3. Ölçüm ve metot

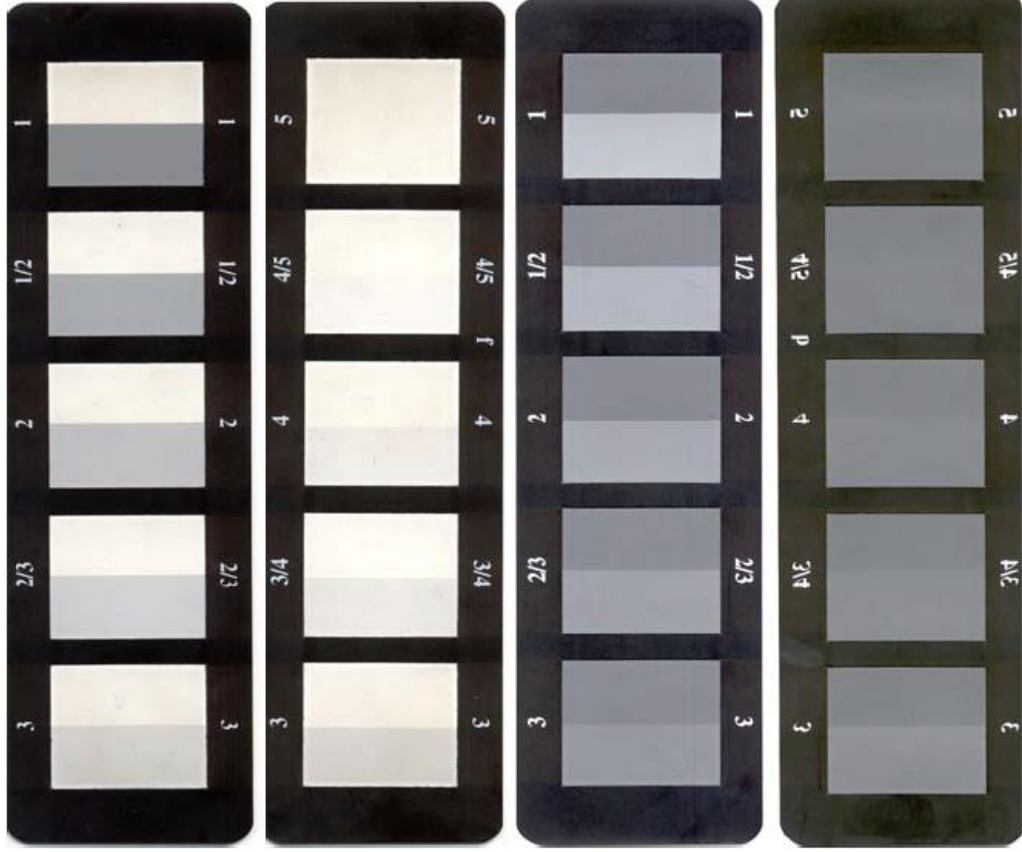
Ozonlanan atık su kullanılarak yapılan boyamaların sonunda boyanan kumaşlar farklı testlere ve renk ölçümlerine tabi tutulmuştur.

**Çizelge 3.9.** Çalışma kapsamında kumaşlara uygulanan testler

Test Tipi	Test Adı	Test Standardı
Kimyasal	Yıkama Haslığı	TS EN ISO 105 C06
	Su Haslığı	TS EN ISO 105 E01
	Sürtme Haslığı	TS EN ISO 105 X12
	pH	TS EN ISO 3071
Fiziksel	Dikiş Açması	TS EN ISO 13936-1
	Dikiş Kopması	TS EN ISO 13935-2
	Kopma Mukavemeti	TS EN ISO 13934-2
	Yırtılma Mukavemeti	TS EN ISO 13937-2

#### 3.2.3.1. Kimyasal testler

Haslık test sonuçlarının değerlendirilmesinde iki adet gri skala (Şekil 3.3) kullanılmaktadır. Refakat kumaşın lekeleme ve kumaş renklerinin solma değerlendirmesi için ayrı skalalar bulunmaktadır.



A

B

**Şekil 3.3.** A: Lekeleme gri skalası, B: Solma gri skalası

### **Yıkama haslığı testi**

Boyanmış kumaşların yıkama haslığlarının tespiti TS EN ISO 105-C06 standardı esas alınarak yapılmıştır. Yıkama haslığının amacı, boyalı ve baskılı kumaşların, mamulün cinsine ve kullanım amacına bağlı olarak çeşitli şartlarda yıkamaların etkisine karşı gösterdikleri dayanıklılığı kontrol etmektir.

Analizi yapılacak kumaştan ve multifiber refakat kumaştan 10 cm x 4 cm boyutlarında birer adet kesilip ve birbirine dikilmiştir. Test, 1 litre saf suyla 4 gr/l ECE deterjan ve 1 gr/l Sodyum Perborat Tetrahidrat içeren reçeteye hazırlanan çözeltiden 150 ml alınarak yapılmıştır. James H. Heal markasına ait Gyrowash cihaz tüplerine çözelti ve kumaş ilave edilerek 60<sup>0</sup>C'de 30 dakika yıkanmıştır. Yıkama işlemini bitiminde numuneler önceden hazırlanan 1 litre 40<sup>0</sup>C saf su bulunan beherlerde tek başına 1 dakika birinci yıkama banyosunda, 1 dakika ikinci yıkama banyosunda yıkanmıştır.

Numunenin suyu sıkılıp asarak kurutulmuştur. Kuruyan numunedeki renk değişimi (solma) ve refakat bezine renk akması (lekeleme) standart ışık altında (D65 gün ışığında) 45 derecelik açıda, gri skala ile değerlendirme yapılmıştır.

### **Su haslığı testi**

Boyanmış kumaşların yıkama haslıklarının tespiti TS EN ISO 105 E01 standardı esas alınarak yapılmıştır. Su haslığının amacı, kumaşların normal ortam sıcaklığında belirli bir miktar su içerisinde kalmaları sonucu gösterebilecekleri renk değişimlerini ve başka ürünleri kirletmelerini belirlemektir.

Analizi yapılacak kumaştan ve multifiber refakat kumaştan 10 cm x 4 cm boyutlarında birer adet kesilip ve birbirine dikilmiştir. Deney numunesi oda sıcaklığında, saf su bulunan bir kap içerisine daldırılarak 30 dakika boyunca tamamen ıslatılıp bekletilmiştir. Bekleme süresinin sonunda deney numuneleri üzerindeki fazla su uzaklaştırılıp akrilik plakalar arasına yerleştirilmiştir. Plakaların üzerine standartlara uygun toplam 5 kg (12,5 kPa basınç) ağırlık yerleştirilerek perspirometre ağırlığı sabit tutan konumda kilitlenip ağırlık kaldırılmıştır. Daha sonra etüv içerisine yerleştirilerek deney numuneleri 37<sup>0</sup>C'de 4 saat bekletilip kurutulmuştur. Numunedeki renk değişimi (solma) ve refakat bezine renk akması (lekeleme) gri skalayla ışık kabini içerisinde değerlendirilmiştir.

### **Sürtme haslığı testi**

Numune kumaşların sürtünme haslıkları TS EN ISO 105 X12 standardı esas alınarak James H. Heal markasına ait Hand Driven Crockmeter cihazında gerçekleştirilmiştir.

Numuneler en az 4 saat kondüsyonlanmıştır. Kesilen kumaşlar, gerdirilerek krokmetreye yerleştirilmiştir. 9N sabit ağırlık altındaki sürtme ucuna 5 cm x 5 cm boyutlarında, ağartılmış beyaz, % 100 pamuk olan özel refakat kumaşı sıkıştırılır. Cihazın kolu saniyede bir devir yapacak şekilde, 10 saniyede 10 kez gidiş geliş hareketi yaparak kumaşların sürtünme haslıkları kontrol edilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi



gri skalayla yapılmıştır. Değerlendirme yapılırken refakat bezindeki lekelenmeye bakılır.

### **pH testi**

Kumaşların sahip olduğu pH değeri insan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Kumaş üzerinde kalan asit ve baz artıkları, insan vücuduyla temas ettiği bölgelerde istenmeyen sağlık problemlerini açığa çıkarır. Cildin tahriş olmaması için numunenin pH değeri 4,5-7,5 arasında olmalıdır.

Deneyle sonuçunda boyanmış kumaşların pH değerlerini belirlemek için TS EN ISO 3071 Tekstiller - Sulu Özütlede pH Tayini adlı standart esas alınmıştır. Test için kumaşlardan  $2\pm 0,05$  g kütlesinde olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Bu test için iki yöntem mevcuttur. Birinci yöntemde, hazırlanan numuneler küçük küçük kesilerek bir erlende 100 ml saf su içerisinde 15 saat bekletilerek kalibre edilmiş pH metre ile çözeltinin değeri ölçülmüştür. İkinci yöntemde ise; küçük küçük kesilen numuneler 100 ml 0,1 M potasyum klorür (KCl) çözeltisi içerisinde 2 saat karıştırılarak pH değeri ölçülmüştür. Numune, su ekstraktına yapısında pH değerini oluşturan iyonlarını bırakarak direkt olarak numunenin pH değerinin ölçülmesi sağlanmıştır.

### **3.2.3.2. Fiziksel testler**

#### **Dikiş açması**

Dokuma kumaşlarda atkı ve çözgü ipliklerinin birbiri üzerinden kayma mukavemetini belirlemek amacıyla yapılır. Bu test için TS EN ISO 13936-1 standardı esas alınmıştır. Standarda göre çözgü ve atkı yönünde 3mm açıklıkta 8 kgf değerinin üzerinde olmalıdır.

Kondüsyonlanmış boyalı kumaştan 10-15 cm içeriden numuneler alınmıştır. Standarda uygun şablon (10 cm x 40 cm ) ile üçer adet çözgü ve atkı numuneleri çizilmiştir. Numuneler kesilip katlama çizgisinden katlanmıştır (katlama mesafesi 10 cm). Standarda uygun olarak % 100 polyester dikiş ipliği ile 2 cm'de 10 adım olacak

şekilde numune dikilmiştir. Mukavemet test cihazının çene aralığı standarda uygun olarak 10 cm ayarlanıp numuneler teste alınmıştır. Kullandığımız kumaş likrasız olduğu için numunelerden önce dikişsiz kısım, sonra dikili kısım takılarak test yapılmıştır.

### **Dikiş kopma mukavemeti**

Boyanmış kumaşların dikiş kopma değerlerini bulabilmek için TS EN ISO 13935-2 standardı esas alınmıştır. Bu standart, kuvvetin dikişe dik olarak uygulanması halinde en büyük dikiş kopma kuvvetinin tayini için bir işlemi kapsar.

Uzatma hızı sabit (CRE) çekme cihazı kullanılmıştır. Test için 10 cm x 25 cm ebatında hazırlanan numuneler çenelere yerleştirilmiştir. Sonra mukavemet cihazı, gösterge uzunluğu 100 mm ve çekme hızı 50 mm/dakika'ya ayarlanıp deneye başlanmıştır. Deney sonunda her bir numune için dikiş kopma mukavemeti kgf cinsinden belirlenir.

### **Kopma mukavemeti**

Dokuma kumaşların dayanabildiği maksimum kopma kuvvetini belirlemek için TS EN ISO 13934-2 standardı esas alınmıştır.

Kumaşın 10-15 cm içerisinde, 10 cm x 20 cm ebadında olan şablon ile 5 çözü ve 5 atkı numunesi çizilmiştir. Test numunelerin yönünü belirten ok işareti koyulmuştur. Hazırlanan test numuneleri 20<sup>0</sup>C, % 65 nem şartlarında 16 saat kondüsyonlanmıştır. Mukavemet cihazına 50 mm – 25 mm boyutundaki çeneler takılarak çene aralığı 10 cm mesafeye ayarlanmıştır. Test numunesi çenelere takılıp sıkıştırılmıştır. Takılan numunenin yönü ve teknik bilgileri programa tanıtılarak teste başlanmıştır. Deney sonunda her bir numune için kopma mukavemeti kgf cinsinden belirlenir.

## **Yırtılma mukavemeti**

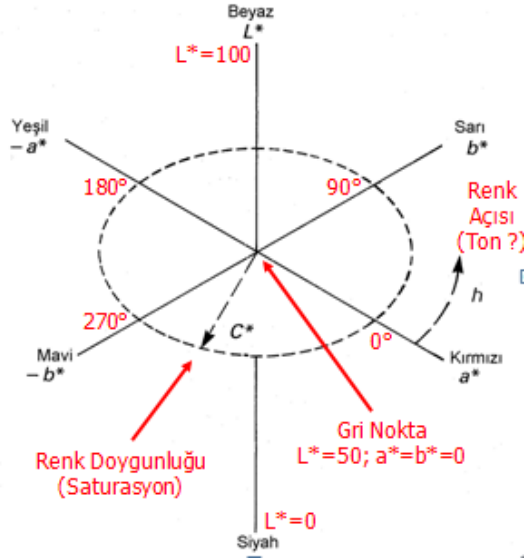
Numune kumaşların yırtılma mukavemetlerinin tespiti, TS EN ISO 13937-1 test standardı kullanılarak sarkaç prensibine göre çalışan ELMATEAR test cihazında gerçekleştirilmiştir.

Kondüsyonlanan numuneden, kumaşın yönünü belirten bir ok işareti konularak, şablon ile üçer adet çözü ve atkı numuneleri çizilip kesilmiştir. Test numunesinin boyutu 100 mm x 63 mm kalacak şekilde ayarlanmıştır. Kullandığımız kumaş likrasız olduğu için 20<sup>0</sup>C % 65 nem şartlarında 8 saat kondüsyonlanır. Numuneye uygun olan pendulum cihaza takılarak ve gösterge sıfırlanmıştır. Cihaz kullanma talimatına uygun olarak kalibre edilmiş cihaza numune takılmış ve çenelerin yardımı ile test numunesi sıkıştırılmıştır. Cihazın bıçağı ile numune ortadan 20 mm ölçüsünde kesilmiştir. Cihaz çalıştırılarak test numunesinin tamamen ikiye ayrılarak yırtılması sağlanmıştır. Ekrandaki değer gf veya N biriminde raporlandırılarak kaydedilmiştir.

### **3.2.3.3. Kumaş ve atık su renk ölçümleri**

Boyanmış kumaşların renk ölçümleri için spektrofotometrik renk ölçümü tercih edilmiştir. Kumaşların renk ölçümleri CIELab sistemine göre 10 derecelik bir gözlemci kullanılarak D65 gün ışığı altında değerleri kaydedilmiştir. Çalışmada Datacolor SF600 serisine ait bir spektrofotometre kullanılmıştır. Kumaşlara ait  $\Delta E$  değeri Kubelka-Munk eşitliğine göre K/S ve CIELAB renk farkı formülüne göre hesaplanmıştır.

Kumaşların renk farkı değerleri için bazı tolerans değerleri vardır. Bu değerler için herhangi bir uluslararası standart yoktur. Bu değerler üreticinin kalite politikası, müşteri ile üretici arasındaki anlaşmalar belirler. Çalışmada değerlendirme yapmak için standartlar tarafımızdan belirlenmiştir. Değerlendirmede renk farkı için limit değeri  $\Delta E$  (toplam renk farkı) 1 olarak belirlenmiştir.



**Şekil 3.4.** CIELab renk uzayı (L\*: Açıklık-Koyuluk Ekseni Değeri , a\*: Kırmızı-Yeşil Ekseni Değeri, b\*: Sarı-Mavi Ekseni Değeri, C\*: Kroma (Renk Doygunluğu), h: Renk Açısı (Ton açısı), X, Y, Z: Rengin Tristimulus Değerleri, Xn, Yn, Zn: Aydınlatıcının Tristimulus Değerleri) (Becerir 2010)

CIELab koordinatlarına göre renk farklılığı denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.1)$$

$\Delta$  = numune rengin değeri - standart rengin değeri

Boyama proseslerinden kaynaklanan atık su numuneleri spektrofotometre cihazıyla transmittans değerleri yapılarak değerlendirilmiştir. Ölçülen değerler, boyalı atık suyun renksizleştirme işlem öncesinde ve sonrasında görünen rengindeki değişimi göstermektedir. Transmittans değerleri yüzde cinsinden okunmuştur.

#### 3.2.3.4. Boyalı atık suyun KOİ ölçümü

Atık su numunelerinin KOİ ölçümü için Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 5220 C Closed Reflux Method standardı kullanılmıştır.



