BAZI TEKSTİL PROSESLERİNDE KONVANSİYONEL KİMYASALLARIN OZON İLE İKAMESİ

Seda GÜNDOĞAN

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI TEKSTİL PROSESLERİNDE KONVANSİYONEL KİMYASALLARIN OZON İLE İKAMESİ

SEDA GÜNDOĞAN

PROF. DR. HÜSEYİN AKSEL EREN

DOKTORA TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2015

Her Hakkı Saklıdır.

TEZ ONAYI

Seda Gündoğan tarafından hazırlanan "Bazı Tekstil Proseslerinde Konvansiyonel Kimyasalların Ozon İle İkamesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin Aksel Eren

Başkan :	Unvanı, Adı ve Soyadı ..Ü. …….Fakültesi, ……..Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Unvanı, Adı ve Soyadı ..Ü. …….Fakültesi, ……..Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Unvanı, Adı ve Soyadı ..Ü. …….Fakültesi, ……..Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Unvanı, Adı ve Soyadı ..Ü. …….Fakültesi, ……..Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Unvanı, Adı ve Soyadı ..Ü. …….Fakültesi, ……..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 çalışmasında;

- 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.

15/06/2015

İmza

Seda GÜNDOĞAN

ÖZET

Doktora Tezi

BAZI TEKSTİL PROSESLERİNDE KONVANSİYONEL KİMYASALLARIN OZON İLE İKAMESİ

Seda GÜNDOĞAN

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN

Çalışmada, bilinen en çevre dostu gaz olan, bu nedenle de içme suyu arıtma tesislerinde bile yaygın olarak kullanılan ozon gazının terbiye işletmesinde entegrasyonu ile özellikle viskon ve polyester terbiye işlemlerinde kullanılması sayesinde gerek çevreye zararlı atıkların salınımının azaltılması gerekse de enerji tasarrufu sağlayan yenilikçi bir teknoloji geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu amaçla, çalışma kapsamında temin edilen numune kumaş boyama makinesine (laboratuar tipi tekstil terbiye makinesi) ozon jeneratörü entegre edilerek deneysel çalışma düzeneği kurulmuştur. Bu düzenekle, kumaş formundaki malzemeler; viskonda ağartma, polyesterde ve viskonda boyama sonrası yıkama amacıyla amacıyla ozonlanmıştır. Ozonlama proses parametreleri optimize edilerek endüstriyel boyutta kullanılabilir bir teknoloji geliştirilmiştir. Yenilikçi teknoloji ile su, enerji ve zaman tasarrufu ile birlikte çevresel yükte azalmalar sağlanmıştır.

Çalışma, 00688.STZ.2010-2 Tekstil Terbiye İşletmesinde Ozon Kullanımı Entegrasyonu San-Tez projesi kapsamında desteklendiği için, tüm deneysel çalışmalar proje ortağı firma Akbaşlar Tekstil Enerji San. Ve Tic. A.Ş. Boya Baskı İşletmesinde gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ozon, terbiye, viskon, polyester, ağartma, yıkama

2015, xii, 57 sayfa.

ABSTRACT

Ph.D Thesis

SUBSTITUTION OF CONVENTIONAL CHEMICALS BY OZONE AT TEXTILE FINISHING

Seda GÜNDOĞAN

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

Supervisior: Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN

Ozone is an environmentally friendly gas which is widely used in drinking water treatment plants. In this study, ozone utilized in the finishing processes, especially for viscose and polyester fabrics. Thereby reducing environmentally harmful waste, as well as an innovative energy-saving ozone process technologies are developed.

For this purpose, a sample fabric dyeing machine (jet) of 1 kg capacity is equppied with ozone feeding systems. This prototype is tested for viscose bleaching, afterclearing of disperse dyed polyester, afterclearing of reactive dyed viscose. Process optimization is conducted on this prototype. With innovative technology; water, energy, time savings and the reduction of environmental load are provided.

This study is projected “Ozone utilization in a textile finishing plant” San-Tez Project. So all experimental works performed in the Akbaşlar Textile Dyeing Printing Factory.

Key Words: Ozone, finishing process, viscose, polyester, bleaching, washing

2015, xii + 57 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.

Doktora tezi, "Tekstil Terbiye İşletmesinde Ozon Kullanımı Entegrasyonu" San-Tez projesi kapsamında desteklendiği için, Ar-Ge Sorumlusu olarak görev yaptığım, proje ortağı firma Akbaşlar Tekstil Enerji San. ve Tic. A.Ş. Yönetim Kurulu Üyesi sayın Erhan Akbaş'a ve Akbaşlar Tekstil Enerji San. ve Tic. A.Ş. Boya Baskı İşletme Müdürü sayın Barış Kocaman'a çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince beni destekleyerek her an yanımda olan annem Kamuran Gündoğan ve babam Zinnur Gündoğan'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET ……...……...……...	i
ABSTRACT…….…….	ii
TEŞEKKÜR…….…….	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ…….…….…….	iv
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ…….	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ……...	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ…….…….	ix
1. GİRİŞ……...……..	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI……...…….....	2
2.1. Ozonun özellikleri, oluşumu ve ozonlama işlemlerinde etkili olan faktörler	2
2.1.1. Ozonun fiziksel ve kimyasal özellikleri……..	2
2.1.2.Ozonun oluşumu……...……	5
2.1.2.1. UV ışık yöntemi……..…….	6
2.1.2.2. Corona Discharge yöntemi…….…….	6
2.1.3. Ozonlama işleminde etkili olan faktörler……..…….	8
2.2. Tekstil terbiyesinde ozon kullanımı……...	9
2.2.1. Pamuğun ağartılmasında ozon kullanımı……	9
2.2.2. Jütün ağartılmasında ozon kullanımı……..	10
2.2.3. Yünün ağartılmasında ozon kullanımı……...…….	10
2.2.4. Yünün keçeleşmezlik işleminde ozon kullanımı……	10
2.2.5. İpeğin ağartılmasında ozon kullanımı…….	11
2.2.6. Denim yıkamada ozon kullanımı……	11
2.2.7. Naylon lifi terbiyesinde ozon kullanımı……..	11
2.2.8. Polyester terbiyesinde ozon kullanımı……	11
2.2.9. PLA terbiyesinde ozon kullanımı……	12
2.2.10. Tekstilde boyama atık sularının renk giderimi ve geri kazanımında ozon kullanımı……	12
2.3. Viskonun ağartma, boyama ve yıkama mekanizması……	13
2.4. Polyesterin boyama ve yıkama mekanizması…….	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM……	20
3.1. Materyal…….…….	20
3.1.1. Kumaşlar……..	20
3.1.2. Boyarmaddeler……	20
3.1.3. Kullanılan cihazlar……..	21
3.2. Yöntem……..	23
3.2.1. Prototip sistemin oluşturulması……	23
3.2.2. Ozonlama işlemi ile karşılaştırılacak konvansiyonel proseslerin belirlenmesi…….....	25
3.2.2.1. Viskonun ozonlama ile ağartılması…….	25
3.2.2.2. Dispers boyama sonu yıkama işleminin ozonlama ile yapılması…….	26
3.2.2.3. Reaktif boyama sonu yıkama işleminin ozonlama ile yapılması…….	27
3.2.3. Ölçüm ve metot……..	27
3.2.3.1. Kimyasal testler……	28
3.2.3.2. Fiziksel testler…….	32
3.2.3.3. Kumaş renk ölçümleri……..	33
3.2.3.4. Atık suyun KOİ ölçümü……..	35

Sayfa
4. BULGULAR VE TARTIŞMA…… 36
4.1. Viskonun ozonlama ile ağartılması…… 36
4.2. Dispers boyama sonu yıkama işleminin ozonlama ile yapılması…….. 40
4.2.1. Tek redüktif yıkamaya muadil ozonlama işlemi……. 40
4.2.2. Çift redüktif yıkamaya muadil ozonlama işlemi……. 43
4.3. Reaktif boyama sonu yıkama işleminin ozonlama ile yapılması……. 47
5. SONUÇ…… 49
KAYNAKLAR……. 52
ÖZGEÇMİŞ……...……... 57

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
^0C	Santigrad Derece
$[C]_f$	Lif yüzeyindeki boya konsantrasyonu
$[C]_s$	Çözelti içindeki boya konsantrasyonu
C	Difüzyon yapan maddenin konsantrasyonu
cm	Santimetre
CO_2	Karbondioksit
D	Difüzyon katsayısı
F	Birim kesit alanında transfer hızı
°F	Fahrenhayt
g	Gram
gf	Gramkuvvet
H_2	Hidrojen
H_2O	Su
H_2O_2	Hidrojen Peroksit
K	Lif ve banyo arasındaki boyanın ayrılma katsayısı
°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
nm	Nanometre
O_2	Oksijen
O_3	Ozon
OH	Hidroksil
V	Volt
X	Kesite dik doğrultuda ölçülen ortam koordinatı
µm	Mikrometre
ΔH	Entalpi
$\delta C/\delta X$	Konsantrasyon gradyenti
µs	Mikrosiemens

Kısaltmalar	**Açıklama**
a*	Kırmızı-Yeşil Ekseni Değeri
Ar-Ge	Araştırma-Geliştirme
A.Ş.	Anonim Şirket
b*	Sarı-Mavi Ekseni Değeri
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
C*	Kroma (Renk Doygunluğu)
CD	Corona discharge
dak	Dakika
EN ISO	Avrupa Normu Uluslararası Standart Organizasyonu
h	Renk Açısı (Ton açısı)
HT	High Temperature
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
L*	Açıklık-Koyuluk Ekseni Değeri
pH	Power of Hydrogen
Ppm	Parts per million
sn	Saniye
Tg	Camlaşma sıcaklığı
UV	Ultraviyole
X, Y, Z	Rengin Tristimulus Değerleri
Xn, Yn, Zn	Aydınlatıcının Tristimulus Değerleri
ΔE	Toplam renk farkı

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Ozonun formülü……..	……2
Şekil 2.2.	Ozon üretimi……	5
Şekil 2.3.	Ultraviyole yöntemiyle ozon üretimi…….....	6
Şekil 2.4.	Corona Discharge yöntemiyle ozon üretimi…….....	7
Şekil 2.5.	Ozon jeneratörü…….....	……7
Şekil 2.6.	Ventüri enjektör…….....	8
Şekil 2.7.	Dispers boyama mekanizması…….....	14
Şekil 2.8.	Nernst yasasından elde edilen adsorbsiyon izotermi……..	15
Şekil 2.9.	Polyesterin çektirme yöntemine göre boyama faz eğrisi.....	17
Şekil 2.10.	Redüktif yıkama…….....	18
Şekil 3.1.	Prototip sistem…….....	23
Şekil 3.2.	Ozon sensörü…….....	24
Şekil 3.3.	Venturi bağlantısı…….....	……..24
Şekil 3.4.	Lekelenme gri skalası…….....	29
Şekil 3.5.	CIELab renk uzayı…….....	34
Şekil 3.6.	Termoreaktör ve atıksu analiz fotometresi…….....	35
Şekil 4.1.	Ozonlama işlemi sonrasında kumaşlarda meydana gelen abraj Görüntüsü	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 2.1.	Ozonun ve diğer dezenfektanların oksitleme güçleri…….	3
Çizelge 2.2.	Ozonun fiziksel ve kimyasal özellikleri…….....	4
Çizelge 2.3.	Ozonun suda çözünürlüğü…….....	4
Çizelge 3.1.	Laboratuar tipi jet makinesinde gerçekleştirilen denemelerde Kullanılan kumaşlara ait özellikler…….....	20
Çizelge 3.2.	Deneylerde kullanılan dispers boyarmaddelerin ticari isimleri ve firmaları.....	21
Çizelge 3.3.	Deneylerde kullanılan reaktif boyarmaddelerin ticari isimleri ve firmaları…….....	21
Çizelge 3.4.	Deneyler sırasında kullanılan cihazlara ait detaylar.....	……..22
Çizelge 3.5.	Çalışma kapsamında kumaşlara uygulanan testler…….	28
Çizelge 4.1.	Berger cinsinden beyazlık değerleri…….	36
Çizelge 4.2.	Basınç parametresine göre Berger beyazlık dereceleri.....	37
Çizelge 4.3.	Sıcaklık parametresine göre Berger beyazlık dereceleri.....	……..37
Çizelge 4.4.	Ozon gazının çözünürlüğü…….....	38
Çizelge 4.5.	Zaman parametresine göre Berger beyazlık dereceleri….....	……..38
Çizelge 4.6.	Kapilarite sonuçları…….....	39
Çizelge 4.7.	Patlama mukavemeti sonuçları.....	39
Çizelge 4.8.	Pembe renkli crepe demor kalitesi için yıkama haslığı sonuçları..	40
Çizelge 4.9.	Pembe renkli crepe demor kalitesi için su haslığı sonuçları….....	……..41
Çizelge 4.10.	Pembe renkli crepe demor kalitesi için kuru sürtme sonuçları…..	41
Çizelge 4.11.	Pembe renkli crepe demor kalitesi için renk değerleri……..	……..41
Çizelge 4.12.	Pembe renkli crepe demor kalitesi için mukavemet sonuçları…..	42
Çizelge 4.13.	Mor renkli kesha kalitesi için yıkama haslığı sonuçları…….	……..42
Çizelge 4.14.	Mor renkli kesha kalitesi için su haslığı sonuçları……..	42
Çizelge 4.15.	Mor renkli kesha kalitesi için kuru sürtme sonuçları……..	……..43
Çizelge 4.16.	Mor renkli kesha kalitesi için renk değerleri…….....	43
Çizelge 4.17.	Mor renkli kesha kalitesi için mukavemet sonuçları……..	……..43
Çizelge 4.18.	Lacivert renkli martin kalitesi için yıkama haslığı sonuçları…….	44
Çizelge 4.19.	Lacivert renkli martin kalitesi için su haslığı sonuçları……..	……..44
Çizelge 4.20.	Lacivert renkli martin kalitesi için kuru sürtme sonuçları……..	45
Çizelge 4.21.	Lacivert renkli martin kalitesi için renk değerleri……..	……..45
Çizelge 4.22.	Siyah renkli amelia kalitesi için yıkama haslığı sonuçları…….	45
Çizelge 4.23.	Siyah renkli amelia kalitesi için su haslığı sonuçları…….	……..46
Çizelge 4.24.	Siyah renkli amelia kalitesi için kuru sürtme sonuçları…….	46
Çizelge 4.25.	Siyah renkli amalia kalitesi için renk değerleri……..	……..46
Çizelge 4.26.	Siyah renkli amelia kalitesi için mukavemet sonuçları……...	46
Çizelge 4.27.	Yeşil renkli laura kalitesi için yıkama haslığı sonuçları…….	……..47
Çizelge 4.28.	Yeşil renkli laura kalitesi için su haslığı sonuçları…….	47
Çizelge 4.29.	Yeşil renkli laura kalitesi için kuru sürtme sonuçları…….	……..48
Çizelge 4.30.	Kırmızı renkli laura kalitesi için yıkama haslığı sonuçları…….	48
Çizelge 4.31.	Kırmızı renkli laura kalitesi için su haslığı sonuçları…….	48
Çizelge 4.32.	Kırmızı renkli laura kalitesi için kuru sürtme sonuçları…….	……..49

1. GİRİŞ

Bütün canlıların ortak varlığı olan doğal kaynakların verimli kullanılabilmesi için günümüzde firmalar temiz üretim teknolojilerine yönelmişlerdir. Su, kimyasal ve enerji tüketiminin yüksek olduğu tekstil sektöründe de sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda çevrenin korunmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Tekstil sektöründe temiz üretim uygulamaları göz önünde bulundurularak tez çalışması kapsamında, ozonlama proses parametreleri optimize edilerek viskonda ağartma, polyesterde yıkama amaçlı endüstriyel boyutta kullanılabilir bir teknoloji geliştirilmiştir. Yenilikçi teknoloji ile su, enerji ve zaman tasarrufu ile birlikte çevresel yükte azalmalar sağlanmıştır.

Tez çalışmasının amacı tekstil terbiyesinde ağartma ve dispers boyama sonrası temizleme proseslerinde klasik kimyasallar yerine yüksek oksidasyon potansiyeline sahip bir gaz olan ozon ikamesini mümkün kılmaktır. Tez çalışması ile bugüne kadar elde edilen bilgi birikimi ve bilimsel Ar-Ge deneyiminin endüstriyel uygulamada proses inovasyonuna dönüştürülmesi hedeflenmiştir.

Tekstil terbiyesinde ozon kullanımının avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- ozon soğukta etkin olduğu için proses suyunu ısıtma gerekliliği olmamasından dolayı enerji tasarrufu

- ozon gazı her pH değerinde çalışabildiği için proses suyunun pH ayarlaması gerektirmemesinden dolayı kimyasal madde tasarrufu

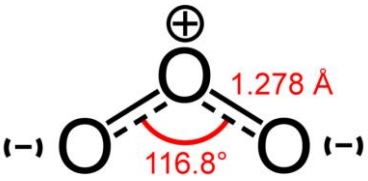
- daha az kimyasal madde kullanıldığı ve ozon kendiliğinden dekompoze olduğu için atık yükünde azalma

- boya ve baskı banyosu çıkış suları ozanlandıktan sonra tekrar kullanılabildiği için kimyasal madde ve su tasarrufu

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Ozonun özellikleri, oluşumu ve ozonlama işlemlerinde etkili olan faktörler

Ozon, üç adet oksijen atomunun birleşmesiyle oluşmuş, stabil olmayan yapıda simetrik açılara sahip bir moleküldür.



Şekil 2.1. Ozonun formülü
(http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:Ozone_Molecule_Formula_png, 2007)

$$3\ O_2 \leftrightarrow 2\ O_3 \quad \Delta H_{1atm} = 284{,}5\ kJ/mol \qquad (2.1)$$

Ozon, üç oksijen atomunun kovalent bağ ile birleşmesiyle oluşur. Ozonun oluşumu endotermik bir reaksiyondur.

2.1.1. Ozonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Ozon, 2,07 V'luk oksidasyon potansiyeline sahiptir. Bu değer tekstil terbiyesinde yaygın olarak kullanılan hidrojenperoksitin oksidasyon potansiyelinden daha yüksektir. Ozon ve diğer oksidanların oksitleme güçleri Çizelge 2.1.'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.1. Ozon ve diğer oksidanların oksitleme güçleri (http://www.mikronozon.com/ozon.html, 2006)

Oksidan	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

Ozonun kendine özgü keskin kokusu düşük konsantrasyonlarda bile algılanabilir, ozon gazının uzun süre direkt solunması durumunda insan sağlığı açısından olumsuz etkileri gözlenebilir (http://www.mikronozon.com/ozon.html, 2006).

Çizelge 2.2. Ozonun fiziksel ve kimyasal özellikleri (http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone, 2014)

Moleküler formülü	O_3
Molar ağırlığı	48 g/mol
Görünüş	Açık mavi
Yoğunluk	2.144 mg/cm^3 (0 °C)
Erime noktası	−192,2 °C;−313,9 °F; 81,0 °K
Kaynama noktası	−112 °C; −170 °F; 161°K
Sudaki çözünürlüğü	1,05 g/L (0 °C)
Kırılma indisi	1,2226 (sıvı)

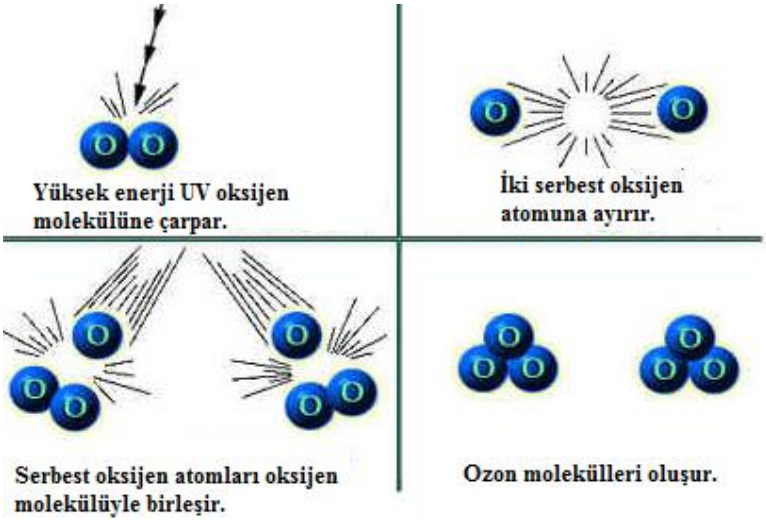
Çizelge 2.3. Ozonun suda çözünürlüğü (Yıldırım, 2009)

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

İki atomlu oksijen molekülü, yüksek enerji ile üçüncü bir oksijen atomunu alarak, üç atomlu bir ozon molekülünü oluşturur. Ozon çok hızlı reaksiyona girdiği için depolanamaz. (http://www.airozon.com/ozon-o3/ozonun-etkileri.htm, 2009).

2.1.2. Ozonun oluşumu

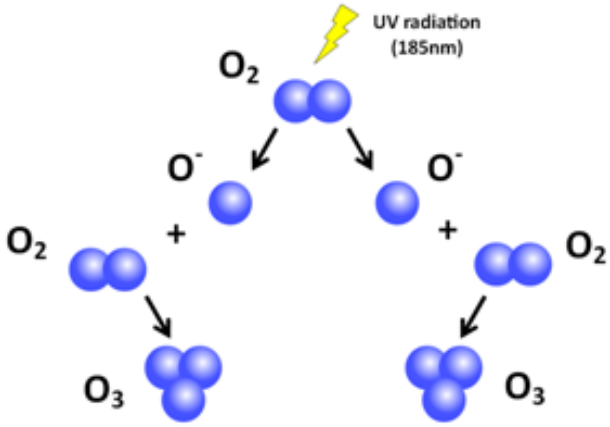
Güneşten gelen yüksek enerjili ultraviyole radyasyonunun etkisiyle atmosferdeki oksijen molekülü parçalanarak, serbest oksijen atomu haline dönüşmektedir. Daha sonra serbest haldeki oksijen atomları yine ultraviyole radyasyonunun etkisiyle oksijen molekülüyle birleşerek ozon molekülünü oluşturmaktadırlar. (Öztürk ve Eren, 2010).



Şekil 2.2. Ozon üretimi (http://www.theozonehole.com/ozonecreation.htm, 2013)

Ozon gazı endüstriyel ölçekte ultraviyole ışık ve corona discharge olmak üzere iki temel yöntemle üretilir.

2.1.2.1. UV ışık yöntemi



Şekil 2.3. Ultraviyole yöntemiyle ozon üretimi (http://www.jenact.co.uk/odour%20control.html, 2011)

Ultraviyole yöntemi, oksijen atomunu 220 nm'den daha kısa dalga boyunda ışık veren ultraviyole ampulünün etrafından geçirerek, parçalanmasını sağlar ve serbest kalan oksijen atomu ile birleşip ozon gazını oluşturur. Bu yöntem laboratuvarlar gibi küçük miktarlarda ozon gazına ihtiyaç duyulan yerlerde kullanılabilir.

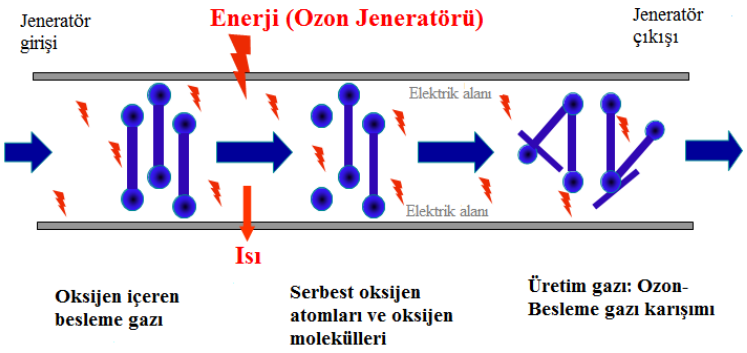
UV jeneratörlerinden elde edilen ozon miktarı arıtma işlemleri için yeterli değildir, yüksek konsantrasyonda daha fazla miktarda ozon üretimi için corona discharge teknolojisinin kullanılması gerekmektedir.

2.1.2.2. Corona discharge yöntemi

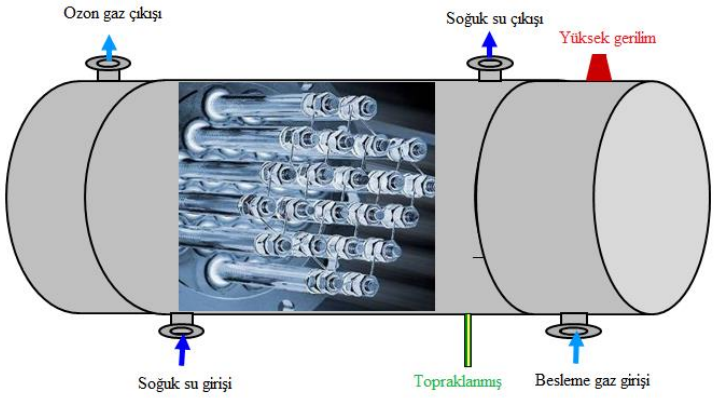
Corona discharge, su arıtma ve dezenfeksiyon işlemleri için en fazla kullanılan yöntemdir. Bu yöntem; kullanım ömrü, ozon üretimi ve işletme maliyetleri açısından UV ışık yöntemine göre daha avantajlıdır.

Corona discharge yöntemi bir elektrik deşarjıdır. Corona discharge yöntemiyle ozon üretimi sırasında açığa çıkan ısının jeneratörden uzaklaştırılması gerekmektedir. Isının

uzaklaştırılması, deşarj tüpünün su ya da hava ile soğutulmasıyla sağlanır (Öztürk ve Eren, 2010).

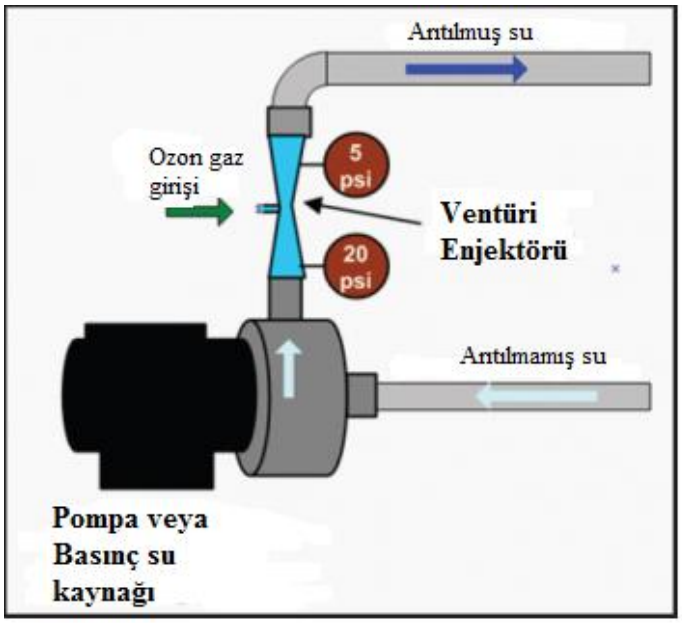


Şekil 2.4. Corona discharge yöntemiyle ozon üretimi (Yüksel, 2012)



Şekil 2.5. Ozon jeneratörü (Yüksel, 2012)

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 oluşturulur (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 iletim, basınçlı ve basınçsız sıvı akışının iyi çalışmasıdır.