**Şekil 3.5.** Termoreaktör ve atıksu analiz fotometresi

Tez çalışması kapsamında alınan boyalı atık su numunelerinin kimyasal oksijen ihtiyacının (KOİ) belirlenebilmesi için Merck Spectroquant marka farklı ölçüm aralıklarına sahip (10-150 mg/l, 25-1500 mg/l, 300-3500 mg/l, 500-10 000 mg/l) KOİ kitleri kullanılmıştır. Kullanılan kite göre boyalı atık su numunesinden belirli bir miktarda su alınıp kitlerdeki çözeltiye ilave edilmiştir. WTW marka CR2200 model termoreaktör cihazında 148<sup>0</sup>C’de iki saat süreyle reaksiyon gerçekleştirilmiştir. İki saat reaksiyon süresi sonunda alınan örnek oda sıcaklığına soğutulduktan sonra WTW marka Photolab 6100 VIS model su ve atık su analiz fotometresi kullanılarak kimyasal oksijen ihtiyacı derişimi (mg/l) ve suyun absorbans miktarı belirlenmiştir.

#### 4. BULGULAR

Tez çalışması kapsamında farklı dispers boyarmaddeler içeren boyalı atık sular işletme şartlarında HT boyama yöntemine göre yapılmış boyamaların çıkışından alınmıştır. Bu çalışmada beş farklı boyama atık suyu kullanılmıştır. Atık suların içerdiği boyarmaddeler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** İşletmeden alınan boyalı atıksuların içerdiği dispers boyarmaddeler

Atıksu Rengi	İçerdiği Boyarmaddeler									
	Set. Neon Yellow 10GFC	Set. Yellow CE5G	Dianix Rubine CC	Dianix Blue CC	Dianix Black SR	Dianix Brilliant Violet R	Set. Red BEL	Starcron Yellow 6GSL	Starcron Red S5BLN	Starcron Navy Blue S3LSN
Sarı Neon	+									
Bordo		+	+	+						
Siyah					+					
Pembe				+		+	+			
Lacivert								+	+	+

İşletme şartlarında yapılan dispers boyamalardan alınan boyalı atık sulara öncelikle ozonla renksizleştirme işlemi uygulanmıştır. Daha sonra renksizleştirilen su belirlenen açık renk reçeteye göre yapılacak olan boyamanın boya banyosu olarak kullanılmıştır. Böylece ozon kullanarak renksizleştirilen atık suyun tekrar kullanım olasılığı değerlendirilmiştir. Bu amaçla yapılan boyamalar sonrası kumaş ve su numunelerinden elde edilen veriler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Alınan atık sular koyu renkli dispers boyamalardan alınmıştır. Çünkü açık renk dispers boyamalarda boyarmadde yüzdesi koyu renklerle karşılaştırıldığında oldukça azdır. Ozon ile yapılan renksizleştirme işleminin verimini ölçebilmek ve gözlemleyebilmek amacıyla koyu renk tercih edilmiştir.

Kumaş renginin standardını belirleyebilmek için ilk boyama deneyi yapılmıştır. Boyama banyosuna temiz su alınarak belirlenen açık renk reçeteye göre dispers boyama yapılarak elde edilen polyester kumaşın rengi standart olarak kabul edilmiştir.

Kullanılan açık renk reçetesine ait boyarmadde miktarları; % 0,0213 Setapers Yellow CE5G, % 0,1931 Setapers Red BEL, % 0,0016 Dianix Blue CC' dir.

Rengi giderilen atık suların spektrofotometre ile dalga boyu ve ışık geçirgenliği ölçülmüştür. Arıtım sonucunda elde edilen renk giderim yüzdesi hesaplanmıştır. Yapılan boyamalar süresince alınan atık su numuneleri yardımıyla, her ozonlama işleminden önce ve sonra olmak üzere kendi aralarında ozonun renk giderim verimi değerlendirilmiştir.

#### **4.1. Sarı Neon Dispers Boyarmadde İçeren Atık Su ile Yapılan Çalışmalar ve Elde Edilen Veriler**

İşletmede, Setaş firmasına ait Coumarine esaslı C.I. Yellow 82 Setapers Neon Yellow 10GFC ile % 3'lük bir boyama yapılmıştır. Yapılan dispers boyamadan alınan 90 litre boyalı atık su kullanılarak ozonlama ve ozonlanan banyo suları ile boyamalar gerçekleştirilmiştir. Atık suda bulunan kimyasallar ve boyarmadde Çizelge 4.2'de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Sarı neon boyalı atık su içerisindeki kimyasal ve boyarmadde miktarı

İçinde Bulunan Kimyasallar ve Boyarmadde Miktarı
Serafoam MEO: 0,3 g/l-- (Köpük Kesici)
Asitex S Class: 1 g/l-- (Asit Tampon)
Breviol HTF: 1,5 g/l-- (Dispergator)
Orgafen RX 11: 0,5 g/l-- (Egalizatör)
Leonil EHC: 1 g/l-- (Anyonik Islatici)
Setapers Neon Yellow 10 GFC: %3

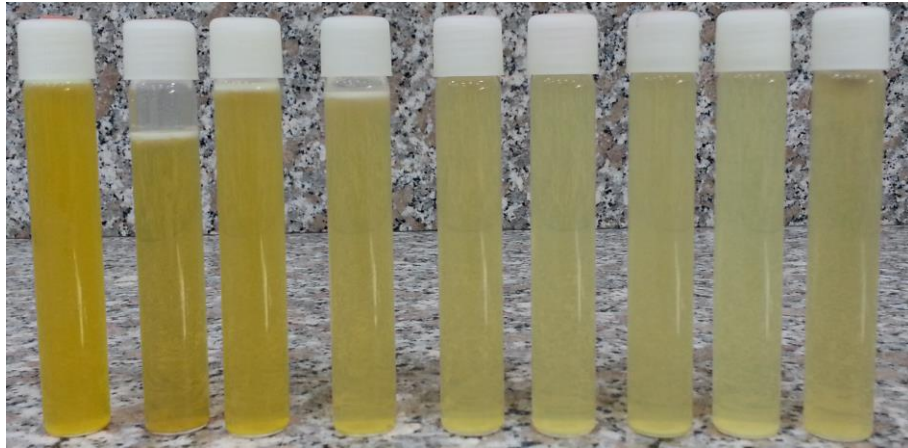
Alınan sarı neon rengindeki boyalı su ile yapılan deneyler:

1. Ozon ile renksizleştirme işlemi yapılmadan boyalı atık su ile % 0,216 açık pembe renk reçetesine göre dispers boyama yapılmıştır.
2. Atık su, kontakt tankta 40 dakika ozon ile muamele edilerek renksizleştirilmiştir. Ozonlanan su boyama suyu olarak kullanılıp içerisine 0,3 g/l Serafoam MEO, 1

g/l Asitex S Class, 1,5 g/l Breviol HTF, 0,5 g/l Orgafen RX 11 ve açık renk reçeteye ait boyarmaddeler ilave edilmiştir. Kimyasal ilave edilerek bir dispers boyama yapılmıştır.

3. % 3 Setapers Neon Yellow 10GFC ve yardımcı kimyasallar içeren boyalı atık su, kontakt tankta 40 dakika ozon ile muamele edilerek 1'nci renksizleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu ozonlanan su, jet boyama makinesine transfer edilerek kimyasal ilave edilmeksizin sadece açık renk reçeteye ait boyarmaddeler ilave edilerek dispers boyama yapılmıştır.

Kontakt tankta gözlem borusu yardımıyla işlem süresince her 5 dakikada bir su numunesi (Şekil 4.3) alınmıştır. Böylece temizlenme derecesi gözlenmiştir.



**Şekil 4.1.** Sarı neon atık su 1'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri

Ozonlanma öncesi ve sonrası sulara ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorban değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. Ayrıca atık su numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.4'dedir. Okutulan değerlere göre ilk ozonlama işleminde % 3'lük boyarmaddeye sahip atık su % 54 oranında renksizleştirme yapılmıştır.



**Çizelge 4.3.** Sarı neon 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

	İletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ (mg/l)	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	478	22	8,1	< 50	1,731
<b>Boyalı Su (1.Ozon Başı)</b>	1012	21	6	8715	1,921
<b>1. Ozon Sonu</b>	979	30,2	4,6	2772	0,889

**Çizelge 4.4.** Sarı neon 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: Bmli Su
<b>Boyalı Su (1.Ozon Başı)</b>	100,00%	100,00%
<b>1. Ozon Sonu</b>	45,67%	45,67%

4. Bir önceki deneyde yapılan dispers boya banyosu kontakt tanka alınıp 40 dakika boyunca ozon ile 2'nci renksizleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Bu ozonlu su jet boyama makinesine transfer edilerek sadece açık renk reçeteye ait boyarmaddeler ilave edilip bir dispers boyama yapılmıştır.

1'nci renksizleştirme işlemi sonrasında, ozonlu su boyama banyosu olarak tekrar kullanılmıştır. Yapılan boyama sonrasındaki atık su kontakt tanka alınıp 2'nci renksizleştirme işlemi uygulanmıştır. 2'nci renksizleştirme işlemi süresince alınan her 5 dakikada bir su numunesi Şekil 4.2'deki gibidir.



**Şekil 4.2.** Sarı neon atık su 2'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri

2'nci ozonlanma öncesi ve sonrası sulara ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorbans değerleri Çizelge 4.5'de verilmiştir. Ayrıca atık su numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.6'dadır. Okutulan değerlere göre 2'nci renksizleştirme işleminde % 30 oranında renk giderim verimi elde edilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Sarı neon 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

	İletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ (mg/l)	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	478	22	8,1	< 50	1,731
<b>2. Ozon Başı</b>	1118	22	6	2032	0,660
<b>2. Ozon Sonu</b>	1134	36,6	5,68	1696	0,556

**Çizelge 4.6.** Sarı neon 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: BM'li Su
<b>2. Ozon Başı</b>	100,00%	26,03%
<b>2. Ozon Sonu</b>	69,88%	25,39%

5. Yapılan 2'nci boyama sonrası elde edilen atık su kontakt tanka alınıp 40 dakika ozon ile 3'ncü renksizleştirme işlemine tabi tutulup sadece açık renk reçeteye ait boyarmadde ilavesiyle dispers boyama yapılmıştır.

3'ncü renksizleştirme işlemi süresince her 5 dakikada bir alınan su numuneleri Şekil 4.3'deki gibidir.



**Şekil 4.3.** Sarı neon atıksu 3'ncü ozonlama işleminden alınan su numuneleri

3'ncü ozonlanma öncesi ve sonrası sulara ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorbens değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir. Atık su numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.8'dedir. Okutulan değerlere göre 3'ncü renksizleştirme işleminde % 6 oranında renk giderim verimi elde edilmiştir.

**Çizelge 4.7.** Sarı neon 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

	İletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ (mg/l)	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	478	22	8,1	< 50	1,731
<b>3. Ozon Başı</b>	1022	25,8	6	1702	0,558
<b>3. Ozon Sonu</b>	1103	38	4,1	1103	0,525

**Çizelge 4.8.** Sarı neon 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: BM'li Su
<b>3. Ozon Başı</b>	100,00%	29,54%
<b>3. Ozon Sonu</b>	94,12%	27,82%

Alınan sarı neon rengindeki boyalı su ile yapılan dispers boyama sonucunda elde edilen kumaşlara ait mukavemet test sonuçları (dikiş açması, dikiş kopması, kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti) Çizelge 4.9'da verilmiştir.

**Çizelge 4.9.** Sarı neon boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların mukavemet test sonuçları

İşlem Adımı	Standart ISO 13936-1 8 KGF 3 MM		Standart ISO 13935-2 12 KGF		Standart ISO 13934-2 15 KGF		Standart ISO 13937-2 700 GF	
	Dikiş açması		Dikiş kopması		Kopma mukavemeti		Yırtılma mukavemeti	
Temiz Su	>25	>25	20,16	23,49	26,96	21,34	1758	1069
Ozonlanmamış	>25	22,52	20,93	>25	36,22	17,56	1256	821
1. Ozon + Kimyasal İlaveli	14,07	19,09	16,9	22,72	25,74	20,55	2205	793
1. Ozon	13,66	24,55	18,61	>25	33,69	21,03	2625	1412
2. Ozon	13,46	21,29	19,2	24,88	30,59	23,73	1123	877
3. Ozon	>25	14,85	17,79	24,07	30,8	21,11	1335	877

Kumaşlara ait haslık ve pH test değerleri Çizelge 4.10'dadır.

**Çizelge 4.10.** Sarı neon boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların haslık ve pH test sonuçları

İşlem Adımı	Yıkama Haslığı	Su Haslığı	Sürtme Haslığı	pH
Temiz Su	5	4/5	5	7,3
Ozonlanmamış	5	4/5	5	6,8
1. Ozon + Kimyasal İlaveli	5	5	5	9,5
1. Ozon	4/5	4/5	5	6,9
2. Ozon	5	5	5	7
3. Ozon	4/5	4/5	5	6,6

Boyama sonrasında elde edilen kumaş renklerinin  $\Delta E$  değerleri Çizelge 4.11'deki gibidir.

**Çizelge 4.11.** Sarı neon boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaş renklerinin  $\Delta E$  değerleri

Kumaş Renkleri	$\Delta E$ Değerleri
Temiz Su	STD.
Ozonlanmamış	6,03
1.Ozon+Kimyasal İlaveli	1,95
1.Ozon	1,64
2.Ozon	0,58
3.Ozon	0,62

## 4.2. Bordo Dispers Boyarmadde İçeren Atık Su ile Yapılan Çalışmalar ve Elde Edilen Veriler

İşletmede, Setaş ve Dystar firmalarına ait Azo esaslı Setapers Yellow CE5G, Dianix Rubine CC ve Dianix Blue CC ile % 1,7'lik bir boyama yapılmıştır. Yapılan dispers boyamadan alınan 30 litre boyalı atık su kullanılarak ozonlama ve ozonlanan banyo suları ile boyamalar gerçekleştirilmiştir. Atık suda bulunan kimyasallar ve boyarmadde Çizelge 4.12'de verilmiştir.

**Çizelge 4.12.** Bordo atık su içerisindeki kimyasal ve boyarmadde miktarları

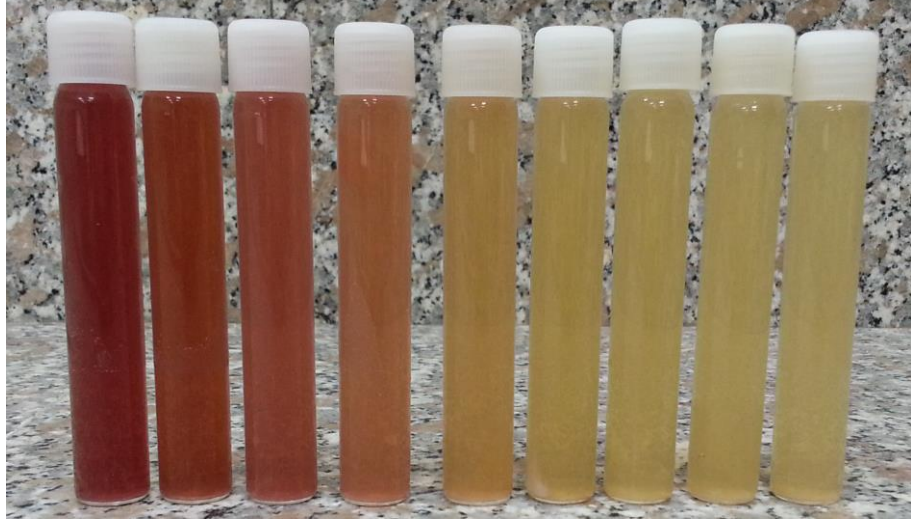
İçinde Bulunan Kimyasallar ve Boyarmadde Miktarı
Serafoam MEO: 0,3 g/l-- (Köpük Kesici)
Asitex S Class: 1 g/l-- (Asit Tampon)
Breviol HTF: 1,5 g/l-- (Dispergator)
Orgafen RX 11: 0,5 g/l-- (Egalizatör)
Lenoil EHC: 1 g/l-- (Anyonik Islatici)
Setapers Yellow CE5G: %0,0278
Dianix Rubine CC: %1,51
Dianix Blue CC: %0,166

Sarı neon boyarmadde içeren atık su ile yapılan kimyasal ilaveli ve ozonlamadan yapılan dispers boyama sonucunda elde edilen kumaş renkleri standart numune rengine göre ( $\Delta E > 1$ ) farklı çıkmıştır. Kimyasal ilave edilmeksizin ve kimyasal ilave edilerek yapılan deneylerde elde edilen  $\Delta E$  değerleri arasında çok farklı olmadığı için bu denemelere diğer atıksu deneylerinde devam edilmemiştir. Kimyasal madde tasarrufu sağlayabilmek amacıyla kimyasal ilave edilmeden deneyler yapılmıştır.