Şekil 2.6. Ventüri enjektör

2.1.3. Ozonlama işlemlerinde etkili olan faktörler

Ozonlama işlemlerinde etkili olan faktörler; pH, sıcaklık, mekanik karıştırma, atık su bileşenleri ve ozon dozudur.

pH: Yüksek pH'larda ozon daha hızlı dekompoze olur ve hidroksil radikali oluşturur (Eren ve Aniş, 2006).

Sıcaklık: Sıcaklık arttıkça ozon gazının çözünürlüğü düşer. Çözünürlüğün düşmesi ile ozonlama etkinliği azalmaz çünkü sıcaklık artışı reaksiyon hızını da arttırmaktadır (Eren ve Aniş, 2006).

Mekanik karıştırma: Rotor ile karıştırma yapılan çalışmalarda rotor hızının artmasıyla ozonlama ile renk giderimi etkinliğinin de arttığı belirtilmiştir (Wu ve Wang, 2001).

Atık su bileşenlerinin etkisi: Atık su bileşenleri olarak, hem boyarmadde konsantrasyonu hem de çözeltide bulunan yardımcı kimyasal maddelerin etkisi söz konusudur (Eren ve Aniş, 2006).

Ozon dozajı: Ozon dozu ve ozonlama süresi arttıkça ozonlama etkinliği de artar (Wu ve Wang, 2001, Sevimli ve Sarıkaya, 2002).

2.2. Tekstil terbiyesinde ozon kullanımı

Ozon gazının, oksidatif bir madde olması, ağartma işlemlerinde hipoklorit, klorit ve hidrojen peroksite alternatif olmasını sağlamıştır. Ozon gazı atık yükü açığa çıkarmaması, çevreye zararlı olmaması ve düşük sıcaklıklarda da etkin olması sebebiyle avantajlıdır. Yıkama ve ağartma proseslerinde ozon kullanımı enerji ve su tasarrufu sağlamakla birlikte, kimyasal kullanımını düşürüp yıkama tekrar sayısını azaltmakta ve proses sürelerini kısaltmaktadır.

2.2.1. Pamuğun ağartılmasında ozon kullanımı

Boyama ve baskı proseslerinde boyarmadde alımının düzgün olabilmesi, homojen bir görünüm elde edilmesi ve hidrofilitenin sağlanabilmesi için safsızlıkların ön terbiye işlemleri ile pamuktan uzaklaştırılması gerekir. Sodyum hidroksit ve ıslatıcı ile yapılan hidrofilleştirme işlemi hidrofob özellikteki safsızlıkları uzaklaştırır. Hidrojen peroksit ile alkali banyoda yüksek sıcaklıkta (genellikle 98 C) yapılan ağartma işlemi ile de kumaşların doğal sarımsı rengi uzaklaştırılır.

Prabaharan ve arkadaşları, ozon gazının pamuğun ağartılması üzerindeki etkinliğini araştırmışlardır. Çalışmada ham pamuklu kumaşların ozon-oksijen gaz karışımıyla işleme sokularak ozon konsantrasyonu ve işlem süresindeki değişimlerin kumaşların özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ozonlama ile çok kısa sürede kumaşlarda kabul edilebilir beyazlık değerlerine ulaşılmıştır. Kumaşlarda en az mukavemet kaybı ve en iyi beyazlık derecesi yüksek ozon konsantrasyonu ve düşük uygulama süresi ile elde edilmiştir.

Prabaharan ve Rao'nun yaptıkları çalışmada ozonlama işlemi sırasında kumaşın belirli bir oranda nem içermesinin önemli olduğu, pH değerinin 7'nin altında olması gerektiği belirtilmiştir.

Pamuğun ağartılmasında ozon kullanımının araştırıldığı başka bir çalışmada da, ozonlanacak pamuklu kumaşlarda % 60 nem bulunmasının optimum olduğu vurgulanmıştır. (Eren ve ark., 2008)

2.2.2. Jütün ağartılmasında ozon kullanımı

Jüt kumaşlarda (% 60 nem içeren), ozonlama işleminin pH 7 ve oda sıcaklığında optimum olduğu belirtilmiştir. Konvansiyonel olarak ağartılması zor olan jüt kumaşın ozonla ağartılmasının kısa sürelerde kabul edilebilir beyazlık dereceleri, hidrofilite değerleri ve mukavemet kayıpları değerleri verdiği tespit edilmiştir (Perinçek ve ark., 2007b).

2.2.3. Yünün ağartılmasında ozon kullanımı

Angora lifi (angora tavşanı yünü) üzerinde, oda sıcaklığında pH 7'de % 60 nem ile yapılan ozonlama sonrasında kumaşların beyazlık ve boyanabilirlik değerlerinin iyileştiği ancak, ozonlamanın lif yüzeyindeki pul tabakasında deformasyon meydana getirdiği belirtilmiştir (Perinçek ve ark., 2008).

Koyun yünü üzerinde yapılan diğer bir çalışmada da, belirli bir nem oranında işlem süresi arttıkça beyazlık derecesinin artmadığı ve sıcaklık arttıkça kumaşların beyazlık derecelerinin düştüğü tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda konvansiyonel yöntemlerle elde edilen sonuçlara ulaşılamamıştır (Gülümser ve ark., 2009).

2.2.4. Yünün keçeleşmezlik işleminde ozon kullanımı

Ozonun yün üzerindeki etkisi klor, permonosülfirikasit ve permanganata benzetilmekte, bundan dolayı yün lifinin ozon gazı ile işleminden elde edilebilecek en önemli sonucun, pul tabakasının değişikliğe uğratılarak keçeleşmesinin azaltılması olduğu belirtilmiştir.

2.2.5. İpeğin ağartılmasında ozon kullanımı

Ozonun ham ve serisini giderilmiş ipek kumaşların terbiyesinde kullanımına yönelik bir araştırmada, sabunla yıkama ve ozonlama işlemleriyle elde edilen sonuçlarla, hidrojen peroksit ağartmasıyla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kumaşların esnekliğinde gelişme ve kumaş renginde düşme sağlanmıştır.

2.2.6. Denim yıkamada ozon kullanımı

Ozon gazı denim yıkamada günümüzde endüstriyel ölçekte kullanılmaktadır. Ozonun çok kısa bir süre içerisinde denim ağartma işlemindeki başarısı pek çok çalışma ile de kanıtlanmıştır.

2.2.7. Nylon lifi terbiyesinde ozon kullanımı

Lee ve ark. nylon 6 ve polyester kumaşların ozonlanmasıyla ilgili bir çalışma yapmışlar ve ozonlama sonrası kumaş üzerindeki kimyasal modifikasyonu analiz etmişlerdir. Sonuçlara göre kumaşların su absorbsiyonunda gelişme olduğu gözlemlenmiştir (Lee ve ark., 2006).

2.2.8. Polyester terbiyesinde ozon kullanımı

Ozonlama işleminin polyesterin dispers boyanması sonrası temizlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda %100 polyester kumaş CI Disperse Blue 56, CI Disperse Blue 60, CI Disperse Blue 79 boyarmaddeleriyle koyu tonda (%3) boyanmıştır. Ozonlama oda sıcaklığındaki suda ve atık boyama banyosunda ayrı ayrı yapılmıştır. Ard işlemin ozonlama ile nötr soğuk suda sadece 1 dakikada gerçekleştiği, atık boya banyosunda ise 3 dakikada hem yeterli haslık sağlandığı hem de atık çözeltinin renk gideriminin gerçekleştiği belirtilmiştir (Eren, 2006 ve 2007).

Polyester yüzey oligomerinin uzaklaştırılmasında ozon kullanımı ile ilgili çalışmada da ozonlamanın redüktif yıkama kadar başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Eren ve Aniş, 2009).

2.2.9. Polilaktikasit (PLA) terbiyesinde ozon kullanımı

Polilaktikasit (PLA) lifinin ozonlanması üzerine bir çalışmada beyazlık değerinde artış gözlemlenmiştir. Ancak ozonlama süreleri uzadığında mukavemette kayıplara yol açtığı da belirtilmiştir (Eren ve ark., 2010).

2.2.10. Tekstilde Boyama Atık Sularının Renk Giderimi ve Geri Kazanımında Ozon Kullanımı

Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atık sular diğer endüstriyel sektörlere oranla daha fazla kirletici özelliğe sahiptir. Tekstil endüstrisinde yıkama ve boyama proseslerinde yüksek su tüketimi nedeniyle atık su oluşumu da fazladır (Vandervivere ve ark. 1998).

Boyama, diğer tekstil prosesleri olan ön terbiye, yıkama ve apre işlemlerine göre oldukça fazla miktarda su ve kimyasal madde tüketen bir prosestir.

Tekstil endüstrisi boyama atık suyunun renginin giderilmesinde ozonlama işlemi çok yaygındır (Aniş ve Eren, 1998 ve 2006, Vandevivire ve ark., 1998). Ozonlama sonucu elde edilen renk giderimi boyanın cinsine göre farklılık göstermektedir.

Ozonlama işlemi tekstil atık sularının arıtılmasında kullanılan kimyasal oksidasyon yöntemlerinden biridir. Ozonlama ile suda çözünmeyen dispers boyalar dışındaki bütün boyaların rengi giderilebilir. Ozonlama sonucunda KOİ azalır, BOİ artar. (Robinson ve ark. 2001).

Çıkış sularının ozonlandıktan sonra tekrar kullanılabilmesi, arıtma tesisi için kimyasal madde ve su tasarrufu sağlamaktadır (Perkins ve ark. 1995). Yarı ömrünün kısa oluşu ozonlama işleminin en büyük dezavantajıdır.

2.3. Viskonun ağartma, boyama ve yıkama mekanizması

Selülozik mamüller ham halde sarımtırak bir renge sahiptir. Hem beyaz olarak kullanılacak hem de boyama ve baskı yapılacak kumaşlarda ağartma işlemi boyamanın ve baskının canlılığı ve parlaklığı için çok önemlidir. Aynı zamanda bu işlemle kumaşın hidrofilik özelliği de artmış olur.

Ağartma oksidatif etki gösteren kimyasallarla yapılır. En önemli ve yaygın kullanılan ağartma maddeleri; hidrojen peroksit, sodyum hipoklorit ve sodyum klorittir. Ağartma genelllikle bazik ortamda pH 10-12 aralığında ve kaynama sıcaklığında yapılır. Ağartma sonrası antiperoksit enzimleri kullanılarak banyoda ve mamül üzerinde kalan hidrojen peroksit uzaklaştırılır.

Selülozik mamüllerin boyanmasında en yaygın kullanılan boyarmadde grubu reaktif boyarmaddelerdir. Reaktif boyarmaddeler uygun koşullar altında lif ile kimyasal reaksiyona girerek kovalent bağ oluşturma özelliğine sahip tek boyarmadde sınıfıdır.

Reaktif boyarmaddeler boyamada emdirme ve çektirme yöntemlerine uygundur. Çektirme yöntemine göre çalışan boyama makinelerinden en yaygın olarak kullanılan makine tipi jet boyama makineleridir.

Reaktif boyama üç adımdan meydana gelmektedir.

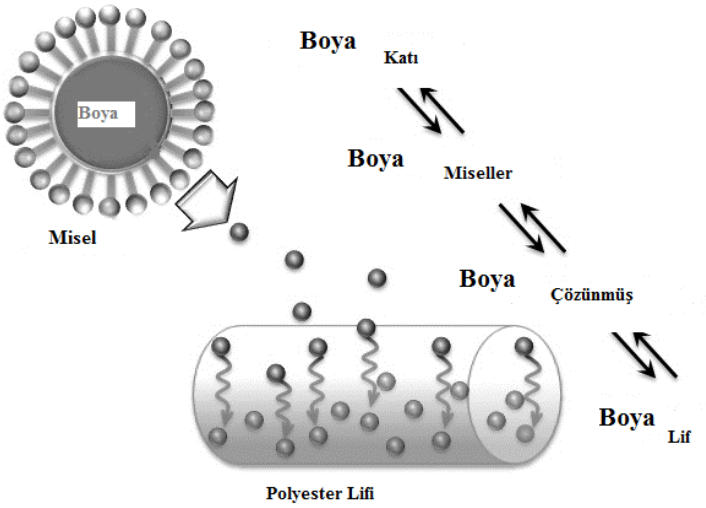
- Boyarmaddenin lifler tarafından alınması
- Boyarmaddenin liflere bağlanması
- Hidrolize uğramış, fikse olmamış boyarmadde kısmının uzaklaştırılması

2.4. Polyesterin boyama ve yıkama mekanizması

Polyester boyamada en yaygın kullanılan boyarmadde grubu dispers boyarmaddelerdir. Boyarmadde molekülleri lifin polimer sistemine, hidrojen bağları, dipol dipol etkileşimi ve van der Waals kuvvetleri yardımıyla tutunurlar (Uğur 2007).

Dispers boyama prosesi 4 adımdan meydana gelmektedir.

1. Partikül haldeki boyarmaddenin boya banyosu içinde çözünmesi
2. Çözeltiden lif yüzeyine boyarmadde molekülü transferi



Şekil 2.7. Dispers boyama mekanizması (Koh 2011)

3. Boyarmaddenin, difüzyon sınır tabakası içerisinden lif yüzeyine tutunması
4. Lif yüzeyine tutunan boyarmaddenin lif içine difüzyonu ve fiksajı

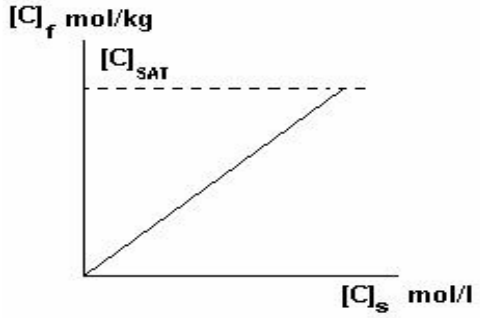
Dispers boyarmaddelerle polyester liflerinin arasındaki ilişki Nernst yasası ile açıklanabilmektedir.

$$[C]_f = K\,[C]_S \qquad (2.2)$$

$[C]_f$ = Lif yüzeyindeki boya konsantrasyonu

$[C]_S$ = Çözelti içindeki boya konsantrasyonu

K= Lif ve banyo arasındaki boyanın ayrılma katsayısı



Şekil 2.8. Nernst yasasından elde edilen adsorpsiyon izotermi (Cegarra ve diğ. 1992)

Nernst izoterminin yönü doğrusaldır (Şekil 2.8).

Boyama proses başlangıcında lif yüzeyindeki boyarmadde konsantrasyonu maksimum iken lif içerisindeki minimumdur. Boyarmadde moleküllerinin lif yüzeyi içerisine doğru difüzyonu Fick denklemi ile ifade edilir (Koh 2011).

$$F = - D [\delta C/\delta X] \quad (2.3)$$

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^2/süre, m^2/s.)
$\delta C/\delta X$: Konsantrasyon gradyenti

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

Hidrofobik liflerin dispers boyarmaddelerle boyanması katı organik çözücüden (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 sisteminde bulunan boyarmadde

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

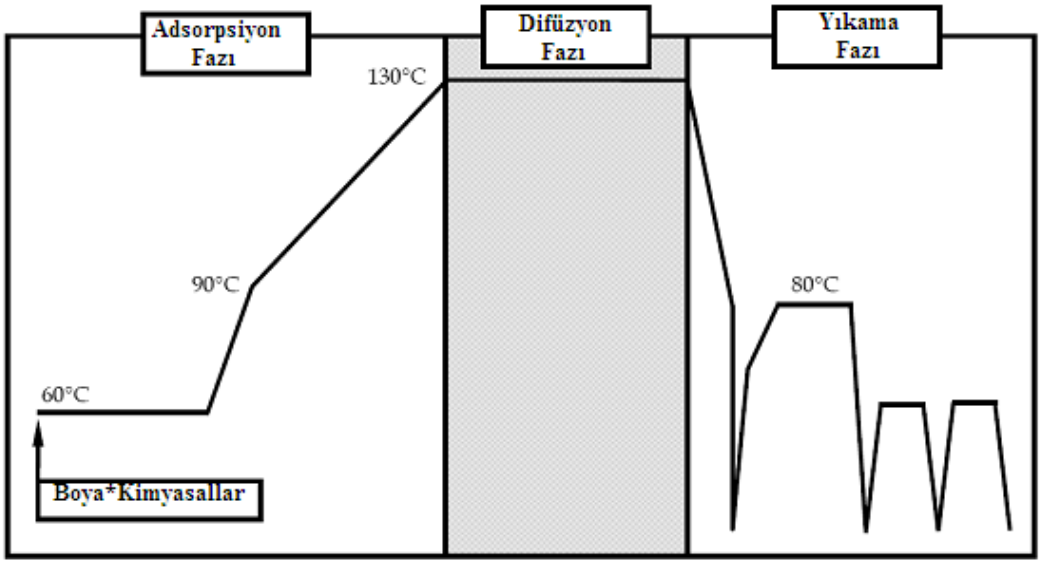
Polyesterin sıkı yapısı gereği camlaşma noktası yüksektir. Bilindiği gibi lif içerisine boyarmadde girişi, camlaşma sıcaklıklarının (T_g) üzerindeki derecelerde başlamaktadır. Yani düşük camlaşma sıcaklığına sahip lifler daha düşük sıcaklıkta boyanabilirler. Bunun nedeni ise, life boyarmadde difüzyonu amorf bölgelerdeki hareketlenme ile gerçekleşir (Yıldırım ve ark. 2012).

Polyester kumaşların boyamasında en fazla uygulanan metot, kaynama sıcaklığından yüksek sıcaklıklarda basınç altında gerçekleştirilen HT boyama yöntemidir.

Polyester boyamada boya banyosu içerisine yardımcı kimyasal olarak asit, dispergatör, egalizatör ve kırık önleyici ilave edilir.

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 işlemi 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 2.9) adsorpsiyon fazı, difüzyon fazı ve yıkama fazını içeren üç ana fazdan oluşmaktadır (Koh 2011).



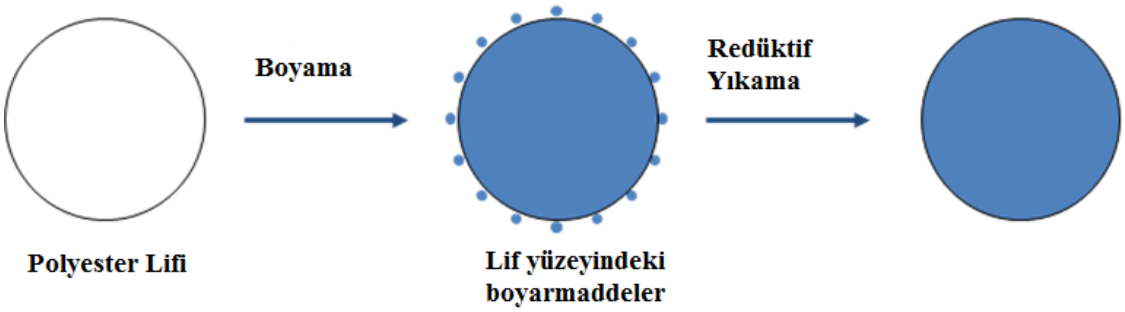
Şekil 2.9. Polyesterin çektirme yöntemine göre boyama faz eğrisi (Koh 2011)

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^{0}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).

Polyesterin boyanması genellikle difüzyon kontrollü bir proses olarak tanımlanır. Difüzyon fazı, 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^{0}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).

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 redüktif ve oksidatif işlemlerle muamele edilerek kumaş yüzeyindeki ölü boyarmaddeler temizlenir. Redüktif yıkama işleminde hidrosülfit, tiyoüredioksit, sodyumborhidrit, sodyumbisülfit, tioglikolikasit kullanılmaktadır. Hidrosülfit ve tiyoüredioksit bunlardan en yaygın kullanılanlarıdır (Aniş ve Yıldırım 2003).



Şekil 2.10. Redüktif yıkama (Anonim 2002)

Redüktif yıkama genel olarak alkali ortamda gerçekleşmesine rağmen asidik ortamda da uygulanabilmektedir. Alkali ortamda gerçekleştirilen yıkamada kostik ve tiyoüredioksit kullanıldığında sıcaklık 85-90^{0}C olması gerekirken, kostik ve hidrosülfit kullanıldığında sıcaklık için 70-80 ^{0}C'ler yeterli gelir. İndirgen yıkama ile elyafa yüzeysel olarak tutunmuş ölü boyarmadde daha küçük, suda çözünebilir ve renksiz parçalara ayrılmaktadır. Asidik ortamda gerçekleştirilen indirgen yıkamada ise boya banyosu, boyama bitiminde boşaltılmaz ve basıncın ortadan kalkması amacıyla çözelti soğutulur. Çözeltiye asidik indirgen ilave 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. Antrakinon boyarmaddeleri tamamen indirgemek mümkün değildir. Redüktif yıkama sonrası kalan antrakinon boyarmaddelerin kalıntıları için oksidatif bir uygulama kullanılabilir (Koh 2011).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kumaşlar

Bu çalışma için deneylerde kullanılan örme ve dokuma kumaşların özellikleri Çizelge 3.1'de yer almaktadır. Kumaşlar, Akbaşlar Tekstil Enerji San. ve Tic. A.Ş'den temin edilmiştir. Kaliteler işletmede kullanılan yaygın kumaş tipleri dikkate alınarak seçilmiştir.

Çizelge 3.1. Laboratuvar tipi jet makinesinde gerçekleştirilen denemelerde kullanılan kumaşlara ait özellikler

Kalite adı	Konstrüksiyonu	İplik Özellikleri
Laura (örme)	% 96 viskon % 4 elastan	28/1 OE viskon + 20 D lycra
Martin (örme)	% 96 PES % 4 elastan	135/108 1000 T/mt PES ITY Z büküm 20 D lycra harici
Crepe demor (dokuma)	% 100 PES	Çözgü: 75 D ITY PES Atkı: 20 D ITY PES
Amelia (dokuma)	% 100 PES	Çözgü: 20 D Parlak PES Atkı: 20 D PES
Kesha (dokuma)	% 100 PES	Çözgü: 45 D ITY PES Atkı: 50 D PES

3.1.2. Boyarmaddeler

Tez kapsamında, Akbaşlar Tekstil Enerji San. Tic. A.Ş.'nin Boya Baskı İşletmesinden temin edilen, yıkama işlemi yapılmamış boyalı kumaşlara ozonlama işlemi uygulanmıştır. Boyamalarda kullanılan dispers ve reaktif boyarmaddelerin ticari isimleri ve firmaları Çizelge 3.2 ve 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan dispers boyarmaddelerin ticari isimleri ve firmaları

Boyarmadde Ticari İsimleri	Firma
Setapers Red BEL	Setaş
Setapers Orange S3RS	Setaş
Setapers Neo Pink	Setaş
Setapers Neo Red	Setaş
Stacron Orange S3RS	İlteks
Stacron Yellow 6GSL	İlteks
Stacron Red 5BLN	İlteks
Dianix Blue CC	Dystar
Balicron Violet 3RL	Organik Kimya
Balicron Black GI	Organik Kimya

Çizelge 3.3. Deneylerde kullanılan reaktif boyarmaddelerin ticari isimleri ve firmaları

Boyarmadde Ticari İsimleri	Firma
Remazol Gelb GL	Dystar
Drimaren Turkish CLB	Clariant
Drimaren Red CL5B	Clariant
Drimaren Blue HF RL	Clariant

3.1.3. Kullanılan cihazlar

Ozonlama ile ağartma, redüktif ve reaktif yıkama çalışmaları Akbaşlar Tekstil Enerji San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge departmanında yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda; laboratuvar tipi (1-3 kg) jet boyama makinesi ve ozon jeneratöründen oluşan bir sistem kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda kumaş 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. Deneyler sırasında kullanılan cihazlara ait detaylar

Cihazın Adı	**Marka**	**Model**	**Fonksiyonu**
Laboratuar Tipi Jet Boyama Makinesi	ATAÇ	HT 3F	Ön terbiye – Boyama - Yıkama
Ozon Jeneratörü	Ozonia	CFS 3 2G	Ozon üretimi
Kompresör	Atlas Copco	SF2SKID1	Ozon jeneratörü için hava üretimi
Desikant Kurutucu	Atlas Copco	CD3+	Havayı çiğlenme noktasına getirme
Mukavemet Test Cihazı	HOUNSFIELD	H5KT-HT400	Dikiş açması, dikiş kopması, kopma mukavemeti değerleri
Dijital Yırtılma Test Cihazı	JAMES H. HEAL	ELMATEAR	Yırtılma mukavemeti değeri
Yıkama haslığı	JAMES H. HEAL	GYROWASH	Renklerin aktif oksijen içeren yıkama etkisine dayanımı
Su haslığı	JAMES H. HEAL	ISO PERSPİROMETER	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
Spektrofotometre	DATACOLOR	SF600	Renk ölçümü
Termoreaktör	WTW	CR2200	KOİ ölçümü
Atıksu spektrofotometresi	WTW	PHOTOLAB 6100 VİS	KOİ ölçümü
Işık kabini	VERİVİDE	CAC60	Yapılan testlerin değerlendirmeleri

3.2. Yöntem

3.2.1. Prototip sistemin oluşturulması

Prototip sistem; kompresör, desikant kurutucu, ozon jeneratörü ve laboratuvar tipi jet boyama makinesinden oluşmaktadır (Şekil 3.1).

Şekil 3.1. Prototip sistem (1. Kompresör, 2. Desikant kurutucu, 3. Ozon jeneratörü, 4. 1-3 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/saat maksimum ozon üretim ve 4,5 kW/saat enerji tüketim kapasitesine sahiptir.

Prototip sistemde ilk adım kompresörde basınçlı havanın üretilmesidir. Üretilen basınçlı hava özel desikant kurutucudan geçirilerek havanın çiğ noktası – 65 in altına getirilir ve ozon jeneratörüne bu değerin üzerinde havanın beslenmesi durumunda, sisteme dahil

edilen selenoid vana aracılığı ile uygun kalitede olmayan havanın ozon jeneratörüne girişi engellenmiş olur. Uygun kalitedeki havanın jeneratöre girişinin sağlanmasının yanında jeneratör soğutma suyu hattının bağlantıları yapılmıştır. Jeneratörden ozon gazı çıkış hattının hemen yanına ortamda bulunan ozon gazını ppm cinsinden ölçen ozon sensörü yerleştirilmiştir. (Şekil 3.2.) Ozon jeneratöründe üretilen ozonun jet boyama makinesi içerisine sorunsuz bir şekilde transferini sağlamak için, daha önceden basınç ve akış parametreleri değerlendirilerek tasarlanan ventürinin bağlantısı düze giriş hattı üzerinde gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.3.)