Bordo rengindeki atık su ile yapılan deneyler:

1. % 1,7 boyarmadde ve yardımcı kimyasallar içeren boyalı atık su, kontakt tankta 40 dakika ozon ile muamele edilerek 1'nci renksizleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu ozonlanan su, jet boyama makinesine transfer edilerek kimyasal ilave edilmeksizin sadece açık renk reçeteye ait boyarmaddeler ilave edilerek dispers boyama yapılmıştır.

Kontakt tank gözlem borusu yardımıyla alınan renksizleştirme işlemi süresince beşer dakikalık su numuneleri Şekil 4.4'deki gibidir.



**Şekil 4.4.** Bordo atık su 1'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri

Bordo atık suyuna ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorbans değerleri Çizelge 4.13'de verilmiştir. Atıksu numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.14'dedir. Okutulan değerlere göre ilk ozonlama işleminde % 1,7'lik boyarmaddeye sahip atık su % 40 oranında renksizleştirme yapmıştır.

**Çizelge 4.13.** Bordo 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

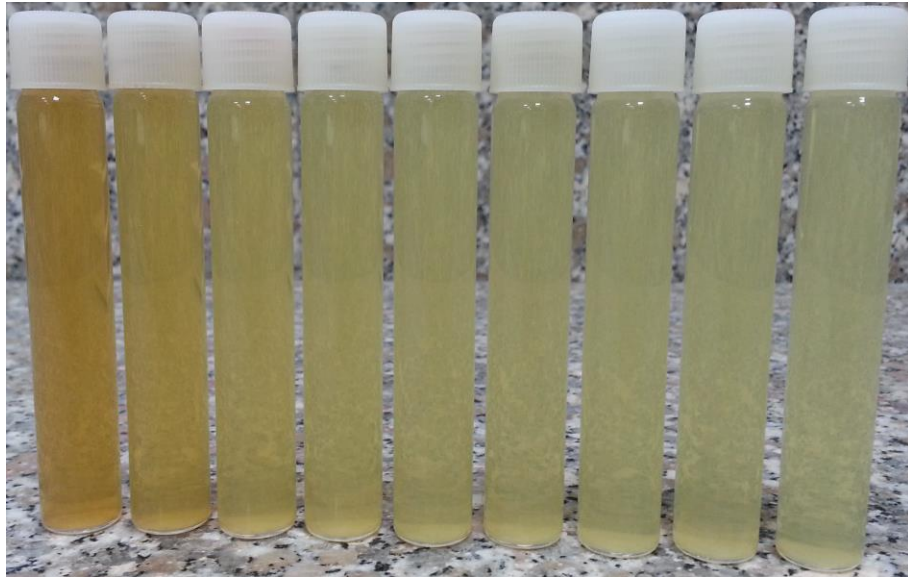
	İletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ (mg/l)	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	478	22	8,1	< 50	1,731
<b>Boyalı Su (1.Ozon Başı)</b>	912	34,6	4,87	3195	0,723
<b>1. Ozon Sonu</b>	1051	33,5	4,09	2844	0,912

**Çizelge 4.14.** Bordo 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: BM'li Su
<b>Boyalı Su (1.Ozon Başı)</b>	100,00%	100,00%
<b>1. Ozon Sonu</b>	62,99%	62,99%

2. Bir önceki deneyde yapılan dispers boya banyosu kontakt tanka alınıp 40 dakika boyunca ozon ile 2'nci renksizleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Bu ozonlu su jet boyama makinesine transfer edilerek sadece açık renk reçeteye ait boyarmaddeler ilave edilip bir dispers boyama yapılmıştır.

Yapılan 1'nci boyama sonrasındaki atık su kontakt tanka alınıp tekrar 40 dakika ozon uygulanarak 2'nci renksizleştirme işlemi uygulanmıştır. 2'nci renksizleştirme işlemi süresince alınan her 5 dakikada bir su numunesi Şekil 4.5'deki gibidir.



**Şekil 4.5.** Bordo atık su 2'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri

2'nci ozonlanma öncesi ve sonrası sulara ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorban değerleri Çizelge 4.15'de verilmiştir. Atıksu numunelerinin spektrofotometrede



okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.16'dadır. Sonuçlara göre bordo renkteki atık suyun 2'nci renksizleştirme işleminde % 25 oranında renk giderim verimi elde edilmiştir.

**Çizelge 4.15.** Bordo 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

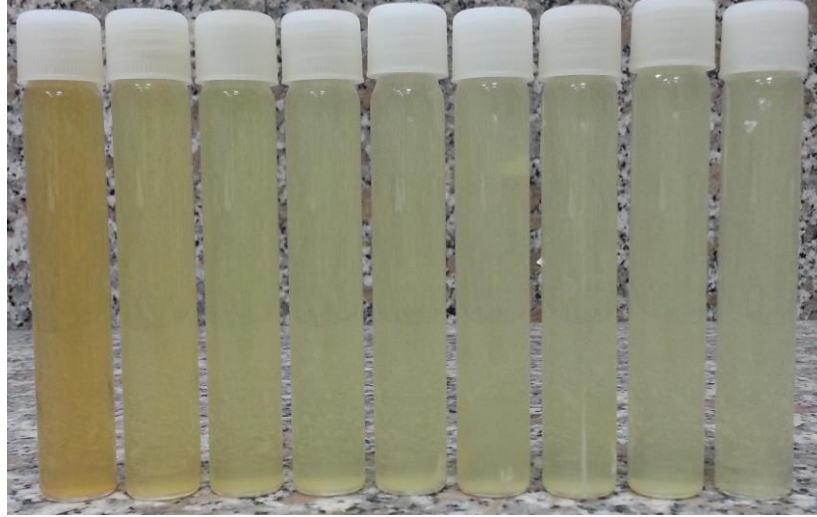
	İletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ (mg/l)	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	428	22	8,1	< 50	1,731
<b>2. Ozon Başı</b>	1134	23,6	4,54	2822	0,905
<b>2. Ozon Sonu</b>	1301	34,7	3,66	2658	0,854

**Çizelge 4.16.** Bordo 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: BM'li Su
<b>2. Ozon Başı</b>	100,00%	68,75%
<b>2. Ozon Sonu</b>	74,56%	51,27%

3. Yapılan 2'nci boyama sonrası elde edilen atıksu kontakt tanka alınıp 40 dakika ozon ile 3'ncü renksizleştirme işlemine tabi tutulup açık renk reçeteye ait boyarmadde ilavesiyle dispers boyama yapılmıştır.

Bordo rengine ait 3'ncü renksizleştirme işlemi için alınan her 5 dakikadaki su numuneleri Şekil 4.6'daki gibidir.



**Şekil 4.6.** Bordo atık su 3'ncü ozonlama işleminden alınan su numuneleri

3'ncü ozonlanma öncesi ve sonrası sulara ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorbans değerleri Çizelge 4.17'de verilmiştir. Atık su numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.18'dedir. Elde edilen değerlere göre 3'ncü renksizleştirme işleminde % 20 oranında renk giderim verimi elde edilmiştir.

**Çizelge 4.17.** Bordo 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

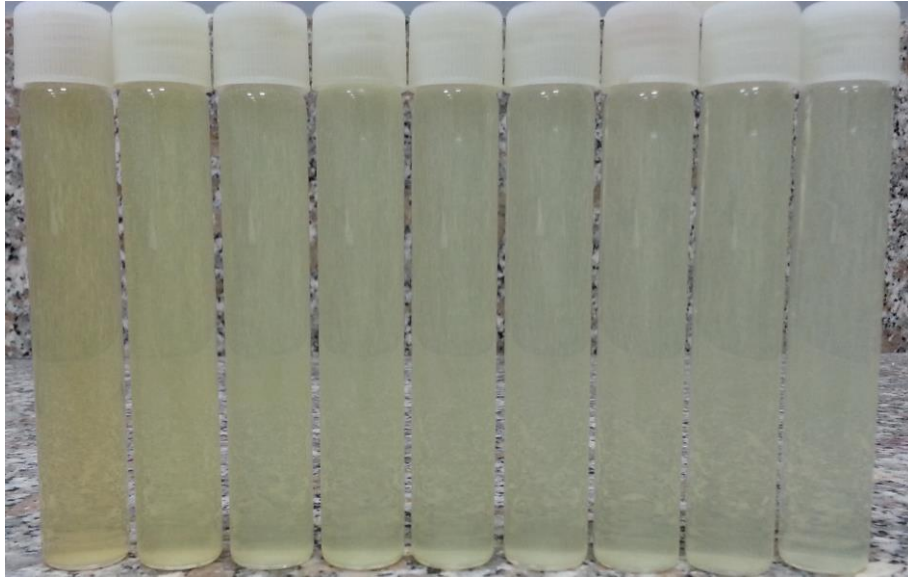
	İletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ (mg/l)	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	478	22	8,1	< 50	1,731
<b>3. Ozon Başı</b>	1212	25,6	4,67	2050	0,665
<b>3. Ozon Sonu</b>	1310	37,1	3,98	1992	0,648

**Çizelge 4.18.** Bordo 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: BM'li Su
<b>3. Ozon Başı</b>	100,00%	58,43%
<b>3. Ozon Sonu</b>	79,46%	46,43%

4. Yapılan 3'ncü boyama sonrası elde edilen atık su kontakt tanka alınıp 4'ncü renksizleştirme işlemine tabi tutulmuş ve açık renk reçeteye ait boyarmaddeler ilave edilerek dispers boyama yapılmıştır.

Bordo rengine ait 4'ncü renksizleştirme işlemi için alınan her 5 dakikadaki su numuneleri Şekil 4.7'deki gibidir.



**Şekil 4.7.** Bordo atık su 4'ncü ozonlama işleminden alınan su numuneleri

4'ncü ozonlanma öncesi ve sonrası sulara ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorban değerleri Çizelge 4.19'da verilmiştir. Atık su numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.20'dedir. Elde edilen değerlere göre 4'ncü renksizleştirme işleminde % 10 oranında renk giderim verimi elde edilmiştir.

**Çizelge 4.19.** Bordo 4'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

	İletkenlik ( $\mu\text{s/cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ (mg/l)	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	478	22	8,1	< 50	1,731
<b>4. Ozon Başı</b>	1313	25,8	4,79	1790	0,585
<b>4. Ozon Sonu</b>	1473	38,1	3,65	1686	0,553

**Çizelge 4.20.** Bordo 4'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD:BM'li Su
<b>4. Ozon Başı</b>	100,00%	43,51%
<b>4. Ozon Sonu</b>	90,52%	39,38%

İşletmeden alınan bordo rengindeki atıksu ile yapılan dispers boyama sonucunda elde edilen kumaşlara ait mukavemet test sonuçları (dikiş açması, dikiş kopması, kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti) Çizelge 4.21'de verilmiştir.

**Çizelge 4.21.** Bordo boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların mukavemet test sonuçları

İşlem Adımı	Standart ISO 13936-1 8 KGF 3 MM		Standart ISO 13935-2 12 KGF		Standart ISO 13934-2 15 KGF		Standart ISO 13937-2 700 GF	
	Dikiş açması		Dikiş kopması		Kopma mukavemeti		Yırtılma mukavemeti	
1. Ozon	>25	21,92	17,17	22,99	17,4	24,24	651	905
2. Ozon	>25	19,2	18,76	22,64	25,57	19,78	1015	736
3. Ozon	>25	19,43	17,71	22,66	21,13	17,6	1710	700
4. Ozon	>25	22,69	18,76	22,64	24,58	13,83	1042	622

Kumaşlara ait haslık ve pH test değerleri Çizelge 4.22'dedir.

**Çizelge 4.22.** Bordo boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların haslık ve pH test sonuçları

İşlem Adımı	Yıkama Haslığı	Su Haslığı	Sürtme Haslığı	pH
1. Ozon	4/5	4/5	5	6,4
2. Ozon	5	5	5	6,6
3. Ozon	5	5	5	6,8
4. Ozon	4/5	4/5	5	5,9

Boyama sonrasında elde edilen kumaş renklerinin  $\Delta E$  değerleri Çizelge 4.23'deki gibidir.

**Çizelge 4.23.** Bordo boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaş renklerinin  $\Delta E$  değerleri

Kumaş Renkleri	$\Delta E$ Değerleri
Temiz Su	STD.
1.Ozon	1,47
2.Ozon	1,23
3.Ozon	0,71
4.Ozon	0,94

### **4.3. Siyah Dispers Boyarmadde İçeren Atık Su ile Yapılan Çalışmalar ve Elde Edilen Veriler**

İşletmede, Dystar firmasına ait Azo esaslı Dianix Black SR ile % 5'lik bir boyama yapılmıştır. Yapılan dispers boyamadan 30 litre boyalı atık su alınarak ozon yardımıyla renksizleştirme yapılmış ve ozonlanan banyo suları ile boyamalar gerçekleştirilmiştir. Atık suda bulunan yardımcı kimyasal maddeler ve boyarmadde Çizelge 4.24'de verilmiştir.

**Çizelge 4.24.** Siyah atık su içerisindeki kimyasal ve boyarmadde miktarı

İçinde Bulunan Kimyasallar ve Boyarmadde Miktarı
Serafoam MEO: 0,3 g/l-- (Köpük Kesici)
Asitex S Class: 1 g/l-- (Asit Tampon)
Breviol HTF: 1,5 g/l-- (Dispergatör)
Orgafen RX 11: 0,5 g/l-- (Egalizatör)
Leonil EHC: 1 g/l-- (Anyonik Islatici)
Anticrease P: 2 g/l-- (Parlama Önleyici)
Dianix Black SR: % 5

% 5 boyarmadde ve yardımcı kimyasallar içeren boyalı atık suyun boyarmadde oranı yüksek olduğu için kontakt tankta 60 dakika ozon ile muamele edilmiştir. İşlem boyunca kontakt tanktan alınan beşer dakikalık su numuneleri Şekil 4.8'deki gibidir. 1'nci renksizleştirme işlemi gerçekleştirildikten sonra ozonlu su, jet boyama makinesine transfer edilerek kimyasal ilave edilmeksizin sadece açık renk reçeteye ait boyarmaddeler ilave edilerek dispers boyama yapılmıştır.



**Şekil 4.8.** Siyah atık su 1'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri

Siyah renkli atık suya ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorbans değerleri Çizelge 4.25'de verilmiştir. Atık su numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.26'dadır. Okutulan değerlere göre ilk ozonlama işleminde % 5'lik boyarmaddeye sahip atık suda, % 60 oranında renksizleştirme yapılmıştır.

**Çizelge 4.25.** Siyah 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

	İletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ (mg/l)	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	478	22	8,1	< 50	1,731
<b>1. Ozon Başı</b>	1230	26,1	3,87	5020	1,119
<b>1. Ozon Sonu</b>	1545	38,8	3,4	4465	0,999

**Çizelge 4.26.** Siyah 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: BM'li Su
<b>1. Ozon Başı</b>	100,00%	100,00%
<b>1. Ozon Sonu</b>	39,29%	39,29%

İşletmeden alınan siyah renkteki atık su ile yapılan dispers boyama sonucunda elde edilen kumaşa ait mukavemet test sonuçları (dikiş açması, dikiş kopması, kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti) Çizelge 4.27'de verilmiştir.

**Çizelge 4.27.** Siyah boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşın mukavemet test sonuçları

İşlem Adımı	Standart ISO 13936-1 8 KGF 3 MM		Standart ISO 13935-2 12 KGF		Standart ISO 13934-2 15 KGF		Standart ISO 13937-2 700 GF	
	Dikiş açması		Dikiş kopması		Kopma mukavemeti		Yırtılma mukavemeti	
	Boy	En	Boy	En	Boy	En	Boy	En
1. OZON	>25	>25	15,85	20,39	18,8	25,9	1203	932

Kumaşa ait haslık ve pH test değerleri Çizelge 4.28'dedir.

**Çizelge 4.28.** Siyah boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşın haslık ve pH test sonuçları

İşlem Adımı	Yıkama Haslığı	Su Haslığı	Sürtme Haslığı	pH
1. Ozon	4/5	4/5	5	6,1

Siyah boyarmadde içeren atık su ile kimyasal ilave edilmeksizin sadece açık renk reçeteye ait boyarmaddeler ilave edilerek yapılan dispers boyama sonucunda elde edilen kumaş rengi standart numune rengine göre ( $\Delta E > 1$ ) farklı çıkmıştır. Transmittans değerlerine göre renksizleştirme verimi yüksek olmasına rağmen boyama sonrasında elde edilen kumaşın rengi siyahimsi bir renktir ve  $\Delta E$  değeri 6,73'tür. Kumaş renk sapması yüksek olduğu için siyah atık su ile renksizleştirme işlemlerine devam edilmemiştir.