Şekil 3.2. Ozon sensörü

Şekil 3.3. Venturi Bağlantısı

Jet boyama makinesinden tahliye edilen ozonun laboratuvar iç ortamında kalmaması için tahliye hattı çıkış ucu atmosfere açık ortama kadar yükseltilmiştir. Gerçekleştirilen

sistem içi emniyet önlemlerine ilave olarak olası bir ozon sızıntısının atmosfer ortamına tahliyesini sağlamak üzere aspiratör sistemi ozon jeneratörünün üzerine kurulmuştur.

3.2.2. Ozonlama işlemi ile karşılaştırılacak konvansiyonel proseslerin belirlenmesi

Doktora tezi, 00688.STZ.2010-2 Tekstil Terbiye İşletmesinde Ozon Kullanımı Entegrasyonu San-Tez projesi kapsamında desteklendiği için, proje ortağı firma Akbaşlar Tekstil Enerji San. ve Tic. A.Ş. Boya Baskı İşletmesinde gerçekleştirilen tüm ön terbiye ve yıkama prosesleri ile ozonlama işleminin karşılaştırmaları yapılmıştır.

3.2.2.1. Viskonun ozonlama ile ağartılması

Akbaşlar Tekstil Enerji San. ve Tic. A.Ş. Boya Baskı İşletmesinde viskon kumaşlarda baskı altı ve düz boya kasar olmak üzere iki farklı proses uygulanmaktadır. Ozonlama işlemi ile yapacağımız çalışmalarda beyazlık açısından ulaşmamız gereken hedef değerlerimiz bu iki proses esas alınarak belirlenmiştir.

Baskı altı kasar prosesi 1 gr/lt hidrojen peroksit, 1 gr/lt sıvı alkali kullanılarak 70 C'de 20 dakikada, düz boya kasar prosesi 1,5 gr/lt hidrojen peroksit, 1 gr/lt sıvı alkali, 1 gr/lt kombin kasar malzemesi kullanılarak 98 C'de 20 dakika işlem yapılarak gerçekleştirilir. İşletmede baskı prosesi uygulanacak olan kumaşlar baskı altı kasar, düz boya prosesi uygulanacak olan kumaşlar ise düz boya kasar prosesine tabi tutulur.

Çalışmada ozonlama ile ağartılan kumaşlar Berger beyazlık derecesi, hidrofilite, kapilarite, patlama mukavemeti, add on yağ tayini ve KOİ parametreleri açısından üretim prosesleri (konvansiyonel) ile karşılaştırılmıştır.

3.2.2.2. Dispers boyama sonu yıkama işleminin ozonlama ile yapılması

Akbaşlar Tekstil Enerji San. ve Tic. A.Ş. Boya Baskı İşletmesinde polyester kumaşlar toplam boyarmadde yüzdelerine bağlı olarak tek ya da çift polyester (redüktif) yıkama işlemine tabi tutulurlar.

Tek polyester (redüktif) yıkama prosesi adımları

- 70 ℃ 20 dakika sıcak yıkama
- 50 ℃ 2 gr/lt kostik
- 80 ℃ 3 gr/lt tiyoüredioksit (sülfinik asit türevi redüksiyon maddesi)
- 85 ℃ 20 dakika bekleme
- 60 ℃ ye soğutma boşaltma
- 50 ℃ 1 gr/lt asit ile 10 dakika nötralizasyon

Çift polyester (redüktif) yıkama prosesi adımları

- 70 ℃ 20 dakika sıcak yıkama
- 50 ℃ 2 gr/lt kostik
- 80 ℃ 3 gr/lt tiyoüredioksit (sülfinik asit türevi redüksiyon maddesi)
- 85 ℃ 20 dakika bekleme
- 60 ℃ ye soğutma boşaltma
- 50 ℃ 2 gr/lt kostik
- 80 ℃ 3 gr/lt tiyoüredioksit (sülfinik asit türevi redüksiyon maddesi)
- 85 ℃ 20 dakika bekleme
- 60 ℃ ye soğutma boşaltma
- 50 ℃ 1 gr/lt asit ile 10 dakika nötralizasyon

Çalışmada ozonlama ile yıkama işlemi gerçekleştirilen kumaşlar yıkama haslığı, su haslığı, kuru sürtme, mukavemet, renk, ve KOİ parametreleri açısından üretim (konvansiyonel) prosesleri ile karşılaştırılmıştır.

3.2.2.3. Reaktif boyama sonu yıkama işleminin ozonlama ile yapılması

Çalışmada ozonlama ile yıkama işlemi gerçekleştirilen kumaşlar yıkama haslığı, su haslığı, kuru sürtme ve renk parametreleri açısından üretim (konvansiyonel) reaktif yıkama prosesi ile karşılaştırılmıştır.

Reaktif yıkama proses adımları

- 15 dakika taşarlı yıkama
- 50 ℃ 1 gr/lt asit ile 10 dakika nötralizasyon
- 10 dakika taşarlı yıkama
- 80 ℃ 10 dakika sıcak yıkama
- 10 dakika taşarlı yıkama
- 95 ℃ 1 gr/lt reaktif yıkama sabunu ile 15 dakika yıkama
- 10 dakika taşarlı yıkama
- 50 ℃ 1 gr/lt asit ile 10 dakika nötralizasyon

3.2.3. Ölçüm ve metot

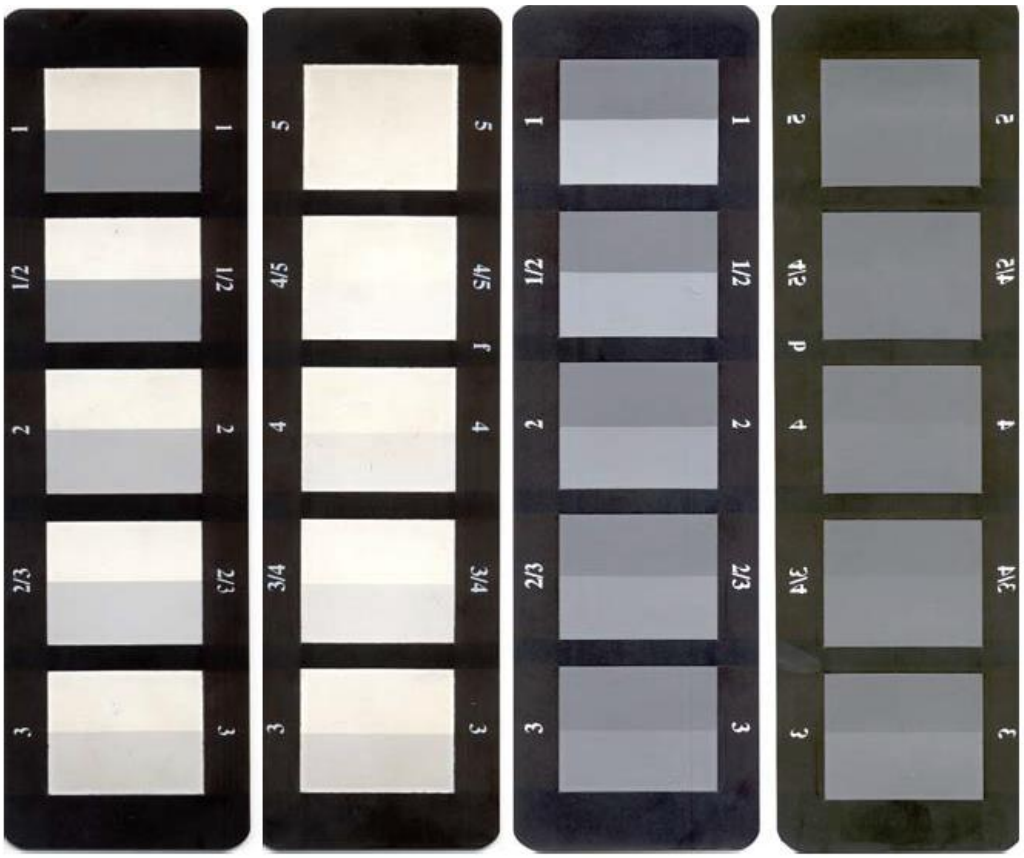
Konvansiyonel proseslerin ozonlama işlemi ile karşılaştırma çalışmalarında kullanılan kumaşlar farklı testlere ve renk ölçümlerine tabi tutulmuştur.

Çizelge 3.5. 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
	Hidrofilite	AATCC 79-1986
	Kapilarite	DIN 53924
	Add on (% Yağ Tayini)	DIN 54278-T1
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
	Patlama Mukavemeti	DIN EN ISO 13938-2

3.2.3.1. Kimyasal testler

Haslık test sonuçlarının değerlendirilmesinde iki adet gri skala (Şekil 3.4) kullanılmaktadır. Refakat kumaşı lekeleme ve kumaş renklerinin solma değerlendirmesi için ayrı skalalar bulunmaktadır.



A B

Şekil 3.4. A: Lekeleme gri skalası, B: Solma gri skalası

Yıkama haslığı testi

Boyanmış kumaşların yıkama haslıklarının 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 reçeteyle hazırlanan çözeltiden 150 ml alınarak yapılmıştır. James H. Heal markasına ait Gyrowash cihaz tüplerine çözelti ve kumaş ilave edilerek 60^0C'de 30 dakika yıkanmıştır. Yıkama işlemi bitiğinde numuneler önceden hazırlanan 1 litre 40^0C 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 ^{0}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. 9 N 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.

Add on (% yağ tayini) testi

Kumaş üzerinde bulunması muhtemel, preparasyon yağları ve vakslar gibi safsızlıkların ekstraksiyon yöntemi ile kantitatif olarak tespit edilmesi prensibine dayanır. Add-on tespiti yapılacak kumaşlar, 5-6 g olacak şekilde kesilir. Kullanılacak balonların mutlaka desikatörde saklanması gerekmektedir. Testte başlangıç olarak, desikatörden alınan balonlar teker teker tartılır ve değerler kaydedilir (m_1). Balonların üst aparatı (Soxhlet Cihazları) takılır ve içlerine petrol eter çözücüsü (kaynama noktası 40-60°C) konulur. Petrol eter çözücü seviyelerinin tüm balonlarda eşit olmasına dikkat edilir. 5-6 g arasında kesilen kumaşlar, kozaların içine konulur ve kozalar balonların üzerindeki soxhlet cihazlarının içine yerleştirilir. Balonlar geri soğutucuya bağlanır ve ısıtıcılar üzerine konularak eşit sıcaklıkta ısıtılır. 3 saat boyunca ektraksiyon işlemi yapılır. 3 saat sonunda balonlar ve üzerlerindeki soxhlet cihazları geri soğutucudan ayrılarak dışarı alınırlar.

Kozalar cımbız yardımıyla alınır ve daha sonra petrol eter çözücüsünün geri kazanılması amaçlı, aşağıdaki işlemler yapılır.

- Balonlar içerisinde kalan petrol eter seviyeleri eşitlenir.
  (Soxhlet cihazında kalan petrol eter, cihazın biraz eğilmesiyle balona akıtılır.)
- Balon ve soxhlet cihazı tekrar geri soğutucuya bağlanarak ısıtma işlemine devam edilir.
- Petrol eter kaynamaya başladığında, soxhlet cihazına dolmaya başlar. Dolum işlemi bittikten sonra, petrol eter tekrar balona boşalır.
- Petrol eter tekrar soxhlet cihazına dolmaya başlar, fakat balona akmaya başlamadan önce soxhlet cihazında toplanan petrol eter tekrar kullanılmak üzere başka bir kapta toplanır.
- Bu işlem balondaki petrol eter yaklaşık 1 ml kalıncaya dek tekrarlanır.

- Balon cihazdan ayrılarak 105 °C'deki etüve alınır. 3 saat boyunca bekletilir. Bu süre sonunda desikatöre alınır ve 2 saat sonunda tartım yapılır. (m_2)

% Add-on aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

% Add-on = 100 [(m_2- m_1)/kumaş ağırlığı] (3.1)

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 3 mm 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.

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 içerisinden, 10 cm x 20 cm ebadında olan şablon ile 5 çözgü ve 5 atkı numunesi çizilmiştir. Test numunelerin yönünü belirten ok işareti koyulmuştur. Hazırlanan test numuneleri 20^0C, % 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.

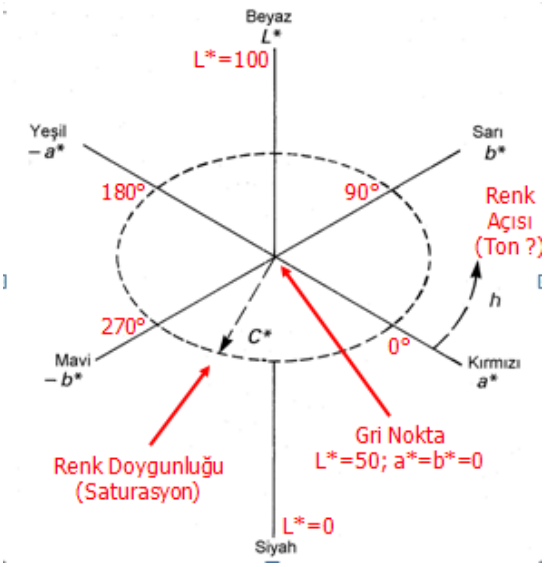
Kondüsyonlanan numuneden, kumaşın yönünü belirten bir ok işareti konularak, şablon ile üçer adet çözgü ve atkı numuneleri çizilip kesilmiştir. Test numunesinin boyutu 100 mm x 63 mm kalacak şekilde ayarlanmıştır. Kullandığımız kumaş likrasız olduğu için 20^0C % 65 nem şartlarında 8 saat kondüsyonlanır. 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 renk ölçümleri

Konvansiyonel proseslerin ozonlama işlemi ile karşılaştırılmasında, kumaşların renk ölçümlerinde spektrofotometrik yöntem tercih edilmiştir. Kumaşların renk ölçümleri

CIELab sistemine (Şekil 3.5) göre 10 derecelik bir gözlemci kullanılarak D65 gün ışığı altında yapılmıştır. Çalışmada Datacolor SF600 serisine ait bir spektrofotometre kullanılmıştır. Kumaşlara ait ΔE 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 ΔE (toplam renk farkı) 1 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.5. 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.