#### **4.4. Pembe Dispers Boyarmadde İçeren Atık Su ile Yapılan Çalışmalar ve Elde Edilen Veriler**

İşletmede, Setaş firmasına ait Antrakinin esaslı Setapers Red BEL, Dystar firmasına ait Antrakinin esaslı Dianix Brilliant Violet R ve Azo esaslı Dianix Blue CC ile % 1,39'lük bir boyama yapılmıştır. Yapılan dispers boyamadan alınan 30 litre boyalı atık su kullanılarak ozonlama ve ozonlanan banyo suları ile boyamalar gerçekleştirilmiştir. Atık suda bulunan kimyasallar ve boyarmaddeler Çizelge 4.29'da verilmiştir.

**Çizelge 4.29.** Pembe atık su içerisindeki kimyasal ve boyarmadde miktarları

İçinde Bulunan Kimyasallar ve Boyarmadde Miktarı
Serafoam MEO: 0,3 g/l-- (Köpük Kesici)
Asitex S Class: 1 g/l-- (Asit Tampon)
Breviol HTF: 1,5 g/l-- (Dispergator)
Orgafen RX 11: 0,5 g/l-- (Egalizator)
Setapers Red BEL: %0,908
Dianix Brilliant Violet R: %0,453
Dianix Blue CC: %0,0254



Pembe renkteki atık su ile yapılan deneyler:

1. % 1,39 boyarmadde ve yardımcı kimyasallar içeren boyalı atık su, kontakt tankta 40 dakika ozon ile muamele edilerek 1'nci renksizleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ozonlu su, jet boyama makinesine transfer edilerek kimyasal ilave edilmeksizin sadece açık renk reçeteye ait boyarmaddeler ilave edilerek dispers boyama yapılmıştır.

Kontakt tank gözlem borusu yardımıyla alınan renksizleştirme işlemi süresince beşer dakikalık su numuneleri Şekil 4.9'daki gibidir.



**Şekil 4.9.** Pembe atık su 1'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri

Pembe atık suyuna ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorban değerleri Çizelge 4.30'da verilmiştir. Atık su numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.31'dedir. Okutulan değerlere göre ilk ozonlama işleminde % 1,39'luk boyarmaddeye sahip atık su % 15 oranında renksizleştirme yapılmıştır.

**Çizelge 4.30.** Pembe 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

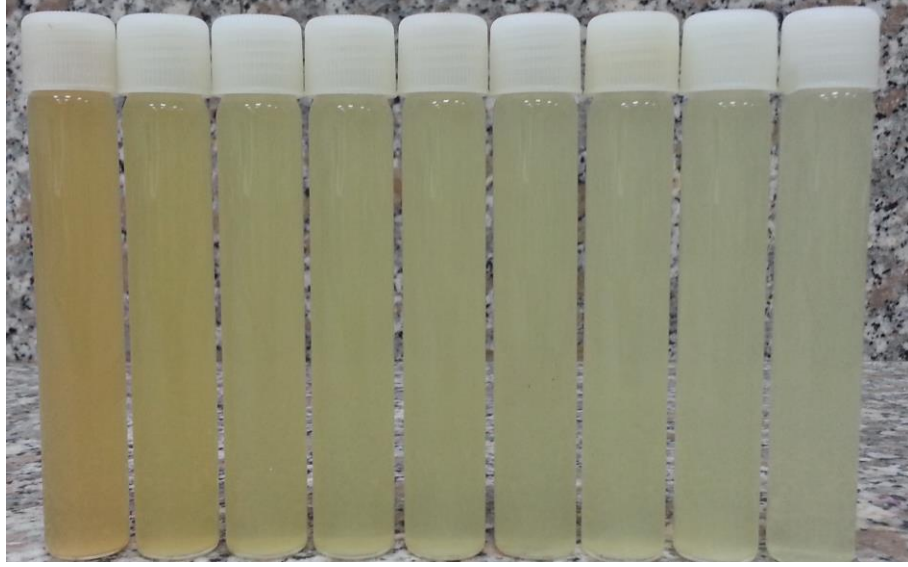
	İletkenlik ( $\mu\text{s/cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ (mg/l)	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	428	22	8,1	< 50	1,731
<b>Boyalı Su (1.Ozon Başı)</b>	861	26,3	4,72	2402	0,774
<b>1. Ozon Sonu</b>	917	34,3	4,03	1864	0,608

**Çizelge 4.31.** Pembe 1'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: BM'li Su
<b>Boyalı Su (1.Ozon Başı)</b>	100,00%	100,00%
<b>1. Ozon Sonu</b>	85,00%	85,00%

2. Bir önceki deneyde yapılan dispers boya banyosu kontakt tanka alınıp 40 dakika boyunca ozon ile 2'nci renksizleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Ozonlanmış su jet boyama makinesine transfer edilerek sadece açık renk reçeteye ait boyarmaddeler ilave edilip bir dispers boyama yapılmıştır.

Yapılan 1'nci boyama sonrasındaki atık su kontakt tanka alınıp tekrar 40 dakika ozon uygulanarak 2'nci renksizleştirme işlemi uygulanmıştır. 2'nci renksizleştirme işlemi süresince alınan her 5 dakikada bir su numunesi Şekil 4.10'daki gibidir.



**Şekil 4.10.** Pembe atık su 2'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri

2'nci ozonlanma öncesi ve sonrası sulara ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorban değerleri Çizelge 4.32'de verilmiştir. Atık su numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.33'dedir. Sonuçlara göre bordo renkteki atık suyun 2'nci renksizleştirme işleminde % 35 oranında renk giderim verimi elde edilmiştir.

**Çizelge 4.32.** Pembe 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

	İletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ (mg/l)	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	428	22	8,1	< 50	1,731
<b>2. Ozon Başı</b>	974	29,3	4,29	1766	0,577
<b>2. Ozon Sonu</b>	1177	42,3	3,64	1594	0,524

**Çizelge 4.33.** Pembe 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: BM'li Su
<b>2. Ozon Başı</b>	100,00%	92,00%
<b>2. Ozon Sonu</b>	64,93%	60,00%

3. Yapılan 2'nci boyama sonrası elde edilen atık su kontakt tanka alınıp 40 dakika ozon ile 3'ncü renksizleştirme işlemine tabi tutulup açık renk reçeteye ait boyarmadde ilavesiyle dispers boyama yapılmıştır.

Pembe rengine ait 3'ncü renksizleştirme işlemi için alınan her 5 dakikadaki su numuneleri Şekil 4.11'deki gibidir.



**Şekil 4.11.** Pembe atık su 3'ncü ozonlama işleminden alınan su numuneleri

3'ncü ozonlanma öncesi ve sonrası sulara ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorbans değerleri Çizelge 4.34'de verilmiştir. Atık su numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.35'dedir. Elde edilen değerlere göre 3'ncü renksizleştirme işleminde % 32 oranında renk giderim verimi elde edilmiştir.

**Çizelge 4.34.** Pembe 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

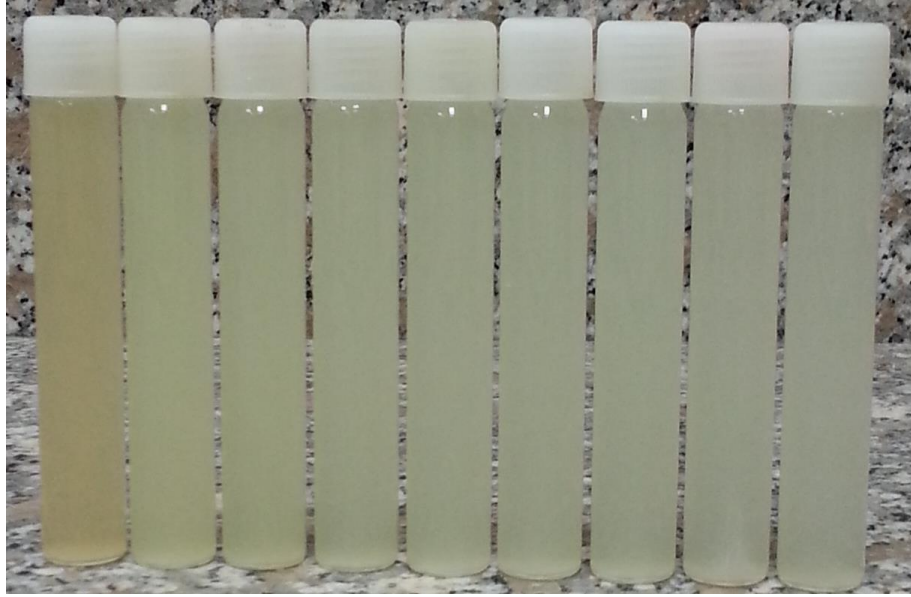
	İletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ ( $\text{mg}/\text{l}$ )	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	428	22	8,1	< 50	1,731
<b>3. Ozon Başı</b>	1160	26,3	4,11	1536	0,506
<b>3. Ozon Sonu</b>	1324	38	3,61	1470	0,456

**Çizelge 4.35.** Pembe 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: BM'li Su
<b>3. Ozon Başı</b>	100,00%	82,00%
<b>3. Ozon Sonu</b>	68,18%	56,00%

4. Yapılan 3'ncü boyama sonrası elde edilen atık su kontakt tanka alınıp 4'ncü renksizleştirme işlemine tabi tutulmuş ve açık renk reçeteye ait boyarmaddeler ilave edilerek dispers boyama yapılmıştır.

Pembe rengine ait 4'ncü renksizleştirme işlemi için alınan her 5 dakikadaki su numuneleri Şekil 4.12'deki gibidir.



**Şekil 4.12.** Pembe atık su 4'ncü ozonlama işleminden alınan su numuneleri

4'ncü ozonlanma öncesi ve sonrası sulara ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorpsiyon değerleri Çizelge 4.36'da verilmiştir. Atık su numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.37'dedir. Elde edilen değerlere göre 4'ncü renksizleştirme işleminde % 22 oranında renk giderim verimi elde edilmiştir.

**Çizelge 4.36.** Pembe 4'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

	İletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ ( $\text{mg}/\text{l}$ )	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	428	22	8,1	< 50	1,731
<b>4. Ozon Başı</b>	1195	27,3	4,1	1684	0,552
<b>4. Ozon Sonu</b>	1320	36	3,54	1368	0,454

**Çizelge 4.37.** Pembe 4'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: BM'li Su
<b>4. Ozon Başı</b>	100,00%	92,34%
<b>4. Ozon Sonu</b>	77,69%	71,74%

İşletmeden alınan pembe renkteki atık su ile yapılan dispers boyama sonucunda elde edilen kumaşlara ait mukavemet test sonuçları (dikiş açması, dikiş kopması, kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti) Çizelge 4.38'de verilmiştir.

**Çizelge 4.38.** Pembe boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların mukavemet test sonuçları

İşlem Adımları	Standart ISO 13936-1 8 KGF 3 MM		Standart ISO 13935-2 12 KGF		Standart ISO 13934-2 15 KGF		Standart ISO 13937-2 700 GF	
	Dikiş açması		Dikiş kopması		Kopma mukavemeti		Yırtılma mukavemeti	
1. Ozon	>25	18,48	14,01	20,47	22,27	16,23	1203	800
2. Ozon	8,42	12,49	17,64	20,24	24,86	17,27	1488	736
3. Ozon	8,06	16,04	18,07	20,85	15,48	25,01	1283	821
4. Ozon	>25	>25	15,48	19,35	15,6	20,47	1117	802

Kumaşlara ait haslık ve pH test değerleri Çizelge 4.39'dadır.

**Çizelge 4.39.** Pembe boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların haslık ve pH test sonuçları

İşlem Adımları	Yıkama Haslığı	Su Haslığı	Sürtme Haslığı	pH
1. Ozon	5	4/5	5	7
2. Ozon	5	4/5	5	7,3
3. Ozon	4/5	4/5	5	7,1
4. Ozon	5	4/5	5	6,4

Boyama sonrasında elde edilen kumaş renklerinin  $\Delta E$  değerleri Çizelge 4.40'daki gibidir.

**Çizelge 4.40.** Pembe boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaş renklerinin  $\Delta E$  değerleri

Kumaş Renkleri	$\Delta E$ değerleri
Temiz Su	STD.
1.Ozon	0,60
2.Ozon	0,57
3.Ozon	0,83
4.Ozon	0,50

#### **4.5. Lacivert Dispers Boyarmadde İçeren Atık Su ile Yapılan Çalışmalar ve Elde Edilen Veriler**

İşletmede, İlteks firmasına ait Azo esaslı Starcron Yellow 6GSL, Starcron Red S5BLN ve Starcron Navy Blue S3LSN boyarmaddeleri ile % 3,02'lik bir boyama yapılmıştır. Yapılan dispers boyamadan alınan 30 litre boyalı atık su kullanılarak ozonlama ve ozonlanan banyo suları ile boyamalar gerçekleştirilmiştir. Atık suda bulunan kimyasallar ve boyarmaddeler Çizelge 4.41'de verilmiştir.

**Çizelge 4.41.** Lacivert atık su içerisindeki kimyasal ve boyarmadde miktarları

İçinde Bulunan Kimyasallar ve Boyarmadde Miktarı
Serafoam MEO: 0,3 g/l-- (Köpük Kesici)
Asitex S Class: 1 g/l-- (Asit Tampon)
Breviol HTF: 1,5 g/l-- (Dispergator)
Orgafen RX 11: 0,5 g/l-- (Egalizatör)
Leonil EHC: 1 g/l-- (Anyonik Islatici)
Starcron Yellow 6GSL: %0,64
Starcron Red S5BLN: %0,905
Starcron Navy Blue S3LSN: %1,48

Lacivert renkli atık su ile yapılan deneyler:

1. % 3,02'lik boyarmadde ve yardımcı kimyasallar içeren boyalı atık suyun boyarmadde oranı yüksek olduğu için kontakt tankta 60 dakika ozon uygulanmıştır. Ozon uygulanan su, jet boyama makinesine transfer edilerek kimyasal ilave edilmeksizin sadece açık renk reçeteye ait boyarmaddeler ilave edilerek dispers boyama yapılmıştır.

Lacivert atık suya ait 1'nci renksizleştirme işlemi için alınan her 5 dakikadaki su numuneleri Şekil 4.13'deki gibidir.



**Şekil 4.13.** Lacivert atık su 1'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri



Lacivert atık suyuna ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorbans değerleri Çizelge 4.42’de verilmiştir. Atık su numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.43’dedir. Okutulan değerlere göre ilk ozonlama işleminde % 3,02’lik boyarmaddeye sahip atık su % 35 oranında renksizleştirme yapılmıştır.

**Çizelge 4.42.** Lacivert 1’nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

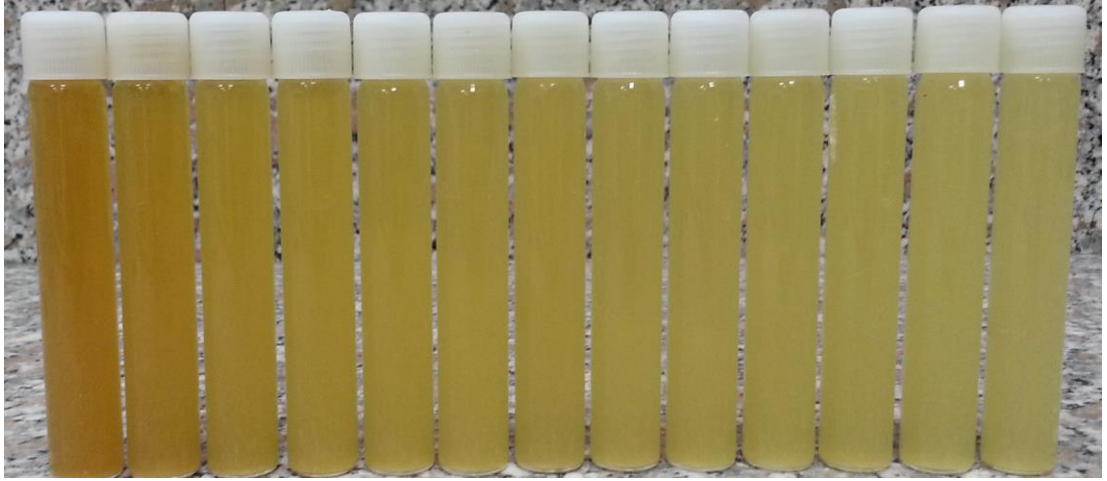
	İletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ (mg/l)	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	428	22	8,1	< 50	1,731
<b>Boyalı Su (1. Ozon Başı)</b>	1126	26,7	4,85	3655	0,823
<b>1. Ozon Sonu</b>	1366	39,2	3,57	3602	1,192

**Çizelge 4.43.** Lacivert 1’nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: BM’li Su
<b>Boyalı Su (1. Ozon Başı)</b>	100,00%	100,00%
<b>1. Ozon Sonu</b>	64,54%	64,54%

2. Bir önceki deneyde yapılan dispers boya banyosu kontakt tanka alınıp tekrar 60 dakika ozon ile 2’nci renksizleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Ozonlanmış su jet boyama makinesine transfer edilerek sadece açık renk reçeteye ait boyarmaddeler ilave edilip bir dispers boyama yapılmıştır.