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.2)$$

Δ = numune rengin değeri - standart rengin değeri

3.2.3.4. Atık suyun KOİ ölçümü

Konvansiyonel proseslerin ve ozonlama işleminin ardından banyodan boşaltılan atık su numunelerinin KOİ ölçümü için Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 5220 C Closed Reflux Method standardı kullanılmıştır.

Şekil 3.6. Termoreaktör ve atıksu analiz fotometresi

Tez çalışması kapsamında alınan 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 atık su numunesinden belirli bir miktarda su alınıp kitlerdeki çözeltiye ilave edilmiştir. WTW marka CR2200 model termoreaktör cihazında 148^0C'de iki saat süreyle reaksiyon gerçekleştirilmiştir. İki saat reaksiyon süresi sonunda alınan örnek oda sıcaklığına soğutulduktan sonra WTW marka Photolab 6100 VİS model su ve atık su analiz fotometresi (Şekil 3.6) kullanılarak kimyasal oksijen ihtiyacı derişimi (mg/l) belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Doktora tezi, 00688.STZ.2010-2 Tekstil Terbiye İşletmesinde Ozon Kullanımı Entegrasyonu San-Tez projesi kapsamında desteklendiği için, proje ortağı firma Akbaşlar Tekstil Enerji San. ve Tic. A.Ş. Boya Baskı İşletmesinde gerçekleştirilen viskon ağartma, dispers boyama sonu yıkama, reaktif boyama sonu yıkama, dispers ve reaktif baskı sonu yıkama proseslerinin, ozonlama işlemi ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

4.1. Viskonun ozonlama ile ağartılması

Akbaşlar Tekstil Enerji San. Ve Tic. A.Ş. Boya Baskı İşletmesinde viskon kumaşlarda baskı altı ve düz boya kasar olmak üzere iki farklı proses uygulanmaktadır. Ozonlama işlemi ile yapacağımız çalışmalarda beyazlık açısından ulaşmamız gereken hedef değerlerimiz bu iki proses esas alınarak belirlenmiştir.

Ön fikse sonucunda elde ettiğimiz beyazlık değerleri farklı olan altı çalışmadan elde edilen ön fikse, baskı altı ve düz boya kasar sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Tüm çalışmalarda aynı kumaş kalitesi (Laura) kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Berger cinsinden beyazlık değerleri

BERGER beyazlık derecesi	1	2	3	4	5	6	Ortalama
Ön fikse	25,641	33,179	36,989	33,381	29,515	39	32,95
Baskı altı	51,3	55,867	55,303	61,782	60,509	61,115	57,64
Düz boya	51,45	58,93	59,261	67,097	62,539	61,436	60,11

Çizelge 4.1.'de belirtilen üretim (konvansiyonel) ağartma proseslerinden elde edilen değerler incelendiğinde baskı altı için 50-55, düz boya için 55-60 Berger beyazlık değeri hedef olarak belirlenmiştir.

Üretimde belirlediğimiz hedef değerleri yakalayabilmek için çalışmalara başlamadan önce sıcaklık ve basınç parametrelerini göz önünde bulundurarak elde ettiğimiz sonuçlar Çizelge 4.2. ve 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Basınç parametresine göre Berger beyazlık dereceleri

	ön fikse	4,5 dak ozonlama işlemi 5,5 dak 2 bar basınca çıkış 10 dk basınçta sirkülasyon	9,5 dak ozonlama işlemi 5,5 dak 2 bar basınca çıkış 10 dk basınçta sirkülasyon	10 dk ozonlama işlemi (basınçsız)
BERGER beyazlık derecesi	33,179	45,72	46,94	50.824

Çizelge 4.2. değerlendirildiğinde 4,5 dakika ozonlama + 5,5 dakika 2 bar basınca çıkma işlemi toplamda 10 dakika sürmüştür. Başka bir çalışmada da 10 dakika boyunca ozonlama yapılıp 10 dakikada 2 bar basınçta sirkülasyon yapılmış olmasına rağmen basınçsız ortamda 10 dakikada elde edilen beyazlık sonucuna ulaşılamamıştır. Bu yüzden yapılan çalışmalarda basınçsız ortam kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. Sıcaklık parametresine göre Berger beyazlık dereceleri

	ön fikse	**25 ^{0}C 10 dak.**	**50 ^{0}C 10 dak.**
BERGER beyazlık derecesi	39	54,18	46,89

Çizelge 4.3' de belirtilen sonuçlar üç denemenin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi soğukta ozonlama yapılması ozon gazının çözünürlüğünü arttırmış ve daha iyi beyazlık değerleri elde edilmiştir.

Ozon gazının havadaki ya da sudaki çözünürlüğünün beyazlık üzerindeki etkilerini belirleyebilmek adına yapılan çalışmaların sonuçları Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Ozon gazının çözünürlülüğü

	ön fikse	30 lt 2 kg 10 dak.	45 lt 2 kg 10 dak.	30 lt 3 kg 15 dak.	45 lt 3 kg 15 dak.
BERGER beyazlık derecesi	33,381	55,25	51,6	56,24	50,73

Çizelge 4.4 incelendiğinde hem 2 kg hem de 3 kg kumaş için su hacmi azalıp hava hacmi arttığında beyazlık değerleri iyileşmektedir.

Hedef beyazlık değerlerine ulaşabilmek için 10, 15 ve 20 dakika ozonlama işlemi 10 kez tekrarlanmış ve ortalaması alınarak Çizelge 4.5. oluşturulmuştur. Bu çalışmada 2 kg kumaş 1/15 flotte oranı ile çalışılmıştır. Laboratuar tipi jet makinesi daha az su miktarları ile kumaşı döndüremediği için daha düşük flotte oranları ile deneme yapılamamıştır. Bu çalışma basınçsız ortamda ve 25 ^{0}C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Hedeflediğimiz beyazlık dereceleri göz önünde bulundurulduğunda baskı altı kasarın yerine 10 dakika ozonlama işlemi, düz boya kasarın yerine 20 dakika ozonlama işlemi yeterli olacaktır. Bu sayede konvansiyonel proseslerde kullanılan ve yüksek atık yükü oluşturan hidrojen peroksit ve sıvı alkali kullanımı yerine çevre dostu ozon gazı endüstriyel alanlarda giderek yaygınlaşacaktır.

Çizelge 4.5. Zaman parametresine göre Berger beyazlık dereceleri

	ön fikse	10 dak. ozonlama işlemi	15 dak. ozonlama işlemi	20 dak. ozonlama işlemi
BERGER beyazlık derecesi	29,515	52,48	55	56

Zaman parametresine göre beyazlık derecelerini karşılaştırdığımız kumaşlara ait kapilarite sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelge 4.6. 10 test tekrarının ortalaması alınarak oluşturulmuştur.

Çizelge 4.6. Kapilarite sonuçları

	Kapilarite (sn)		
	sağ	**orta**	**sol**
Ön fikseli	8.25	7.62	6.41
10 dak. ozonlama	13.36	13.01	11.01
15 dak. ozonlama	11.14	10.28	10.84
20 dak. ozonlama	11	11.38	11.3
Baskı altı	10.69	12.03	7.44
Düz boya	8.25	8.56	7.72

Çizelge 4.6. incelendiğinde konvansiyonel prosesler ile ozonlama işleminden elde edilen kapilarite değerleri arasında fark olmadığı gözlemlenmiştir. Kapilarite testi yapılan tüm kumaşlar aynı zamanda hidrofilite tayinine de tabi tutulmuş ve tüm kumaşlarda 1 sn eş sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 4.7. Patlama mukavemeti sonuçları

	Patlama Mukavemeti (kPa)
ön fikseli	143
10 dak. ozonlama	141
15 dak. ozonlama	138,1
20 dak. ozonlama	134,1
Baskı altı	133,1
Düz boya	132,1

Çizelge 4.7. deki patlama mukavemeti sonuçları incelendiğinde baskı altı kasarın yerine düşündüğümüz 10 dakika ozonlama işlemi ve düz boya kasarın yerine düşündüğümüz 20 dakika ozonlama işleminden elde edilen patlama mukevemeti değerlerinin üretim değerlerinden daha iyi olduğu görülmüştür.

Yapılan tüm çalışmalarda add on tayini parametre olarak değerlendirilerek hem üretim hem ozonlama işlemlerinde % 0,1'den daha az yağ oranı tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalar kalitatif kükürt analizine tabi tutularak sonuçlar değerlendirildiğinde hem üretim hem ozonlama işlemlerinde S tespit edilmemiştir.

KOİ, su ve atık su örneklerinde kirliliğin derecesinin belirlenmesinde kullanılan en önemli test parametrelerindendir. KOİ için kullanılan ölçü birimi mg/l'dir. Atık su spektro fotometresi kullanılarak 10 dakika ozonlama işlemi sonucunda banyodan elde edilen KOİ değeri 265 mg/lt, baskı altı üretim banyosundan elde edilen KOİ değeri 990 mg/lt**,** düz boya kasar üretim banyosundan elde edilen KOİ değeri ise 1310 mg/lt çıkmıştır. Elde edilen KOİ değerleri ile ozon gazının çevre dostu üstünlüğü bir kez daha ispatlanmıştır.

4.2. Dispers boyama sonu yıkama işleminin ozonlama ile yapılması

Akbaşlar Tekstil Enerji San. Ve Tic. A.Ş. Boya Baskı İşletmesinde polyester kumaşlar toplam boyarmadde yüzdelerine bağlı olarak tek ya da çift polyester (redüktif) yıkama işlemine tabi tutulurlar. Bu sebeple farklı boyamaddeler kullanılarak yapılan aşağıdaki çalışmalarda renk ve haslık parametreleri göz önünde bulundurularak tek ya da çift redüktif yıkamaya karşılık gelen ozonlama prosesleri belirlenmiştir.

4.2.1. Tek redüktif yıkamaya muadil ozonlama işlemi

% 100 Polyester dokuma, % 0,3549 Setapers Red BEL (Red 92) , % 0,0273 Stacron Orange 3RS (Orange 80), % 0,0294 Setapers Neo Pink (Red 362) boyarmaddeleri kullanılarak oluşturulan toplam % 0,4116 boyarmadde yüzdesine sahip pembe renkli crepe demor kalitesine ait haslık, renk ve mukavemet sonuçları Çizelge 4.8., 4.9., 4.10., 4.11. ve 4.12.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Pembe renkli crepe demor kalitesi için yıkama haslığı sonuçları

Yıkama Haslığı	asetat	pamuk	naylon	polyester	akrilik	yün	renk değişimi
işlemsiz	4/5	4/5	4/5	4/5	5	5	5
3 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	5	5	4/5	5	5	5	5
5 dak. ozonlama +10 dak. soğuk yıkama	4/5	5	4/5	4/5	5	5	5
10 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4/5	5	4/5	4/5	5	5	5
üretim	4/5	5	4/5	4/5	5	5	5

Çizelge 4.9. Pembe renkli crepe demor kalitesi için su haslığı sonuçları

Su Haslığı	asetat	pamuk	naylon	polyester	akrilik	yün	renk değişimi
işlemsiz	4/5	4/5	4/5	4/5	5	5	5
3 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	5	5	5	5	5	5	5
5 dak. ozonlama + 10 dak.soğuk yıkama	4/5	5	4/5	5	5	5	5
10 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4/5	5	4/5	5	5	5	5
üretim	5	5	5	5	5	5	5

Çizelge 4.10. Pembe renkli crepe demor kalitesi için kuru sürtme sonuçları

Kuru sürtme	
işlemsiz	5
3 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	5
5 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	5
10 dak. ozonlama + 10 dak.soğuk yıkama	5
üretim	5

Çizelge 4.11. Pembe renkli crepe demor kalitesi için renk değerleri

üretim	DL	DC	DH	DE
3 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	-0.07	0.11	-0.4	0.42
5 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	1.26	-0.74	0.73	0.74
10 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	1.68	-2.098	1.18	1.27

Çizelge 4.12. Pembe renkli crepe demor kalitesi için mukavemet sonuçları

	ISO 13936-1 (8 kgf 3 mm)		ISO 13935-2 (12 kgf)		ISO 13934-2 (15 kgf)		ISO 13937-2 (700 gf)	
	Dikiş açması		Dikiş kopması		Kopma mukavemeti		Yırtılma mukavemeti	
	Boy	En	Boy	En	Boy	En	Boy	En
3 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	7,66	9,99	13,35	15,80	15,96	15	2170	1122
5 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	8,82	5,12	15	15,5	19,88	17,13	2742	1535
10 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4,895	8,52	15,5	16,44	18,03	14,83	2163	1829
üretim	6,3	9,3	9,8	13,3	15,85	15,4	2406	1514

% 100 Polyester dokuma, % 0,027 Dianix Blue CC (Blue 366 ve Green 9 mix) , % 0,48 Balicron Violet 3RL (Violet 63) boyarmaddeleri kullanılarak oluşturulan toplam % 0,506 boyarmadde yüzdesine sahip mor renkli kesha kalitesine ait haslık, renk ve mukavemet sonuçları Çizelge 4.13., 4.14., 4.15., 4.16. ve 4.17.'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Mor renkli kesha kalitesi için yıkama haslığı sonuçları