2’nci renksizleştirme işlemi süresince alınan her 5 dakikada bir su numunesi Şekil 4.14’deki gibidir.



**Şekil 4.14.** Lacivert atık su 2'nci ozonlama işleminden alınan su numuneleri

2'nci ozonlanma öncesi ve sonrası sulara ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorbans değerleri Çizelge 4.44'de verilmiştir. Atık su numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.45'dedir. Sonuçlara göre bordo renkteki atık suyun 2'nci renksizleştirme işleminde % 20 oranında renk giderim verimi elde edilmiştir.

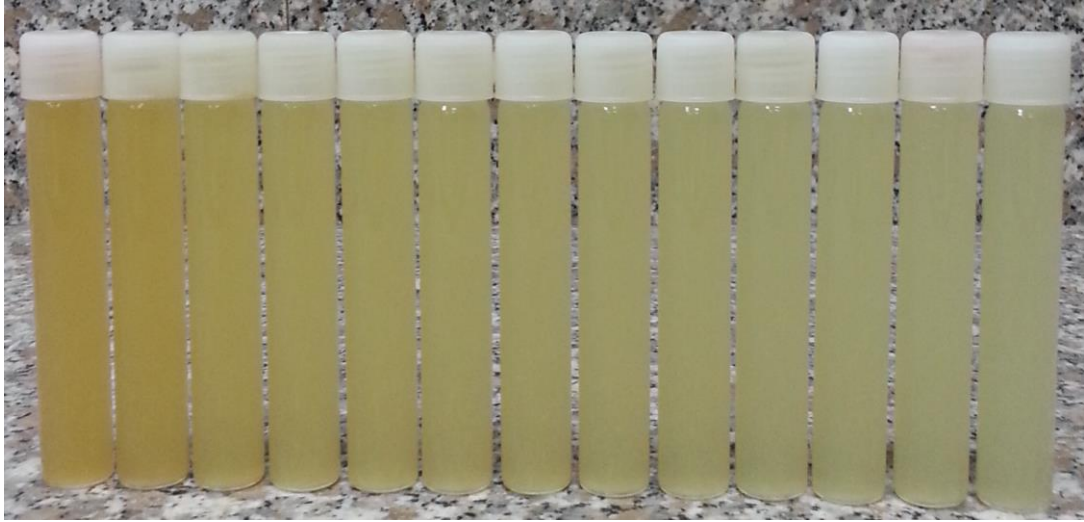
**Çizelge 4.44.** Lacivert 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

	İletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ (mg/l)	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	428	22	8,1	< 50	1,731
<b>2. Ozon Başı</b>	1426	36,5	3,91	3590	1,143
<b>2. Ozon Sonu</b>	1725	41	3,29	3272	1,044

**Çizelge 4.45.** Lacivert 2'nci renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: BM'li Su
<b>2. Ozon Başı</b>	100,00%	79,96%
<b>2. Ozon Sonu</b>	80,65%	64,49%

3. Yapılan 2'nci boyama sonrası elde edilen atık su kontakt tanka alınıp 60 dakika ozon ile 3'ncü renksizleştirme işlemine tabi tutulup açık renk reçeteye ait boyarmadde ilavesiyle dispers boyama yapılmıştır. Lacivert rengine ait 3'ncü renksizleştirme işlemi için alınan her 5 dakikadaki su numuneleri Şekil 4.15'deki gibidir.



**Şekil 4.15.** Lacivert atık su 3'ncü ozonlama işleminden alınan su numuneleri

3'ncü ozonlanma öncesi ve sonrası sulara ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorban değerleri Çizelge 4.46'da verilmiştir. Atık su numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.47'dedir. Elde edilen değerlere göre 3'ncü renksizleştirme işleminde % 7 oranında renk giderim verimi elde edilmiştir.

**Çizelge 4.46.** Lacivert 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

	İletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ ( $\text{mg}/\text{l}$ )	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	428	22	8,1	< 50	1,731
<b>3. Ozon Başı</b>	1681	26,7	3,7	2852	0,914
<b>3. Ozon Sonu</b>	2060	30,3	3,07	2472	0,796

**Çizelge 4.47.** Lacivert 3'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: BM'li Su
<b>3. Ozon Başı</b>	100,00%	70,40%
<b>3. Ozon Sonu</b>	93,36%	65,73%

4. Yapılan 3'ncü boyama sonrası elde edilen atıksu kontakt tanka alınıp 4'ncü 60 dakika ozon ile renksizleştirme işlemine tabi tutulmuş ve açık renk reçeteye ait boyarmaddeler ilave edilerek dispers boyama yapılmıştır.

Lacivert rengine ait 4'ncü renksizleştirme işlemi için alınan her 5 dakikadaki su numuneleri Şekil 4.16'daki gibidir.



**Şekil 4.16.** Lacivert atık su 4'ncü ozonlama işleminden alınan su numuneleri

4'ncü ozonlanma öncesi ve sonrası sulara ait iletkenlik, sıcaklık, pH, KOİ ve absorban değerleri Çizelge 4.48'de verilmiştir. Atık su numunelerinin spektrofotometrede okutulan ışık geçirgenliklerine göre % değerleri Çizelge 4.49'dadır. Elde edilen değerlere göre 4'ncü renksizleştirme işleminde % 10 oranında renk giderim verimi elde edilmiştir.

**Çizelge 4.48.** Lacivert 4'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun özellikleri

	İletkenlik ( $\mu\text{s/cm}$ )	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	KOİ (mg/l)	Absorbans
<b>Temiz Su</b>	428	22	8,1	< 50	1,731
<b>4. Ozon Başı</b>	1627	32	3,6	2340	0,755
<b>4. Ozon Sonu</b>	1950	35,4	3,15	2140	0,694

**Çizelge 4.49.** Lacivert 4'ncü renksizleştirme işlem öncesi ve sonrası atık suyun transmittans değerleri

	TRANSMİTTANS (%)	
	Kendi Aralarında	STD: BM'li Su
<b>4. Ozon Başı</b>	100,00%	80,61%
<b>4. Ozon Sonu</b>	89,17%	71,89%

İşletmeden alınan lacivert renkteki atık su ile yapılan dispers boyama sonucunda elde edilen kumaşlara ait mukavemet test sonuçları (dikiş açması, dikiş kopması, kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti) Çizelge 4.50'de verilmiştir.

**Çizelge 4.50.** Lacivert atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların mukavemet test sonuçları

İşlem Adımı	Standart ISO 13936-1 8 KGF 3 MM		Standart ISO 13935-2 12 KGF		Standart ISO 13934-2 15 KGF		Standart ISO 13937-2 700 GF	
	Dikiş açması	>25	Dikiş kopması		Kopma mukavemeti		Yırtılma mukavemeti	
1. Ozon	8,69	>25	17,23	21,16	25,24	17,25	1453	849
2. Ozon	>25	18,07	16,97	18,38	24,58	17,03	1149	816
3. Ozon	>25	16,7	17,29	20,55	23,5	17,64	941	831
4. Ozon	>25	19,68	15,68	20,52	25,37	17,11	1041	855

Kumaşlara ait haslık ve pH test değerleri Çizelge 4.51'dedir.

**Çizelge 4.51.** Lacivert boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaşların haslık ve pH test sonuçları

İşlem Adımı	Yıkama Haslığı	Su Haslığı	Sürtme Haslığı	pH
1. Ozon	4/5	4/5	5	7
2. Ozon	4/5	4/5	5	6,8
3. Ozon	4/5	4/5	5	6,9
4. Ozon	4/5	4/5	5	6,5

Boyama sonrasında elde edilen kumaş renklerinin  $\Delta E$  değerleri Çizelge 4.52'deki gibidir.

**Çizelge 4.52.** Lacivert boyalı atık su kullanılarak yapılan dispers boyamadan elde edilen kumaş renklerinin  $\Delta E$  değerleri

Kumaş Renkleri	$\Delta E$ değerleri
Temiz Su	STD.
1.Ozon	3,61
2.Ozon	1,19
3.Ozon	0,96
4.Ozon	0,88

#### **4.6. Ozonun Dispers Boyarmadde İçeren Atık Su Özelliklerine Etkileri**

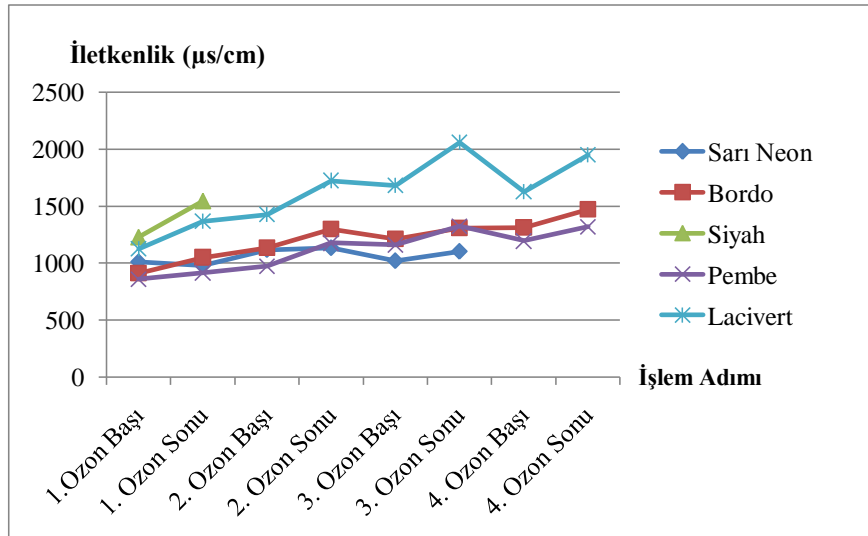
İşletmedeki dispers boyamalardan alınan atık suyun ozonlama işlemi sonucunda suyun bazı özelliklerini etkilediği gözlemlenmiştir.

#### 4.6.1. İletkenlik

İletkenlik; suyun elektrik iletme kabiliyetidir. İletkenlik için en çok kullanılan ölçü birimi mikrosiemens/cm'dir. Suların elektriksel iletkenliği, iyonların sudaki toplam derişimine ve sıcaklığa bağlıdır. Su içinde çözülmüş mineral miktarı ve sıcaklık arttıkça suyun iletkenliğinin artması gerekmektedir (Durhasan 2006).

Elde edilen veriler incelendiğinde her yapılan ozonlama sonrasında sıcaklık artışı olduğu ölçülmüştür. Ozon ile yapılan renksizleştirme işlemi, suyun sıcaklığını ortalama 10<sup>0</sup>C civarında arttırmıştır. Sıcaklık artışı nedeniyle iletkenlik değerlerinde artış beklenmektedir. Isınma, düşük çözeltili miktarı ve kuvvetli pompa sebebiyle olmuştur.

Farklı boyarmadde içeriğine sahip atıksular ile yapılan çalışmalarda ozonun iletkenlik değerleri üzerindeki etkisi Şekil 4.17'de verilmektedir. İşletmeden alınan dispers boyama atıksularının iletkenlik değerleri boyarmadde yüzdeleriyle doğru orantılı olduğu gözlenmiştir. İçerdiği boyarmadde miktarı yüksek olan atık su en yüksek iletkenlik değerine sahiptir. Renksizleştirme işlemlerinden sonra sadece boyarmadde ilave edilerek dispers boyama yapılmıştır. Yapılan boyamalar sonrasında boyarmadde ilavesi olduğu için ozon başı deney gruplarına ait iletkenlik değerlerinde artış olmuştur.



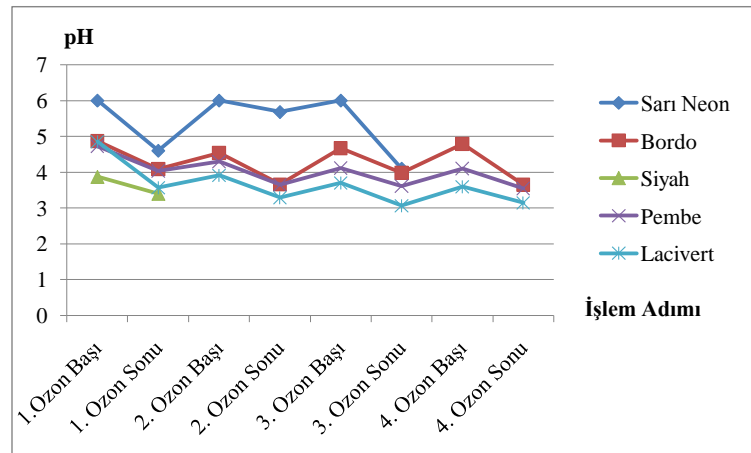
Şekil 4.17. Ozonun atık boyama sularına ait iletkenlik değerleri üzerine etkisi

Yapılan her renksizleştirme işlemi sonrasında atık suya ait iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Şekil 4.17'de de görüldüğü gibi ozon başı ve ozon sonu iletkenlik değerleri karşılaştırıldığında ozon sonu deney grubuna ait iletkenlik değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Yapılan ölçümlere göre her ozonlama işlemindeki artış yüzdesi hesaplanarak tüm atık suların iletkenlik değerlerinin ortalaması alındığında; ozon, iletkenlik değerlerinde % 20 civarında artış meydana getirmiştir. Sonuç olarak; ozon, atık suyun iletkenliğini artırıcı etki göstermektedir.

#### 4.6.2. pH

Ozonlama işleminde etkili faktörlerden biri de pH değeridir. Ozonlama ile pH arasındaki ilişkiyi ozonlama süresince pH'ta oluşan değişim olarak tanımlanabilir. Bu amaçla; çalışma kapsamında tüm deneylerde kullanılan atık sularının ozonlama öncesi ve sonrası olarak pH değerleri ölçülmüştür.

Literatür araştırmalarına göre; ozonlama sonrası banyo pH değerlerinin düşmesi beklenmektedir. Değerlerdeki düşüş sebebi, ozonlama sonucu organik ve inorganik asit anyonlarının oluşmasıdır (Eren ve ark. 2007). Dispers boyama atık suları ile yapılan deneylerde; işlem öncesi pH 6 olan banyo pH'ının 40 dakika ozon ile muamele edildikten sonra pH 4,1'e düştüğü ölçülmüştür. Ozonlama işlemlerindeki pH değerlerindeki değişim Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Ozonun dispers boyama atık sularına ait pH değerlerine etkisi



Farklı dispers boyamalardan alınan atık suların ozonlama işlemlerinden sonra su seviyeleri ve pH değerleri kontrol edilerek dispers boyama yapılmıştır. Su seviyesindeki azalma, polyester kumaşın boyama esnasında belli bir miktar suyu üzerinde taşıması ile açıklanabilir. Dispers boyamadaki flotte oranını sabit tutabilmek amacıyla temiz su ilave edilmiştir. İlave edilen su, pH değerlerini bir miktar artmıştır. Şekil 4.18’de de görüldüğü gibi ozon başı deney grubuna ait pH değerlerinde bir artış gözlenmektedir. Ancak yapılan her renksizleştirme işlemi sonrasında, ozon sonu deney grubunun pH değerleri azalmıştır. Elde edilen sonuçlara göz önünde bulundurulduğunda ozon, atıksuyun pH değeri üzerinde azaltıcı bir etki göstermektedir. Verilerin yaklaşık olarak ortalamaları alındığında, yapılan deneylerde her ozonlama işleminde % 17 pH değeri azalmıştır.

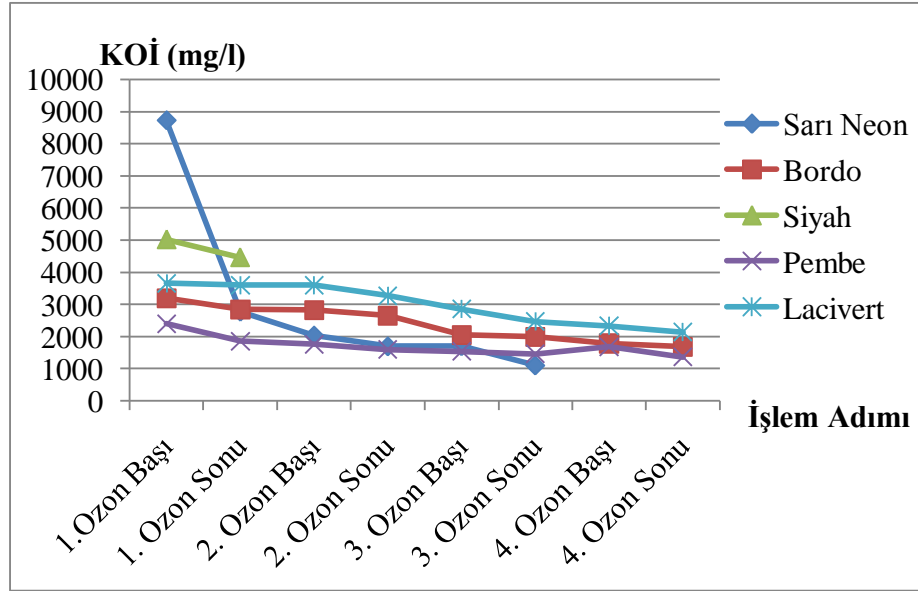
#### 4.6.3. KOİ değerleri

KOİ, su ve atık su örneklerinde kirliliğin derecesinin belirlenmesinde kullanılan en önemli test parametrelerindedir. Atık suların bünyesindeki kuvvetli kimyasal oksitleyiciler ile oksitlenebilen organik maddelerin oksitlenmeleri için gerekli oksitleyici miktarının oksijen eşdeğerini ifade eder (Aulia 2010). KOİ için kullanılan ölçü birimi mg/l’dir. Atık suların ve ozonlama sonrası geri kazanılan suların sahip olduğu KOİ değerleri Çizelge 4.53’de verilmiştir.

**Çizelge 4.53.** Atık suların KOİ değerleri

Numune	KOİ Değerleri (mg/l)
Sarı Neon Atık Su	8715
Sarı Neon Ozon Sonu	1103
Bordo Atık Su	3195
Bordo Ozon Sonu	1686
Siyah Atık Su	5020
Siyah Ozon Sonu	4465
Pembe Atık Su	2402
Pembe Ozon Sonu	1368
Lacivert Atık Su	3655
Lacivert Ozon Sonu	2140

Farklı renklerdeki dispers boyama atık suları ile yapılan deneylerde, ozonlama işlemi öncesi ve ozonlama sonrası KOİ değerleri ölçülmüş ve bu elde edilen verilerden % KOİ giderimleri hesaplanmıştır. Ozonlama işlemi sonrasında atık sulardaki KOİ değerleri Şekil 4.19’da grafik şeklinde gösterilmiştir.



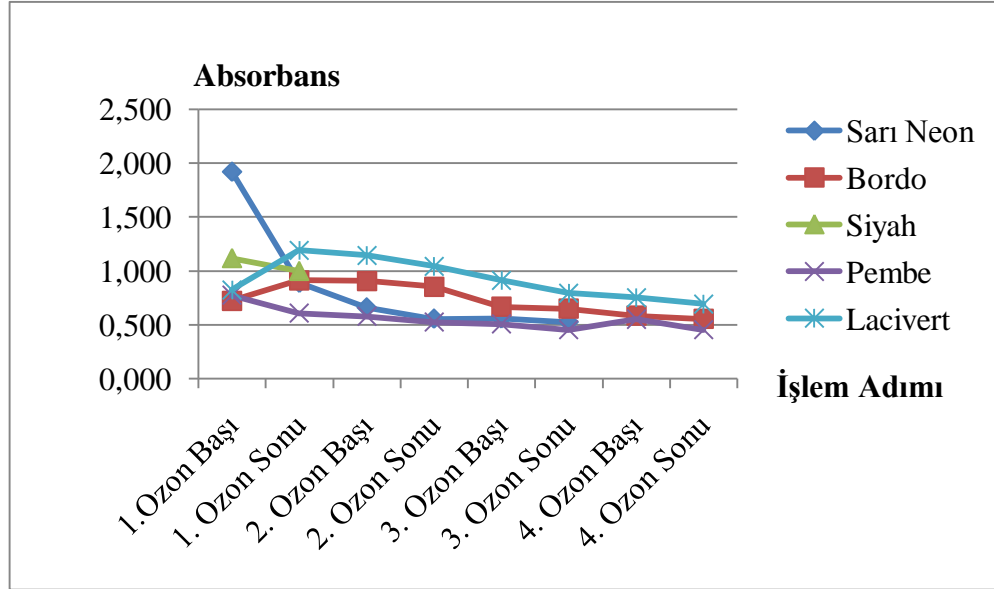
Şekil 4.19. Ozonun dispers boyama atık sularına ait KOİ değerlerine etkisi

Alınan atık sular içerisinde en yüksek KOİ değerine sahip olan % 3'lük Setapers Neon Yellow 10GFC içeren dispers boyamadır. Neon boyarmadde içerdiği için yüksek değerlere sahiptir. Alınan atık sular KOİ değerlerine göre sıralanırsa; % 5'lik Dianix Black SR içeren dispers boyama atık suyu 2'nci, % 3,02'lik Starcron Yellow 6GSL, Starcron Red S5BLN ve Starcron Navy Blue S3LSN boyarmaddelerini içeren lacivert renkteki dispers boyama atık suyu 3'ncü, % 1,7'lik Setapers Yellow CE5G, Dianix Rubine CC ve Dianix Blue CC içeren bordo renkteki dispers boyama atık suyu 4'ncü, % 1,39'lük Setapers Red BEL, Dianix Brilliant Violet R ve Dianix Blue CC içeren pembe renkteki dispers boyama atık suyu 5'nci sıradadır.

KOİ analizleri incelendiğinde dispers boyama atık su içerisindeki boyarmadde konsantrasyonu arttıkça KOİ değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Ozon, KOİ değerleri üzerinde azaltıcı etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 4.6.4. Absorbans

Deneysel çalışma kapsamında WTW marka Photolab 6100 VİS model su ve atık su analiz fotometre cihazı kullanılarak, farklı boyarmadde yüzdelere sahip dispers boyama atık sularının absorbans değerleri ölçülmüştür. Ozonlama işlemi sonrasında atık sulardaki absorbans değerleri Şekil 4.20’de grafik şeklinde gösterilmiştir. Elde edilen verilerin yaklaşık olarak ortalamaları alındığında, yapılan deneylerde her ozonlama işleminde % 10 absorbans değeri azalmıştır. Ozonun absorbans değerleri üzerinde azaltıcı etkisi bulunmaktadır.

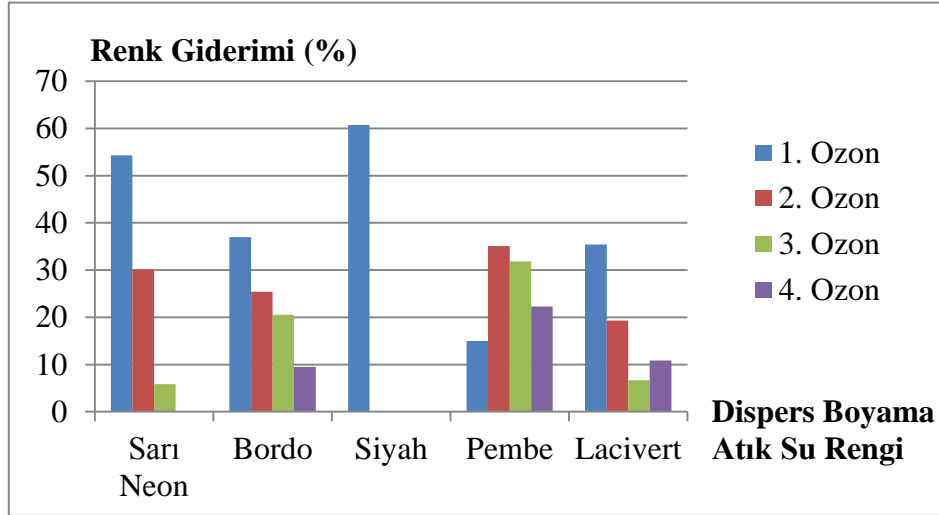


Şekil 4.20. Ozonun dispers boyama atık sularına ait absorbans değerlerine etkisi

#### 4.6.5. Renk giderimi

Tez çalışması için kullanılan dispers boyama atık suları ozonlama süresi sonunda atıksuların transmittans değerleri ölçülmüştür. Spektrofotometre yardımıyla yapılan ölçümler % cinsindedir. Değerlendirmede, her ozonlama işlemi kendi aralarında (önce ve sonra olmak üzere) transmittans değerleri % cinsinden ölçülerek karşılaştırma yapılmıştır.

Ozonlama süresi olarak belirlenen 40 dakika sonunda (siyah ve lacivert renkteki boyama atıksuları için 60 dakika) beş farklı atık su için her ozonlama sonrası ve öncesi değerlerinden hesaplanan bir ozonlama işlemindeki renk giderim yüzdesi Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.21.** Dispers boyama atık sularına ait bir ozonlama işlemindeki renk giderimi verimi

Atık sulara ait renk giderim verimi içerdikleri boyarmaddelerin molekül büyüklükleri ve boyarmadde cinslerine bağlı olarak değişmiş olabileceği gözlemlenmiştir. Şekil 4.21’den ilk ozonlama değerleri incelenirse; en fazla renk giderim verimi siyah renkli dispers boyama atık suyundadır. Bu atık su % 5 büyük molekül, azo esaslı dispers boyarmadde içermektedir. Siyah renkli atık su 60 dakika ozonlama işlemi uygulandığı için renksizleştirme verimi bir miktar daha fazla olması gerekmektedir. Ozon ile yapılan renksizleştirme işleminde % 60 renk giderim verimine sahip olmasına rağmen bu ozonlu su ile yapılan dispers boyamanın renk nüansını değiştirdiği için ozonlama işlemlerine devam edilmemiştir. 2’nci sırada, % 3 coumarine esaslı boyarmadde içeren sarı neon renkli dispers boyama atık suyu bulunmaktadır. Renk giderim veriminin diğerlerine kıyasla yüksek olması, içerdği boyarmadde grubunun etkisini ortaya koymuştur. Çünkü diğer renklere ait atık sulara olduğu gibi 40 dakika ozonlama işlemi uygulanmıştır. % 1,7 azo esaslı 3 farklı dispers boyarmadde içeren bordo renkli dispers boyama atık su 3’ncü sıradadır. Bu boyarmaddelerin iki tanesi küçük molekülü diğeri

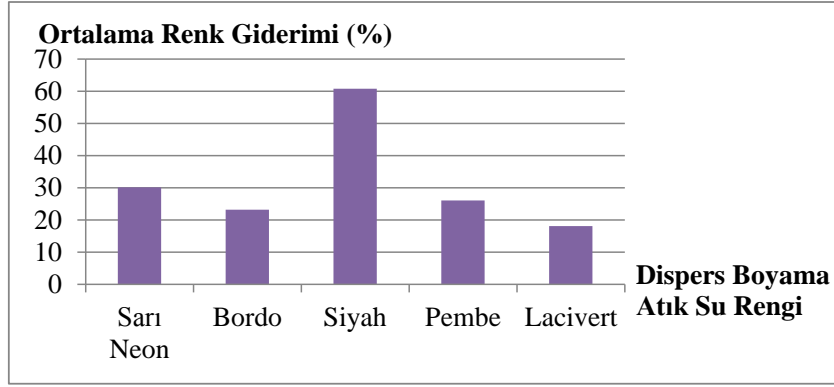
büyük moleküldür. Küçük moleküllü boyarmadde içerdiğinden diğer azo esaslı atıksulara nazaran daha iyi renksizleştirme gerçekleştirilmiştir. 4'ncü sırada, % 3,02 azo esaslı ve büyük moleküllü 3 farklı dispers boyarmadde içeren lacivert renkli dispers boyama atık suyu bulunmaktadır. Bu deneylerde de 60 dakika ozonlama işlemi uygulanmıştır. % 1,39 antrakinin ve azo esaslı dispers boyarmadde içeren pembe renkli dispers boyama atık su 5'nci sıradadır. Bu boyarmaddelerin iki tanesi büyük moleküllü diğeri küçük moleküldür. 40 dakika ozonlama işlemi sonrasında renk gideriminde % 15 oranında başarılı olunmuştur. İçerdiği antrakinin esaslı boyarmaddeye bağlı olarak ilk ozonlama değeri düşük çıkmıştır.

Renksizleştirme işlemi sonrasında her atık suyla dispers boyamalar yapılmıştır. Açık renk seçilen reçeteye bağlı olarak ozonlanmış sulara ilave edilen boyarmadde oranı sabit tutularak diğer ozonlama adımlarındaki renk giderim verimi izlenmiştir. Yapılan deneylerde görülen çözelti renginin bir önceki ozonlamaya göre azalmıştır. Her ozonlama aşamasında bu renk değişimi azalarak devam etmiştir. Bu azalma, banyo içerisindeki boyarmaddenin her aşamada parçalandığının bir göstergesidir (Çizelge 4.53). Sarı neon, bordo ve lacivert renge ait atık sularda renk giderim verimi azalarak devam etmiştir. Sadece pembe renkli atık suda 2'nci ozonlamada verim %'si artmıştır. Artışa bağlı olarak, 40 dakika yapılan ozonlamanın yetersiz kaldığı söylenebilir.

**Çizelge 4.53.** Ozonlama adımlarındaki renk giderim yüzdesi

İşlem Adımı	Atıksu Renk Giderim Yüzdesi				
	Sarı Neon	Bordo	Siyah	Pembe	Lacivert
<b>1. Ozon</b>	54,33%	37,01%	60,71%	15,00%	35,46%
<b>2. Ozon</b>	30,12%	25,44%		35,07%	19,35%
<b>3. Ozon</b>	5,88%	20,54%		31,82%	66,40%
<b>4. Ozon</b>		9,48%		22,31%	10,83%
<b>Ortalama</b>	30,11%	23,12%	60,71%	26,05%	18,07%

Yapılan tüm ozonlama işlemlerinin ortalaması alındığında atık sulara göre renk giderim yüzde grafiği Şekil 4.22'deki gibidir.



**Şekil 4.22.** Dispers boyama atık sularına ait ozonlama işlemlerindeki ortalama renk giderim yüzdeleri

Değerlendirmede; her ozonlama işleminin öncesi ve sonrası değerleri temel alınarak bir ozonlama işlemindeki renk giderimi hesaplanmıştır.

#### 4.6.6. Kumaş renklerinin ve test sonuçlarının değerlendirilmesi

İşletmeden alınan farklı renklerdeki atık sularla yapılan dispers boyamalar sonucunda elde edilen kumaşlara ait spektrofotmetre değerleri, mukavemet test sonuçları (dikiş açması, dikiş kopması, kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti) ve haslık testleri (su, yıkama, kuru sürtme) üzerine ozonun etkisi incelenmiştir.

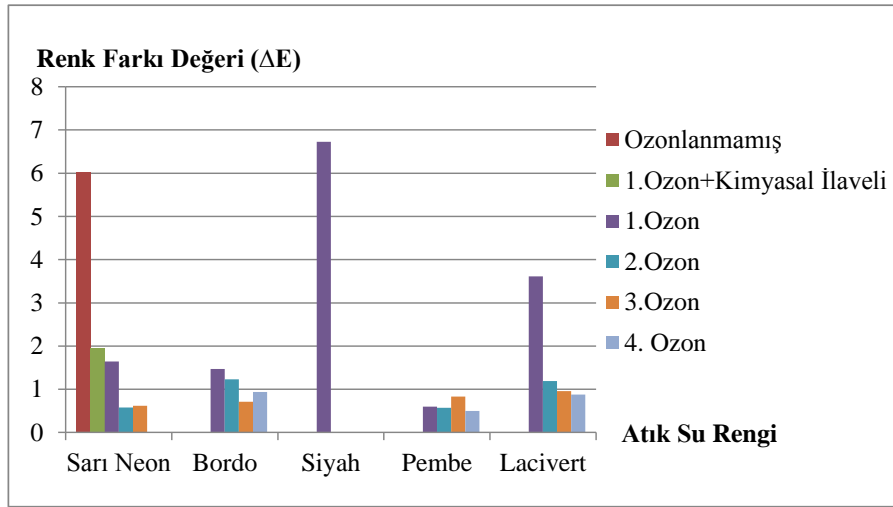
Ozonlama işleminin kumaşın mukavemet değerlerine etkisi incelenmiştir. Ozon gazı kısa ömürlü olduğu için ozonlanmış atık sular içerisinde renksizleştirme görevini tamamladıktan sonra oksijene dönüşür. Bu nedenle kumaş üzerinde etkili olması beklenmemektedir. Yapılan fiziksel ve kimyasal test sonuçları incelendiğinde de standartların istediği değerler altında veriler elde edilmediği gözlenmiştir. Ozon, kumaşların mukavemet değerleri üzerinde etkisini olmadığı görülmüştür.