Yıkama Haslığı	**asetat**	**pamuk**	**naylon**	**polyester**	**akrilik**	**yün**	**renk değişimi**
işlemsiz	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5	5
3 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5	5
Üretim	4/5	4/5	4	4/5	5	5	5

Çizelge 4.14. Mor renkli kesha kalitesi için su haslığı sonuçları

Su Haslığı	**asetat**	**pamuk**	**naylon**	**polyester**	**akrilik**	**yün**	**renk değişimi**
işlemsiz	4/5	4/5	4	4/5	5	5	5
3 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4/5	4/5	4/5	4/5	5	5	5
Üretim	4/5	4/5	4	4/5	5	5	5

Çizelge 4.15. Mor renkli kesha kalitesi için kuru sürtme sonuçları

Kuru sürtme	
işlemsiz	4/5
3 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4/5
üretim	4/5

Çizelge 4.16. Mor renkli kesha kalitesi için renk değerleri

Standart Üretim	**DL**	**DC**	**DH**	**DE**
3 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	0,05	-0,06	0,05	0,10

Çizelge 4.17. Mor renkli kesha kalitesi için mukavemet sonuçları

	ISO 13936-1 (8 kgf 3 mm)		ISO 13935-2 (12 kgf)		ISO 13934-2 (15 kgf)		ISO 13937-2 (700 gf)	
	Dikiş açması		Dikiş kopması		Kopma mukavemeti		Yırtılma mukavemeti	
	Boy	En	Boy	En	Boy	En	Boy	En
3 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	6,5	7,3	12	14,8	14,6	14	1950	1253
Üretim	7,1	7,4	13	14,9	14,8	15	2164	1350

Çizelgelerdeki haslık, mukavemet ve renk değerleri incelendiğinde üretime en yakın sonuçlar 3 dakika ozonlama + 10 dakika soğuk yıkama prosesi ile elde edilmiştir. Üretimde tek redüktif yıkama banyosundan alınan atık suyun KOİ değeri 598 mg/lt iken, 3 dakika ozonlama + 10 dakika soğuk yıkama banyosundan alınan atık suyun KOİ değeri 72 mg/lt çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar, konvansiyonel redüktif yıkama proseslerinde kullanılan kostik ve tiyoüredioksit yerine ozon gazı kullanımının, ozon kendi kendine dekompoze olduğu için, çevre dostu üretim proseslerinin başında yer almasını doğrulamıştır.

4.2.2. Çift redüktif yıkamaya muadil ozonlama işlemi

% 96 Polyester % 4 lycra örme, % 0,7 Stacron Yellow 6GSL (Yellow 114) , % 0,678 Stacron Red S5BLN (Red 167), % 4,62 Stacron Navy S3LSN (Blue 79) boyarmaddeleri kullanılarak oluşturulan toplam % 5,998 boyarmadde yüzdesine sahip lacivert renkli

martin kalitesine ait haslık ve renk sonuçları Çizelge 4.18., 4.19., 4.20. ve 4.21.'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Lacivert renkli martin kalitesi için yıkama haslığı sonuçları

Yıkama Haslığı	asetat	pamuk	naylon	polyester	akrilik	yün	renk değişimi
işlemsiz	1/2	3	1/2	1/2	3/4	3/4	5
10 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	3	4	3	3	4	4	5
20 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	3/4	4	3/4	3/4	4/5	4/5	5
30 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	3	4	3	3	4	4	5
üretim	4	4/5	4	4	4/5	4/5	5

Çizelge 4.19. Lacivert renkli martin kalitesi için su haslığı sonuçları

Su Haslığı	asetat	pamuk	naylon	polyester	akrilik	yün	renk değişimi
işlemsiz	2/3	3/4	2	2/3	3/4	4	5
10 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	3/4	4	2	3/4	4	4	5
20 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4	4/5	3/4	3/4	4	4	5
30 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4	4	2	3/4	4	4	5
üretim	4	4/5	4	4	4/5	4/5	5

Çizelge 4.20. Lacivert renkli martin kalitesi için kuru sürtme sonuçları

Kuru sürtme	
işlemsiz	1
10 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	3/4
20 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4
30 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4
üretim	4/5

Çizelge 4.21. Lacivert renkli martin kalitesi için renk değerleri

Standart üretim	DL	DC	DH	DE
10 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	-0,57	-0,61	0,05	0,87
20 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	-0,23	-0,4	-0,13	0,51
30 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	-0,27	-0,63	-0,11	0,74

Yapılan tüm çalışmalarda patlama mukavemeti 150 kPa'dan büyük çıkmıştır.

% 100 Polyester dokuma % 7 Balicron Black GI (mix) boyarmadde yüzdesine sahip siyah renkli amelia kalitesine ait haslık, renk ve mukavemet sonuçları Çizelge 4.22., 4.23., 4.24., 4.25. ve 4.26.'da verilmiştir.

Çizelge 4.22. Siyah renkli amelia kalitesi için yıkama haslığı sonuçları

Yıkama Haslığı	**asetat**	**pamuk**	**naylon**	**polyester**	**akrilik**	**yün**	**renk değişimi**
işlemsiz	4	4/5	4	4	4/5	4/5	5
3 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4	4/5	4	4	4/5	4/5	5
üretim	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5

Çizelge 4.23. Siyah renkli amelia kalitesi için su haslığı sonuçları

Su Haslığı	asetat	pamuk	naylon	polyester	akrilik	yün	renk değişimi
işlemsiz	3/4	4	3	3/4	4	4	5
3 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	3/4	4	3/4	4	4	4	5
üretim	3/4	4/5	3	3/4	4	4	5

Çizelge 4.24. Siyah renkli amelia kalitesi için kuru sürtme sonuçları

Kuru sürtme	
işlemsiz	4/5
3 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4/5
üretim	4/5

Çizelge 4.25. Siyah renkli amelia kalitesi için renk değerleri

Standart Üretim	DL	DC	DH	DE
3 dak ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	-0.13	-0,35	0,75	0,45

Çizelge 4.26. Siyah renkli amelia kalitesi için mukavamet sonuçları

	ISO 13936-1 8 kgf 3 mm		ISO 13935-2 12 kgf		ISO 13934-2 15 kgf		ISO 13937-2 700 gf	
	Dikiş açması		Dikiş kopması		Kopma mukavemeti		Yırtılma mukavemeti	
	Boy	En	Boy	En	Boy	En	Boy	En
3 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	18,35	17,85	>25	22,89	>50	21,03	1442	1412
Üretim	18,05	N/F	18,07	17,18	49,92	24,83	3063	1150

Çizelgelerdeki haslık, mukavemet ve renk değerleri incelendiğinde üretime en yakın sonuçlar, kalite bazında 3-20 dakika ozonlama + 10 dakika soğuk yıkama prosesi ile

elde edilmiştir. Ozonlama süreleri kalitenin elastan içerme durumuna ve boyarmadde yapısına göre değişim göstermektedir. Üretimde çift redüktif yıkama yapılan koyu renklerde ilk yıkama banyosundan alınan atık suyun KOİ değeri 774 mg/lt çıkmıştır.

4.3. Reaktif boyama sonu yıkama işleminin ozonlama ile yapılması

Akbaşlar Tekstil Enerji San. Ve Tic. A.Ş. Boya Baskı İşletmesinde viskon kumaşlar reaktif boyama sonrası boyarmadde yüzdelerine bağlı olarak tek ya da çift sabun yıkama işlemine tabi tutulurlar. Yapılan çalışmalarda üretimde konvansiyonel yöntemle tek sabun yıkama yapılan orta renkler seçilmiş ve ozonlama prosesleriyle karşılaştırılmıştır.

% 96 viskon % 4 lycra örme, % 0,5292 Remazol Gelb GL ve % 2,25 Drimaren Turkish CLB boyarmadde yüzdesine sahip yeşil renkli laura kalitesine ait haslık sonuçları Çizelge 4.27., 4.28. ve 4.29.'da verilmiştir.

Çizelge 4.27. Yeşil renkli laura kalitesi için yıkama haslığı sonuçları

Yıkama Haslığı	asetat	pamuk	naylon	polyester	akrilik	yün	renk değişimi
işlemsiz	2	1/2	4	4/5	4/5	4/5	4/5
10 dak. soğuk yıkama + 5 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	3/4	2	4/5	4/5	4/5	4/5	5
üretim	4/5	4	4/5	4/5	4/5	4/5	5

Çizelge 4.28. Yeşil renkli laura kalitesi için su haslığı sonuçları

Su Haslığı	asetat	pamuk	naylon	polyester	akrilik	yün	renk değişimi
işlemsiz	2	1	2	2	1	1	4/5
10 dak. soğuk yıkama + 5 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	3	1/2	3/4	4	3/4	3/4	4/5
üretim	4/5	4	4/5	4/5	4/5	4/5	5

Çizelge 4.29. Yeşil renkli laura kalitesi için kuru sürtme sonuçları

Kuru sürtme	
işlemsiz	3/4
10 dak. soğuk yıkama + 5 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4/5
üretim	5

% 96 viskon % 4 lycra örme, % 0,8 Drimaren Yellow CL2R, % 2,08 Drimaren Red CL5B ve % 0,0046 Drimaren Blue HFRL boyarmadde yüzdesine sahip kırmızı renkli laura kalitesine ait haslık sonuçları Çizelge 4.30., 4.31. ve 4.32.'de verilmiştir.

Çizelge 4.30. Kırmızı renkli laura kalitesi için yıkama haslığı sonuçları

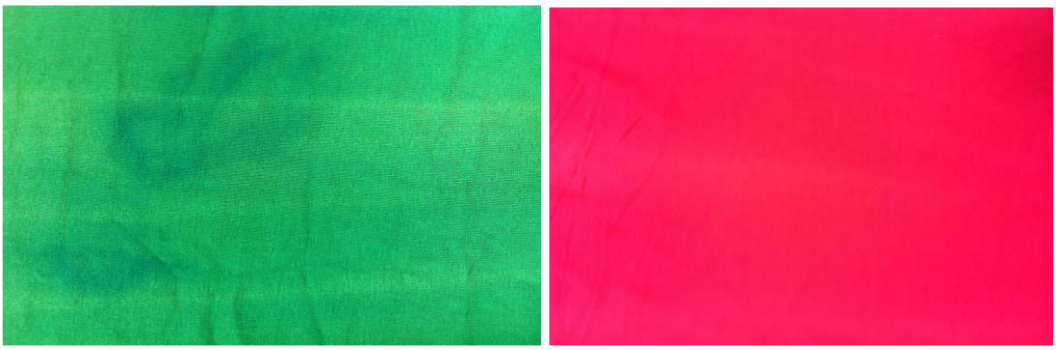
Yıkama Haslığı	**asetat**	**pamuk**	**naylon**	**polyester**	**akrilik**	**yün**	**renk değişimi**
işlemsiz	4/5	4	4/5	4/5	4/5	4/5	5
10 dak. soğuk yıkama + 5 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4/5	4/5	4/5	4/5	5	5	5
üretim	4/5	4/5	4/5	4/5	5	5	5

Çizelge 4.31. Kırmızı renkli laura kalitesi için su haslığı sonuçları

Su Haslığı	**asetat**	**pamuk**	**naylon**	**polyester**	**akrilik**	**yün**	**renk değişimi**
işlemsiz	3	1/2	3	4	3	3	4/5
10 dak. soğuk yıkama + 5 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
üretim	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5

Çizelge 4.32. Kırmızı renkli laura kalitesi için kuru sürtme sonuçları

Kuru sürtme	
işlemsiz	4/5
10 dak. soğuk yıkama + 5 dak. ozonlama + 10 dak. soğuk yıkama	5
üretim	5



Şekil 4.1. Ozonlama işlemi sonrası kumaşlarda meydana gelen abraj görüntüsü

Yapılan çalışmalarda konvansiyonel reaktif yıkamaya muadil 10 dakika soğuk yıkama + 5 dakika ozonlama + 10 dakika soğuk yıkama prosesi denenmiş ancak kumaş üzerinde Şekil 4.1'de görülen açıklık koyuluk (abraj) görüntüsü meydana gelmiştir. Bunun nedeninin polyesterden farklı olarak reaktif boyarmaddenin lif içerisinde korunmuyor olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. SONUÇ

00688.STZ.2010–2 no'lu ve "Tekstil Terbiye İşletmesinde Ozon Kullanımı Entegrasyonu" başlıklı San-Tez projesi kapsamında desteklenen doktora tezinde (Akbaşlar Tekstil Enerji San. Ve Tic. A.Ş. - Uludağ Üniversitesi) laboratuar tipi jet makinesinin ozon jeneratörü ile entegrasyonunun sağlanmasıyla oluşturulan prototip sistemle viskonda ağartma, polyesterde dispers yıkama prosesleri ozonla soğuk suda yardımcı kimyasal madde kullanılmaksızın başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Klasik viskon ağartma prosesinde 1 g/l sıvı alkali, 1,5 g/l hidrojen peroksit ve 1 g/lt kombin kasar kimyasalı ile 174 dakika süren proses, ozonlama ile 55 dakikada gerçekleştirilerek ozonla viskon ağartmada klasik sisteme göre % 68 süre, % 77 maliyet tasarrufu ve çevresel atık yükünde % 73 azalma sağlanmıştır. Kumaşlarda en az mukavemet kaybı ve en iyi beyazlık derecesinin eldesi için, yüksek ozon konsantrasyonu ve düşük uygulama süresinin gerektiği tespit edilmiştir. Hedeflediğimiz beyazlık dereceleri göz önünde bulundurulduğunda baskı altı kasarın yerine 10 dakika ozonlama işlemi, düz boya kasarın yerine 20 dakika ozonlama işlemi yeterli olacaktır. Bu sayede konvansiyonel proseslerde kullanılan ve yüksek atık yükü oluşturan hidrojen peroksit ve sıvı alkali yerine çevre dostu ozon gazı endüstriyel alanlarda giderek yaygınlaşacaktır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliğinde değişiklik yapılarak, Madde 8, B.2.3.4. bölümünde "Ağartma işlemlerinde mümkün olan durumlarda daha düşük sıcaklıklarda aktive olan, daha düşük çevresel etki oluşturan yenilikçi kimyasallar kullanılmalıdır (ozonla, enzimlerle ağartma)", 10.03.2015 tarihinde Resmi Gazetede yayınlanmıştır.

Polyester boyama sonrası yıkama işleminde ise klasik yıkama prosesinde 3 g/l kostik ve 4 g/l tiyoüredioksit ile 129 dakika süren proses, ozonlama ile 42 dakikada gerçekleştirilerek % 67 süre, % 85 maliyet tasarrufu ve çevresel atık yükünde % 90 azalma sağlanmıştır. Haslık, mukavemet ve renk değerleri incelendiğinde, tek redüktif yıkama işlemine en yakın sonuçlar 3 dakika ozonlama + 10 dakika soğuk yıkama prosesi ile, çift redüktif yıkama işlemine en yakın sonuçlar ise, kalite bazında 3-20 dakika ozonlama + 10 dakika soğuk yıkama prosesi ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, konvansiyonel redüktif yıkama proseslerinde kullanılan kostik ve tiyoüredioksit yerine ozon gazı kullanımının, ozon kendi kendine dekompoze olduğu için, çevre dostu üretim proseslerinin başında yer almasını doğrulamıştır.

Reaktif boyama sonrası yıkama çalışmalarında ozonlama etkisiyle kumaş üzerinde meydana gelen abraj sebebiyle başarılı bir sonuç alınamamıştır. Bu durumun sebebinin polyesterden farklı olarak reaktif boyarmaddenin lif içerisinde korunmuyor olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yenilikçi bir kimyasal olarak ozonun tekstil terbiye endüstrisine kazandırılması ile piyasada mevcut olmayan ekonomik ve ekolojik prosesler oluşturularak, elde edilen bilgi birikimi ve bilimsel Ar-Ge deneyiminin endüstriyel uygulamada proses inovasyonuna dönüştürülmesi sağlanmıştır.

Yeni ozon proseslerinin sağladığı süre, su, atık yükü ve enerji tasarrufları yüksek olduğu için ozonun tekstil terbiye işletmeleri tarafından kabulü ve uygulaması kaçınılmazdır. Bu avantajları yanında günümüz çevreye duyarlı toplumunda bu prosesleri uygulayan terbiye işletmeleri üst sınıf müşteri portföyüne hitap etme olanağı ve rekabet üstünlüğü kazanacaktır.

KAYNAKLAR

Alaton, I.A., Kornmüller, A., Jekel, M.R. 2002. Ozonation of spent reactive dye-baths: effects of HCO_3^{-2}/CO_3^{-2}alkalinity, *Journal Of Environmental Engineering*, 128(8), 689-696.

Alaton, I. 2007a. Degradation of a Commercial Textile Biocide With Advanced Oxidation Processes And Ozone. *Journal of Environmental Management*, 82, 145–154.

Alaton, I. 2007b. Degradation of Xenobiotics Originating From The Textile Preparation, Dyeing and Finishing Industry Using Ozonation and Advanced Oxidation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 68, 98–107.

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, 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, 2007. Ozone molecule formula. 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, 2011. Sentetikleri boyama 1. Ankara, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sentetikleri%20Boyama%201.pdf- (Erişim Tarihi: 19.10.2013).

Anonim, 2012. Polyester mamüllerinin jetlerde boyanması (HT). http://www.temyad.com/app/kullanici-dosyalari/POLYESTER%20MAM%C3%9CLLER%C4%B0N%20JETLERDE%20BOYANMASI.pdf- (Erişim Tarihi: 14.10.2013).

Anonim, 2014. Ozone. http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone- (Erişim Tarihi: 25.01.2014).

Anonim, 2014. Ozone generation. http://www.lenntech.com/library/ozone/generation/ozone-generation.htm- (Erişim Tarihi: 30.01.2014).

Atav, R., Delituna, A. 2010. Poliester liflerinin dispers boyarmaddelerle boyanması sırasında kullanılan yardımcı maddeler. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4 (1): 73-83.

Balcı, O. 2007. Alkali ve asidik şartlarda redüktif yıkamanın haslık performansına etkilerinin karşılaştırılması. II. Tekstil Teknolojileri ve Tekstil Makineleri Kongresi, 19-20 Ekim 2007, Gaziantep.

Balcı, 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. 2010. Renk uzayı kavramı ve renk farkı anlamı. Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Ders Notları, Bursa.

Cegarra, J., Puente, P., Valledeperas, J. 1992. The dyeing of textile materials, The techniques of applications. Nuova Oflito, Italy, 703 pp.

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.

Cooper, P. 1993. Removing Colour From Dyehouse Waste Waters – A Critical Review of Technology Available. *JSDC*, 109(3), 97-100.

Correia, V.M., Stephonson, T. and Judd, S.J. 1994. Characterisation of Textile Wastewaters-A Rewiev. *Environmental Technology*, 15: 917-929.

Dawson, T. L., Todd, J. C. 1979. Dye Diffusion-The Key to Efficient Coloration. *J. Soc. Dyers Colour*, 95 (12): 417–426.

Eremektar, G., Selcuk, H., Meric, S. 2007. Investigation of The Relation Between COD Fractions And The Toxicity in a Textile Finishing Industry Wastewater: Effect of Preozonation. *Desalination*, 211, 314–320.

Eren, H.A. 2006. Afterclearing by ozonation: a novelapproach for disperse dyeing of polyester. *Color. Technol.*, 122: 329–333.

Eren, H.A., Aniş, P. 2006. Tekstil boyama atıksularının ozonlama ile renk giderimi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 11 (1): 53- 60.

Eren, H.A., Kurcan, P., Aniş, P. 2007. Boyamada kullanılan yardımcı kimyasal maddelerin reaktif boyam atıksularının ozonlamasına etkileri. *Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 12 (2): 83- 91.

Eren, H.A., Aniş, P. ve Kurcan, P. 2007b. Boyarmadde Hidrolizinin Reaktif Boyama Atık Sularının Ozonlama ile Renk Giderimine Etkilerinin Araştırılması. *Tekstil ve Konfeksiyon,* 2, 119-125.

Eren, H.A., Aniş, P. ve Kurcan, P. 2007c. Boyamada Kullanılan Yardımcı Kimyasal Maddelerin Reaktif Boyama Atık Sularının Ozonlanmasına Etkileri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 12(2), 43-60.

Eren, H.A., Aniş,P., Günay, A.B., ve Demirhan, Ö. 2008. Pamuklu Dokuma Kumaşın Ozon İle Oda Sıcaklığında Ağartılması Olanağının Araştırılması. *IV Ulusal Tekstil Boya ve Kimyasalları Kongresi*, 30-31 Ekim 2008 Denizli, Pamukklae Üni-BUTAL, Denizli.

Eren, H.A., Aniş, P. 2009. Surface Trimer Removal Of Polyester Fıbres By Ozone Treatment. *Textile Research Journal*, 79(7), 652-656.

Eren, H.A., Aniş, P., Yılmaz, D., Kirişçi, Ş. ve İnkaya, T. 2009. Pamuğun Ağartılmasında Lakkaz, Ozon Ve Hidrojen Peroksitin Kombine Kullanımı. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 19 (4)299-303.

Öztürk D., Eren, H.A. 2010. Tekstil Terbiyesinde Ozon Kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*

Gönül, N. 2000. Yüzey kimyası ve kolloidler. Ankara Üniversitesi, Ankara, 98 s.

Grau, P. 1991. Textile industry wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 24: 97-103.

Ichimura, H., Umehara, R., Karakawa, T., Oshima, K., Nakase, T. 2005. Animal fiber superior in shrink proofing and method for preparation thereof. US Patent 6969409.

İnkaya, T., Eren, H. A., Aniş, P. 2008. Pamuk Ağartılmasında Lakkaz/Mediatör Sistemlerinin Oksijen ve Ozon ile Kombine Edilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14 (1), 77-82.

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).

Koh, J. 2011. Dyeing with disperse dye: Textile dyeing, Editör: Hauser, P., Konkuk University, South Korea, pp:195-220.

Lee, M., Lee, M, S., Wakida, T., Tokuyama, T., Inoue, G., Ishida, S., Itazu, T., Miyaji, Y. 2006. Chemical Modification Nylon 6 and Polyester Fabrics by Ozone-Gas Treatment. *Journal of Applied Polymer Science*, 100, 1344–1348

O'Neill, C., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L. 1999. Colour In Textile Effluents-Sources, Measurement, Discharge Consents And Simulation: A Review. *Journal Of Chemical Technology And Biotechnology*, 74, 1009-1018.

Öztürk, D., Eren, H.A. 2010. Tekstil terbiyesinde ozon kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 15 (2): 37-51.

Pandrangi, L., Morrison, G. 2008. Ozone Interactions With Human Hair: Ozone Uptake Rates and Product Formation. *Atmospheric Environment*, 42, 5079–5089.

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.

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.

Perincek, S., Duran, K., Korlu, A., Bahtiyari, I. 2007a. An Investigation in the Use of Ozone Gas in the Bleaching of Cotton Fabrics. *Ozone: Science and Engineering*, 29, 325–333.

Perincek, S., Bahtiyari, İ., Körlü, A., Duran, K. 2007b. Ozone Bleaching of Jute Fabrics. *AATCC*, 7(3), 34-39.

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.

Prabaharan, M., Rao, J.V., Nayar, R., Selvakumar, N. 2000. A Study on The Advanced Oxidation of a Cotton Fabric By Ozone. *JSDC* , 116(3), 83-86.

Prabaharan, M., Rao, J.V. 2001. Study on Ozone Bleaching of Cotton Fabric Process Optimisation, Dyeing And Finishing Properties. *Coloration Technology*, 117(2), 98-103.

Prabaharan, M., Rao, J.V. 2003. Combined Desizing, Scouring and Bleaching of Cotton Using Ozone. *Indian J. of Fibre & Tex. Res*., 28(12), 437-443.

Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P. 2001. Remediation of dyes in textile effluent: A critical rewiev on current treatment technologies with a proposed alternative,*Bioresource Technoloy*, 77: 247-255.
Sando, Y., Nakano, E., Ishidosfiro, H. and Sando, K. 1995. Method and apparatus for the pretreatment of a cloth. US Patent 5407446.
Sargunamani, D., Selvakumar, N. 2007. Effects of Ozone Treatment on the Properties of Raw and Degummed Tassar Silk Fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 104, 147–155.
Selçuk, H., Eremektar, G., Meriç, S. 2006. The Effect of Pre-Ozone Oxidation on Acute Toxicity and Inert Soluble COD Fractions of a Textile Finishing Industry Wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, B137, 254–260.
Senthilkumar, M., Muthukumar, M. 2007. Studies on The Possibility of Recycling Reactive Dye Bath Effluent After Decolouration Using Ozone. *Dyes and Pigments*, 72, 251-255.
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.
Song, S., He, Z., Qiu, J., Xu, L., Chen, J. 2007. Ozone Assisted Electrocoagulation For Decolorization of C.I. Reactive Black 5 in Aqueous Solution: an Investigation of The Effect of Operational Parameters. *Separation and Purification Technology*, 55, 238–245.
Srinivasan, S.V., Rema, T., Chitra, K., Sri Balakameswari, K., Suthanthararajan, R., Uma Maheswari, B., Ravindranath, E., Rajamani, S. 2009. *Desalination*, 235, 88–92.
Sundrarajan, M., Vishnu, G., Joseph, K. 2007. Ozonation of Light-Shaded Exhausted Reactive Dye Bath For Reuse. *Dyes and Pigments*, 75, 273-278.
Tarakçıoğlu, I. 1994-1995. Tekstil Boyacılığı Cilt II. Ege Üniversitesi, İzmir, 373.
Uchiyama, T., Kobayashi, H., Znad, H., Tokumura, M., and Kawase, Y. 2007. Dynamic Performance of Ozonation Treatment for Nonionic Surfactants (Polyoxyethylene Alkyl Ether) in a Bubble Column Reactor. *International Ozone Association, Ozone: Science and Engineering*, 29, 65–72.
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.
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.

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.

Yong, K., Wu, J., Andrews, S. 2005. Heterogeneous Catalytic Ozonation of Aqueous Reactive Dye. *Ozone: Science and Engineering, International Ozone Association*, 27, 257-263.

Yurdakul, A. 2006. Boya baskı esasları. Ege Üniversitesi, İzmir, 148 s.

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	: Seda Gündoğan
Doğum Yeri ve Tarihi	: Balıkesir - 15.09.1984
Yabancı Dili	: İngilizce
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)	
Lise	: Rahmi Kula Anadolu Lisesi (1995-2002)
Lisans	: Uludağ Üniversitesi (2002-2006)
Yüksek Lisans	: Uludağ Üniversitesi (2007-2010)
Doktora	: Uludağ Üniversitesi (2011-Halen)
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl	: Akbaşlar Tektil Enerji San. Ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Mühendisi 11/2009 - 06/2012 Akbaşlar Tektil Enerji San. Ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Sorumlusu 06/2012 - Halen
İletişim (e-posta)	: seda.gundogan@akbaslar.com