Haslık performansları, değerlendirme açısından önemli bir kriterdir. Çalışmalar sonucunda elde edilen kumaşlara, açık renk reçete ile dispers boyama yapıldığı için redüktif yıkama yapılmamıştır. Ozonlama işlemi ile renksizleştirilmeye çalışılan su ile

boyama yapılmıştır. Yapılan boyamanın performansını belirlemek amacıyla yıkamaya, suya ve sürtünmeye karşı haslıklar olmak üzere bir dizi test uygulanmıştır.

Kumaş üzerindeki ölü boyarmaddeler haslık değerlerini olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmalarda, aynı reçeteye sahip dispers boyamalar yapılarak sadece ozonlanmış sudaki renksizleştirilemeyen kısmın etkisini, haslık değerlerini etkileyip etkilemediği değerlendirilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde 4/5 değerinden aşağıda bir değer elde edilmemiştir.

Kumaş rengini değerlendirebilmek amacıyla, boyahaneciler tarafından en çok kullanılan kalite parametresi toplam renk farkı değeridir. Bu deneysel çalışmada toplam renk farkı değeri için 1 tolerans değer olarak kabul edilip değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen kumaşların  $\Delta E$  değerleri Şekil 4.24'de gösterilmiştir.  $\Delta E$  değerleri Şekil 4.24'den incelendiğinde, bazı kumaş renk sonuçlarının sınır olarak kabul edilen 1 değerinden daha büyük çıkmıştır.



**Şekil 4.24.** Boyama banyosu olarak renksizleştirilmiş atık suların kullanıldığı dispers boyamalardan elde edilen kumaşların  $\Delta E$  değerleri

Çalışmalarda dispers boyama sonrasında elde edilen kumaşların renk ölçümleri için DATACOLOR SF 600 marka spektrofotometre kullanılmıştır. Cihaz bilgisayara bağlı olup, renk değerlerinin ve onlardan renk farkı değerlerinin hesaplanması yazılım ile

gerçekleşmektedir. Renk ölçüm sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir. Kumaş renginin istenilen renk tonunu tutup tutmadığının gözlenmiştir. Standart olarak temiz su ile yapılan boyama sonundaki kumaşın rengi kabul edilmiştir.

Sarı neon rengindeki atık su ile ozonlama işlemi yapılmaksızın yapılan dispers boyama deneyinden kumaş rengi ( $\Delta E$ : 6,03) standart renge göre oldukça farklı çıkmıştır. Bir defa ozonlama işlemi yapıp yardımcı kimyasallar ilave edilerek yapılan boyama sonrasındaki kumaş renginin  $\Delta E$  değeri 1,95 çıkmıştır. Sadece ozonlama yapıp kimyasal ilave edilmeden yapılan boyamada ise  $\Delta E$  değer 1,64'tür. Bu değerleri karşılaştırılınca yardımcı kimyasal ilave etmenin kumaş rengini geriye götürdüğü gözlemlenmiştir. Deneylerden çıkan sonuçlara bakılarak; ozonlama işleminin, atık su içerisinde bulunan yardımcı kimyasallar üzerinde çok etkili olmadığı söylenebilir. Bu nedenle diğer deneylerde kimyasal ilave edilmemiştir. 2'nci ve 3'ncü ozonlama sonrasında yapılan dispers boyama sonucunda elde edilen kumaş renkleri istenildiği gibi 1 değerinin altında çıkmıştır.

Bordo ve lacivert renklerdeki atık su ile yapılan deneylerden 1'nci ve 2'nci ozonlama sonrasında boyama banyosu olarak kullanılan deneylerden istenilen  $\Delta E$  değeri yakalanamamış olsa da 3'ncü ve 4'ncü ozonlama sonrası boyamalardan istenilen değerler elde edilmiştir. Siyah renkli atık suyun boyarmadde oranı fazla olduğu için 60 dakika ozonlama yapılmasına rağmen, ozonlu suyun kullanıldığı dispers boyamadan çıkan kumaşın  $\Delta E$  değeri 6,73'tür. Siyah renkli atık suyun ozonlama sonrasında renk giderim verimi yüksektir; ancak tam anlamıyla renk giderilememiştir. Bu nedenle boyama esnasında kumaşa siyah renk nüansı geçmiştir. İstenilen standart renge ulaşamamıştır.

Pembe renkli atık su ile yapılan bütün dispers boyama deneylerinden istenilen kumaş rengi tutturulmuştur.

Yapılan deneylerde, ozonlama işlemiyle renksizleştirilen dispers boyama atık sularının boya banyosu olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, işletmeden alınan farklı boyarmaddelere ve yüzde oranlarına sahip atık sular kullanılarak; önce ozonlama işlemi



daha sonra aynı reçeteye sahip dispers boyama işlemleri art arda gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların yaklaşık % 56'sında  $\Delta E$  değeri 1'in altındadır.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, tekstil atık sularının renk giderme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Atık su arıtma yöntemlerinin arasından, ileri oksidasyon yöntemlerinden olan ozonlama metodu, toksik endüstriyel atık suların renksizleştirilerek arıtılmasında bir alternatif teknolojidir. Ozon KOİ'si yüksek atık sulardaki organik maddeleri oksitleyerek KOİ değerini düşürmesi düşük organik maddelerin oksidasyonu sonucu oluşan daha küçük bileşiklerin biyolojik olarak mikroorganizmalar tarafından kullanılması nedeni ile önemli bir oksidasyon maddesidir.

Atık su arıtımında ozon kullanımı ile hedeflenen avantajlar aşağıdaki gibidir;

- dispers atık suyunun geri kazanılarak proseslerde tekrar kullanılmasını sağlayarak su tasarrufu,
- ozonlanarak renksizleştirilen banyolar kullanarak boyanan kumaşlarda renk farkı oluşmaması,
- geri kazanılmış suyla boyanan kumaşların haslık değerlerinin işletme suyu ile boyananlarla denk olması,
- atık yükün azaltılması,
- ozon kendiliğinden oksijene dekompoze olduğu için çevre dostu bir üretimin sağlanması,
- pH ayarlaması gerektirmemesi ve yardımcı kimyasal ilavesiz yapılan boyama deneyleri sonucunda kimyasal madde tasarrufu sağlamaktır.

Tüm bu avantajları dikkate alındığında ozon, tekstil atık sularının renksizleştirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Son yıllarda bu konuda yapılan yayın ve projelerdeki artış da bunu desteklemektedir.

Bu çalışmada, ozonlanarak geri kazanılan beş farklı boyarmadde yüzdesine ve boyarmaddeye sahip dispers boyama atık suları ile açık renkte yapılan boyamalarda renk farkı olmaksızın ( $\Delta E < 1$ ) ve abrajısız olarak referanslara ulaşılmıştır. Bu numunelere

ait haslık değerleri de referans (temiz suyu ile boyanan numune) ile test sınır değerleri içerisinde çıkmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilere göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Ozonlamalar sonucunda kumaşın rengi için yapılan spektrofotometrede lilen renk farkı değerleri  $\Delta E < 1$  ıkmıştır.
2. Ozonlama ncesi pH 5 civarında iken ozonlama sonrası pH değerleri hep düşmüştür. Her ozonlama işleminde ortalama % 17 pH değeri azalmıştır. Avantaj, asit ilave edilmeksizin boyamaya girilmiştir. Böylece pH ayarlamasına gerek kalmayarak kimyasal madde tasarrufu yapılmıştır.
3. Ozonlanmış dispers boya banyosu atık suyuna boyarmadde ve yardımcı kimyasal ilave ederek yapılan boyamadan elde edilen kumaşın  $\Delta E$  değeri ile yardımcı kimyasal ilavesiz boyamanın  $\Delta E$  değeri yakın çıkmıştır. Ozonlanmış dispers boya banyosu atık suyuna sadece boyarmadde ilavesi yapılan boyamalardan elde edilen kumaşların büyük bir çoğunluğu  $\Delta E$  değerleri 1'in altında çıkmıştır. Bu deneyden; ozonun, atık sudaki rengi giderdiği sürelerde yardımcı kimyasalların etkinliklerini korudukları sonucuna varılabilir. Boyarmadde yardımcı kimyasallardan daha hızlı okside olmaktadır. Böylece yardımcı kimyasallar ilave edilmeyerek yardımcı kimyasal madde tasarrufu sağlanmıştır.
4. İşletmeden alınan giriş dispers atık suyu örneklerinin işlem yapılmadan önce KOİ değerleri 5000 mg/l civarında ölçülmüştür. Bu atık suyun ozon ile muamelesi sonunda KOİ lmleri tekrarlanarak 1500 mg/l değerlerinde olduğu ölçülmüştür. Bu ölçümlerden atık sudan ozon kullanılarak, her ozonlama işleminin KOİ giderimi % 70 olarak bulunmuştur.
5. Absorbans değerleri, her ozonlama sonrasında yaklaşık % 10 düşmüştür.
6. Ozon, iletkenlik değerlerinde % 20 civarında artış meydana getirmiştir.
7. Ozonlanarak geri kazanılan dispers atık suları kullanılarak yapılan boyamalardan elde edilen kumaşların mukavemet, haslık ve pH test değerlerinde problem olmamıştır. Ozonlanan suyun kumaş üzerinde etkisi olmadığı belirlenmiştir.

8. Boya banyosu geri kazanılıp tekrar kullanıldığı için atık yükünde de azalma söz konusu olmuştur.
9. Renk giderme işlemi sonucundan elde edilen geri kazanılmış suyun işletmede tekrar kullanılması ile su tüketim maliyeti azalacaktır. Böylece su tasarrufuna katkı sağlanabilir.
10. Ozonlama süresi, atık suyun içerdiği boyarmadde yüzdesine göre farklılık göstermiştir.
11. Ozonun renk giderme verimini, atık su içerisindeki dispers boyarmaddenin sahip olduğu kimyasal yapısı belirlemektedir.

## KAYNAKLAR

- Akgün M., Söğüt, O.Ö. 2008.** Süperkritik su ortamında tekstil atıksularının arıtılması. TÜBİTAK- 104M214 Nolu Proje. Ankara.
- Alan, G., Tercan, M. 2012.** Sıvı filtrasyonda kullanılan tekstiller. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(6): 47-53.
- Alaton, I.A., Kornmüller, A., Jekel, M.R. 2002.** Ozonation of spent reactive dye-baths: effects of  $\text{HCO}_3^{-2}/\text{CO}_3^{-2}$  alkalinity, *Journal Of Environmental Engineering*, 128(8), 689-696.
- Angel, B. 2012.** Cotton and manmade fibres: competition and complementarity, pricing and sustainability. Hong Kong, <http://www.ica-hk.org/download/Bruna%20Angel.pdf> (Erişim Tarihi: 05.11.2013).
- Aniş, P., Eren, H.A. 1998.** Boyahane atıksularından rengin uzaklaştırılmasında uygun teknolojilerin gözden geçirilmesi. *Tekstil Terbiye & Teknik*, 3(31): 74-79.
- Aniş, P., Eren, H.A. 2003.** Polyesterin alkali ortamda boyanması: mevcut teknolojinin gözden geçirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8 (1): 139-146.
- Aniş, P., Yıldırım, F. 2003.** Polyester boyama sonrası indirgen yıkamanın kumaş kalitesi ve çevre yükü üzerine etkileri. *Tekstil ve Maraton*, 13 (64): 43-49.
- Anonim, 2000.** Membrane filtration for water and wastewater. <http://www.wwdmag.com/desalination/membrane-filtration-water-and-wastewater-> (Erişim Tarihi: 02.01.2014).
- Anonim, 2002.** Disperse dye application. Dystar Academy Marketing & Sales, 2002, Germany.
- Anonim, 2004.** Membrane filtration. [http://water.me.vccs.edu/exam\\_prep/mfiltration.html](http://water.me.vccs.edu/exam_prep/mfiltration.html)- (Erişim Tarihi: 04.01.2014).
- Anonim, 2005.** Ozon üretimi ve uygulaması. <http://www.opalsu.com.tr/ozon.php?ozon=ozonuretimi&menu=ozonmenu-> (Erişim Tarihi: 03.02.2014).
- Anonim, 2006.** Ozonun özellikleri. <http://www.mikronozon.com/ozon.html>-(Erişim Tarihi: 25.01.2014).
- Anonim, 2007a.** Membran filtration. <http://www.napier-reid.com/Include/pdf/Membrane.pdf>- (Erişim Tarihi: 03.01.2014).
- Anonim, 2007b.** Ozone molecule formula. [http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:Ozone\\_Molecule\\_Formula\\_png-](http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:Ozone_Molecule_Formula_png-) (Erişim Tarihi: 30.01.2014).
- Anonim, 2009.** Ozonun etkileri. <http://www.airozon.com/ozon-o3/ozonun-etkileri.htm>- (Erişim Tarihi: 02.02.2014).
- Anonim, 2010.** Eysel atıksuların oluşumu ve yönetimi. [http://katalog.ibb.gov.tr/kutuphane2/YordamVt/projem\\_istanbul/pi\\_00088.pdf](http://katalog.ibb.gov.tr/kutuphane2/YordamVt/projem_istanbul/pi_00088.pdf)- (Erişim Tarihi: 23.01.2014).
- Anonim, 2011a.** Adsorpsiyon türleri. [http://biyokure.org/adsorpsiyon-turleri/6490/-](http://biyokure.org/adsorpsiyon-turleri/6490/) (Erişim Tarihi: 02.01.2014).
- Anonim, 2011b.** Aerobic vs. anaerobic treatment in wastewater systems: Part 1. [http://www.ebsbiowizard.com/2011/08/aerobic-vs-anaerobic-treatment-in-wastewater-systems-part-1-2/-](http://www.ebsbiowizard.com/2011/08/aerobic-vs-anaerobic-treatment-in-wastewater-systems-part-1-2/) (Erişim Tarihi: 30.12.2013).
- Anonim, 2011c.** Atık su arıtma sistemleri. <http://www.bilcev.com.tr/atik-su-aritma-tesisleri.aspx>- (Erişim Tarihi: 24.12.2013).

- Anonim, 2011d.** Odour control and treatment with UV ozone generators. <http://www.jenact.co.uk/odour%20control.html>- (Erişim Tarihi: 28.01.2014).
- Anonim, 2011e.** Sentetikleri boyama 1. Ankara, [http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Sentetikleri%20Boyama%201.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sentetikleri%20Boyama%201.pdf)- (Erişim Tarihi: 19.10.2013).
- Anonim, 2012a.** Polyester mamüllerinin jetlerde boyanması (HT). <http://www.temyad.com/app/kullanici-dosyalari/POLYESTER%20MAM%20C3%9CLLER%20C4%B0N%20JETLERDE%20BOYANMASI.pdf>- (Erişim Tarihi: 14.10.2013).
- Anonim, 2012b.** Ergene Nehri'ne dökülen atık suların renk parametreleri toplantısı gerçekleştirildi. <http://www.haberler.com/ergene-nehri-ne-dokulen-atik-sularin-renk-3298685-haberi/>- (Erişim Tarihi: 19.12.2013).
- Anonim, 2013a.** Marka oluşturmada tekstil boyarmadde ve yardımcı kimyasalların rolü. [http://www.ekoteks.com/tr/images/sempozyum3/pdf/SETAS\\_KIMYA.pdf](http://www.ekoteks.com/tr/images/sempozyum3/pdf/SETAS_KIMYA.pdf)- (Erişim Tarihi: 12.12.2013).
- Anonim, 2013b.** Su ve atık su arıtımında membran teknolojileri. <http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/web/userAnnouncementsFiles/dosyaaf9b91652478418681dc155d2f251265.pdf>- (Erişim Tarihi: 03.01.2014).
- Anonim, 2014a.** Color analysis. <http://www.asaanalytics.com/color-analysis.php>- (Erişim Tarihi: 13.02.2014).
- Anonim, 2014b.** Membran filtration. [http://www.industry.siemens.com/industrysolutions/de/en/water-treatment/products\\_chemfeed\\_filtration/membrane\\_filtration\\_separation/pages/default.aspx](http://www.industry.siemens.com/industrysolutions/de/en/water-treatment/products_chemfeed_filtration/membrane_filtration_separation/pages/default.aspx)- (Erişim Tarihi: 04.01.2014).
- Anonim, 2014c.** Ozone. <http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone-> (Erişim Tarihi: 25.01.2014).
- Anonim, 2014d.** Ozone generation. <http://www.lenntech.com/library/ozone/generation/ozone-generation.htm>- (Erişim Tarihi: 30.01.2014).
- Anonim, 2014e.** Pt/Co scale. [http://en.wikipedia.org/wiki/Pt/Co\\_scale-](http://en.wikipedia.org/wiki/Pt/Co_scale-) (Erişim Tarihi: 13.02.2014).
- Arslan, I., Balcioğlu, A.I., Bahnemann, D.W. 2001.** Photochemical treatment of simulated dyehouseeffluents by novel TiO<sub>2</sub> catalyst. *Water Science and Technology*, 44: 171-178.
- Arslan, T., Kabdaşlı, I., Arslan-Alaton, İ., Ölmez, T., Tünay, O. 2008.** Kompleks olarak bağlı metal içeren atıksularınelektrokoagülasyon prosesi ile arıtımı. *itüdergisi/esu kirlenmesi kontrolü*, 18 (1): 42-52.
- Atav, R., Delituna, A. 2010.** Poliester liflerinin dispers boyarmaddelerle boyanması sırasında kullanılan yardımcı maddeler. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4 (1): 73-83.
- Aulia, F. 2010.** Çöktürme yönteminin kullanıldığı boya atıksu arıtma sisteminin kendinden ayarlamalı PID kontrol ile pH kontrolü. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Avcu, F. 2010.** Atıksulardaki fenolün elektrooksidasyon ile arıtılması için elektroaktif elektrot geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

- Balci, O. 2007.** Alkali ve asidik şartlarda redüktif yıkamanın haslık performansına etkilerinin karşılaştırılması. II. Tekstil Teknolojileri ve Tekstil Makineleri Kongresi, 19-20 Ekim 2007, Gaziantep.
- Balci, O. 2011.** Polyester esaslı örme kumaşların redüktif yıkanması için yeni yaklaşımlar. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 1: 42-49.
- Başbuğ, M. 2008.** Bentonit ve ponza ile sulu çözeltiden ve tekstil atık suyundan boya adsorpsiyonunun incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Becerir, B. 2000.** Poliester mikrolif materyallerin boyanmasında yöntem belirlenmesi eğilimlerinin incelenmesi. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Becerir, B. 2005.** A novel approach for estimating the relation between K/S value and dye uptake in reactive dyeing of cotton fabrics. *Fibers and Polymers*, 6 (3): 224-228.
- Becerir, B. 2010.** Renk uzayı kavramı ve renk farkı anlamı. Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Ders Notları, Bursa.
- Bidga, R.J. 1995.** Consider Fenton's chemistry for wastewater treatment. *Chemical Engineering Progress*, 91 (12): 62-66.
- Birgöl, A. 2006.** Tekstil endüstrisi atıksu arıtımında ileri oksidasyon proseslerinin kullanımı. *Yüksek lisans tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Burkinshaw, S.M. 1995.** Chemical principles of synthetic fibre dyeing. University of Leeds, Leeds, United Kingdom, 223 pp.
- Can, O.T., Kobyas, M., Demirbas, E., Bayramoglu, M. 2006.** Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation, chemosphere, 62: 181-187.
- Cegarra, J., Puente, P., Vallederas, J. 1992.** The dyeing of textile materials, The techniques of applications. Nuova Oflito, Italy, 703 pp.
- Çetin, M. 2008.** Ozon tabakası. <http://www.yildiz.edu.tr/~oscg/AlanegitimindeBitirmeProjeleri/OzonTabakasi.pdf> (Erişim Tarihi: 01.02.2014).
- Chen, Y., Lin, H., Liu, C., Cheng, C., Lee, M. 2001.** Solubilities of disperse dyes of blue 79, red 153 and yellow 119 in supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 21(1): 1-9.
- Cırık, K., Yiğit, N.Ö., Gören, S., Yetiş, Ü. 2013.** Boyarmadde içeren atıksu arıtma tesislerinin işletilmesine yönelik el kitabı. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 109G083 No'lu Tubitak KAMAK Projesi, Ankara, 276 s.
- Correia, V.M., Stephenson, T. and Judd, S.J. 1994.** Characterisation of Textile Wastewaters-A Review. *Environmental Technology*, 15: 917-929.
- Curi, K. 2005.** Biyolojik arıtma. <http://www.erimsever.com/MakMuh/MMO/AritmaKongre/10093.pdf> (Erişim Tarihi: 20.12.2013).
- Dawson, T. L., Todd, J. C. 1979.** Dye Diffusion-The Key to Efficient Coloration. *J. Soc. Dyers Colour*, 95 (12): 417-426.
- Durhasan, D. 2006.** Baraj göllerinden su temininde derinliğin su kalitesine etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana.
- Erdem, B. 2004.** Na-Bentonit ve Organo-Bentonit üzerine boya adsorpsiyonunun incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Eskişehir.

- Eren, H.A. 2006.**Afterclearing by ozonation: a novel approach for disperse dyeing of polyester. *Color. Technol.*, 122: 329–333.
- Eren, H.A., Anış, P. 2006.** Tekstil boyama atıksularının ozonlama ile renk giderimi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11 (1): 53- 60.
- Eren, H.A., Kurcan, P., Anış, P. 2007.** Boyamada kullanılan yardımcı kimyasal maddelerin reaktif boyam atıksularının ozonlamasına etkileri. *Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 12 (2): 83- 91.
- Eren, H.A. 2007.**Simultaneous afterclearing and decolorisation by ozonation after dispersedyeing of polyester. *Coloration Technology*, 123: 224-229.
- Erkut, E. 2008.** Aktif karbon adsorpsiyonu ile boyarmadde giderimi. *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Fil, B.A., Boncukçuoğlu, R. Yılmaz, A.E., Bayar, S. 2012.**Antep fıstığı işleme atıksularının elektrooksidasyon yöntemiyle ön arıtım çalışmaları. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(2): 29-36.
- Gönül, N. 2000.** Yüze kimyası ve kolloidler. Ankara Üniversitesi, Ankara, 98 s.
- Grau, P. 1991.** Textile industry wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 24: 97-103.
- Gürtekin, E., Şekerdağ, N. 2008.** Color removal from textile wastewater with fenton process. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 26 (3): 216-226.
- Vegt, H., Iliev, I. 2012.** Patent landscape report on membrane filtration and UV water treatment. World Intellectual Property Organization (WIPO), Geneva.
- Işık, M., Sponza, D.T. 2004.**Simüle tekstil atıksuyunun anaerobik/aerobik arıtımı, *Ekoloji Dergisi*, 14 (53): 1-8.
- İlhan, F., Kurt, U., Apaydın, Ö., Arslankaya, E., Gönüllü, T.M. 2007.** Elektrokimyasal arıtım ve uygulamaları: katı atık sızıntı suyu çalışması. AB Sürecinde Türkiye’ de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu, 28-31 Mayıs 2007, İstanbul Lütfi Kırdar Uluslararası Kongre ve Sergi Sarayı, İstanbul.
- İnce, N.H., Tezcanlı, G. 1999.** Treatability of textile dye-bath effluents by advanced oxidation: preparation for reuse. *Water. Sci. Tech.*, 40 (1): 183.
- Kang, S.F., Chang, H.M. 1997.** Coagulation of textile secondary effluents with Fenton’s reagent, *Water Science and Technology*, 36(12): 215-222.
- Karaoğlu, H.M. 2007.** Sulu çözeltilerden bazı boyarmaddelerin fizikokimyasal yöntemlerle giderimi. *Doktora Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Kayıkoğlu, G., Çoban, A., Debik, E., Kayacan, B.B., Koyuncu, İ. 2012.** Aerobik ve anaerobik ön arıtmalı membran sistemler ile tekstil atıksuyularının geri kazanımı. *İtü Dergisi/e su kirlenmesi kontrolü*, 22 (1): 23-35.
- Kılıçer, P. 2006.** Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesi atıksuyunun aktif karbon, zeolit ve ozon kullanılarak arıtımın incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Malatya.
- Kiron, M.I. 2012.** Dyeing of polyester fabric with disperse dyes. <http://textilelearner.blogspot.com/2012/01/dyeing-of-polyester-fabric-with.html> (Erişim Tarihi: 10.10.2013).
- Kocaer, F. O., Alkan, U. 2002.** Boyarmadde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7 (1): 47-55.



- Koh, J. 2011.** Dyeing with disperse dye: Textile dyeing, Editör: Hauser, P., Konkuk University, South Korea, pp:195-220.
- Korkut, Ş. 2013.** Anaerobik arıtım sistemleri. Bülent Ecevit Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Ders Notları, Zonguldak, 64 s.
- Leusink, J. 2013.** Ozone transfer via venturi injectors. <http://www.ozonesolutions.com/journal/2013/ozone-venturi-injectors-work-dissolve-ozone-water/> (Erişim Tarihi: 30.01.2013).
- Manian, A.P. 2002.** Dye-surfactant interactions in thermosol dyeing. *Doktora Tezi*, The University of Georgia, Athens.
- Mittal, A. 2011.** Biological wastewater treatment. *Water Today*, 32-44.
- Oneill, C., Lopez, A., Esteves, S., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L., and Wilcox, S. 2000.** Azo dye degradation in an anaerobic aerobic treatment system operating on simulated textile effluent. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 53, 249- 254.
- Öztürk, D., Eren, H.A. 2010.** Tekstil terbiyesinde ozon kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15 (2): 37-51.
- Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U. 2005.** Atıksu arıtımının esasları- Evsel, endüstriyel atıksu arıtımı ve arıtma çamurlarının kontrolü. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 450 s.
- Özyonar, F., Karagözoğlu, B. 2012.** Elektrokoagülasyon prosesi ile tekstil sanayi atık suyunun arıtımı. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(1): 29-37.
- Paydak, M.E. 2006.** Dispers boyama reçetelerinin işlem koşullarına olan renk hassasiyetlerinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Pekel, L.C. 2009.** Çöktürme yönteminin kullanıldığı boya atıksu arıtma sisteminin geliştirilmiş tahmin edici kontrol (GPC) ile pH kontrolü. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Perinçek, S.D. 2006.** Ozon, UV, Ultrason teknolojileri ve kombinasyonlarının ön terbiye işlemlerinde uygulanabilirliğinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Perkins, W.S. 1996.** Textile coloration and finishing. Durham, North Carolina, 240 pp.
- Perkins, W.S., Walsh, W.K., Reed, I.E., Namboodri, C.G. 1995.** A demonstration of reuse of spent dyebath water following color removal with ozone. *Textile Chemist and Colorist*, 28(1): 31-37.
- Polat, D. 2010.** Catalytic ozonation of industrial textile wastewaters in a three phase fluidized bed reactor. *Yüksek Lisans Tezi*, Middle East Technical University, Chemical Engineering, Ankara.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P. 2001.** Remediation of dyes in textile effluent: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative, *Bioresource Technology*, 77: 247-255.
- Sert, D.N. 2006.** İlaç endüstrisi atıksularında fenton prosesi ile renk giderimi ve KOİ giderimi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Sevimli, M.F., Sarıkaya, H.Z. 2002.** Ozone treatment of textile effluents and dyes: Effect of applied ozone dose, pH and dye concentration, *J.Chem.Technolog. Biotechnol*, 77, 842-850.
- Socha, K. 1991.** Treatment of textile effluents, *Textile Month*, 12: 52-56.
- Süren, E., Bozoğlu, M. 2013.** Atıksu ve arıtma. [orhankural.net/wp-content/uploads/2013/.../ATIK-SU-VE-ARITMA.ppt](http://orhankural.net/wp-content/uploads/2013/.../ATIK-SU-VE-ARITMA.ppt) (Erişim Tarihi: 20.12.2013).
- Tarakçıoğlu, I. 1994-1995.** Tekstil Boyacılığı Cilt II. Ege Üniversitesi, İzmir, 373.

- Toprak, H. 2006.** İleri arıtma yöntemleri-5. <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/terti5.html>- (Erişim Tarihi: 01.01.2014).
- Tünay, O., Kabdaslı, I., Eremektar, G., Orhon, D. 1996.** Color removal from textile wastewaters, *WaterScience and Technology*, 34(11): 9-16.
- Türkman, A. 2005.** Endüstriyel atık sularının arıtılmasında ileri arıtma teknikleri. <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10095.pdf>- (Erişim Tarihi: 28.12.2013).
- Uğur, S. S. 2004.** Polyesterin dispers boyarmaddelerle boyama yöntemlerinin karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Uğur, S. S. 2007.** Dispers boyarmaddeler ile poliester liflerinin boyanma mekanizması. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1: 33-39.
- Uyanık, A. 2013.** Aktif karbon nedir?. <http://www.kimyaevi.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFF8007620E7D5602E8572D351204A6037B>- (Erişim Tarihi: 28.12.2013).
- Uzal, N. 2007.** Recovery and reuse of indigo dyeing wastewater using membrane technology. *Doktora Tezi*, Middle East Technical University, Chemical Engineering, Ankara.
- Vandervivere P.C., Bianchi R., Verstraete W. 1998.** Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: review of emerging technologies. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 72: 289-302.
- Vigo, T.L., 1994.** Textile Processing And Properties; Preperation, Dyeing, Printing and Performance. Elsevier Science B. V., 882243, Netherlands, pp: 498.
- Wang, Z., Xue, M., Huang, K., Liu, Z. 2011.** Textile dyeing wastewater treatment: Advances in treating textile effluent, Editör: Hauser, P., InTech, China, pp: 91-116.
- Wu, J., Wang, T. 2001.** Ozonation of aqueous azo dye in a semi-batch reactor, *Wat.Res.*, 35(4): 1093-1099.
- Xianping, S. 2009.** Chinese dyestuff industry present situation and development. <http://www.chinainterdyer.com/en/newstotwo.aspx?id=97>- (Erişim Tarihi: 10.12.2013).
- Yaman, Y.C., Gündüz, G. 2010.** Tekstil boyarmaddesi reactive red 141 (RR141)' in FeZSM5 zeolit katalizörleri üzerinde ıslak peroksit oksidasyonu. 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 22-25 Haziran 2010, Ankara.
- Yıldırım, A.Ö. 2009.** Bazı reaktif boyarmaddelerin ileri oksidasyon yöntemleriyle parçalanmasının incelenmesi. *Doktora Tezi*, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı. Adana.
- Yıldırım, F.F., Avinç, O.O., Yavaş, A. 2012.** Poli (Trimetilen Tereftalat) lifleri Bölüm 2: Terbiye işlemleri. *Tekstil ve Mühendis*, 19 (88): 28-38.
- Yiğit, N.Ö., Köseoğlu, H., Harman, B.İ., Demir, G., Gören, S., Çmar, Ö., Kitiş, M. 2009.** Tekstil endüstrisi atıksularının alıcı ortamlara deşarjında renk kriteri olmalı mıdır? Geri kazanım gerçekleri. Su Tüketimi Arıtma Yeniden Kullanım Sempozyumu. 3-5 Eylül 2009, İznik, Bursa.
- Yurdakul, A. 2006.** Boya baskı esasları. Ege Üniversitesi, İzmir, 148 s.
- Yüce, M. 2007.** Arıtma yapılmamış atıksulardan izole edilen mikroorganizmalarla reaktif boyarmadde ve Krom(VI) giderimi. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Biyoteknoloji Enstitüsü, Temel Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- Yüksel, S. 2012.** **Yazılı görüşme.** Anadolu Flygt Wedeco-Pompa Paz. ve Tic. A.Ş. Gebze Organize Sanayi Bölgesi, Kocaeli, (09.03.2012), e-posta: flygt@anadoluflygt.com.tr.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Öznur İyizaman  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa- 21.08.1987  
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)  
Lise : Gazi Anadolu Lisesi (2001-2005)  
Lisans : Uludağ Üniversitesi (2005-2009)  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi (2010- )

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Biessece Bursa Tekstil Sanayi ve Tic. A.Ş.  
05/2010- 12/2010 Müşteri Temsilciliği  
Akbaş Tekstil ve Enerji A.Ş. 01/2012- 08/2013  
Ar-Ge Mühendisi

İletişim (e-posta) : oznuriyizaman@hotmail.com