



## Boyama Atık Suyunun Ozonlanarak Boyamada Tekrar Kullanılması

İdil YİĞİT<sup>1</sup>, Semiha EREN<sup>2</sup>, Cansu BASRIK<sup>3</sup>, Kadriye KUTLAY<sup>3,4</sup>,  
Nejla Değirmenci<sup>3</sup>, Hüseyin Aksel EREN<sup>5</sup>

<sup>1</sup>B.U.Ü., Mühendislik Fakültesi, TekstilMühendisliği Bölümü, Bursa, TURKEY, ORCID ID 0000-0002-1552-8612

<sup>2</sup>B.U.Ü., Mühendislik Fakültesi, TekstilMühendisliği Bölümü, Bursa, TURKEY, ORCID ID 0000-0002-2326-686X

<sup>3</sup>Berteks Tekstil A.Ş., Bursa, TURKEY,

<sup>4</sup>B.T.Ü., Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Polimer Malzeme Müh. Bölümü, ORCID ID 0000-0002-7071-9534

<sup>5</sup>B.U.Ü., Mühendislik Fakültesi, TekstilMühendisliği Bölümü, Bursa, TURKEY, ORCID0000-0003-3908-5139

Corresponding Author: İdil YİĞİT, [idyigit@uludag.edu.tr](mailto:idyigit@uludag.edu.tr)

### Özet

Dünyadaki temiz su kaynaklarının tükenmesi nedeniyle; suyun daha az kullanılması ya da tekrar kullanılabilir hale gelmesi doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından çok önemlidir. Bu nedenle yüksek miktarda su kullanılan sektörlerde su tasarrufu sağlanma konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada; dispers boyama sonrası oluşan atık suyun ozonlanarak tekrarlı kullanımını sağlamak amaçlanmıştır. Boyama sonrasında toplanan atık su ozonlandıktan sonra tekrar poliester ipliklerin boyanması için kullanılmıştır. Bu işlem toplamda 3 döngü şeklinde devam etmiştir. Atık sular 45 dakika süreyle 5 l/dk ozon akış hızında ozonlanmıştır. Her döngüde ozonlanmış su ile boyama yapılmış, boyanmış numunelerin renk farkı, kopma mukavemeti (kN) ve haslık değerleri, elde edilen suların ise KOİ (mg/l) ve atık su absorbansı (nm) değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar; ozonlamanın atık sularda renk sökme için kullanılabilir bir yöntem olduğunu aynı zamanda rengi sökülmüş sular ile numune rengine zarar verilmeden tekrar boyama yapılabileceğini göstermiştir.

### Article Info

Research Article

Received: 23/02/2021

Accepted: 28/03/2021

### Anahtar Kelimeler

Ozon, Atık su,  
Dispers Boyama,  
Çevre Dostu Üretim

### Öne Çıkanlar

-Tekstil işletmelerinde kullanılan yüksek miktardaki suyun geri dönüştürülerek tekrar prosese katılması

-Kullanılan suların doğal kaynaklara zarar vermeyecek şekilde atılmasının sağlanması

-Ozon gazının tekstil işletmelerinde kullanılmasına yönelik yenilikçi bir uygulama

## Ozonation of Dyeing Waste Water for Reusing in Dyeing

### Abstract

*Using water less or making it reusable is very important due to the scarcity of clean water resources in the world, for the sustainability of natural resources. For this reason, studies are carried out to ensure water savings in sectors that is used high amounts of water. It is aimed to ensure the reused of the wastewater formed after disperse dyeing by utilising ozone in this study. Collected wastewater after dyeing was ozonated and it was used for dyeing polyester yarns again. This process continued in 3 cycles in total. The wastewater was ozonated for 45 minutes at an ozone flow rate of 5 l/min. Dyeing with ozonated water was done in each cycle and colour differences, tensile strength (kN) and fastness values of samples and COD (mg/l), waste water absorbance (nm) values were measured.*

### Keywords

*Ozone, Wastewater, Disperse Dyeing, Environmentally-friendly Manufacture*

### Highlights

- Recycling a large amount of water used in textile industries and re-using them to the process.
- Ensuring that the water used is disposed of without damaging natural resources.
- An innovative application for the use of ozone gas in textile industries

### 1. Giriş / Introduction

Tekstil endüstrisi su kullanımının çok fazla olduğu bir sanayi dalıdır. Özellikle boya ve baskı gibi terbiye işlemlerinde yüksek miktarda temiz su kullanılmakta, bu işlemlerde kullanılan boyarmadde ve pigmentler proses sonunda doğal su yollarına atılmaktadır. Hem proses sırasında kullanılan temiz su oranının fazla olması hem de atık suların temiz su yollarına karışması çevreye ciddi anlamda zarar vermekte, ekosistemi olumsuz etkilemektedir. Bu durumu engellemek için pek çok yenilikçi çalışma yapılmaktadır[1-3].

Ozon gazı; yüksek oksidasyon potansiyeli (2.07V) ile pek çok tekstil prosesinde kullanılabilir. Özellikle, renkle ilişkilendirilen çift bağları parçaladığı için, atık sularda renk giderimi ve atık yükünü azaltma, ozonlanarak rengi giderilmiş suyun boyamada kullanıldığı çalışmaların literatürde yer aldığı görülmektedir. Aynı zamanda; ozon oksidatif özelliği ile dispers boyama sonrası yapılan indirgen temizleme işlemi yerine de kullanılabilen bir gazdır. Böylelikle indirgen temizlemede kullanılan kimyasaldan da tasarruf sağlamaktadır[2-11].

Poliester, mükemmel termal, mekanik ve kimyasal özelliklere sahiptir. Bu nedenle de en çok kullanılan sentetik elyafıdır. Küresel sentetik elyaf üretiminin % 51.5'ini oluşturmaktadır[16-18]. Pek çok alanda tercih edilen poliesterin; giyim sektöründe, ev tekstilinde ve teknik tekstillerde yaygın bir kullanımı vardır [19-21].

Bu çalışmanın amacı; dispers boyama sonrasında atık suyun ozonlanarak yeni bir boyama için kullanılabilir olmasıdır. Bu çalışmada; poliester hammaddeli ev tekstili üretimi yapan Berteks Tekstil A.Ş. ile Bursa Uludağ Üniversitesi ortak bir çalışma yürütmüştür.

Boyama işlemleri Berteks Tekstil A.Ş.'de, ozonlama işlemleri Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Laboratuvarlarında yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem / Material and Method

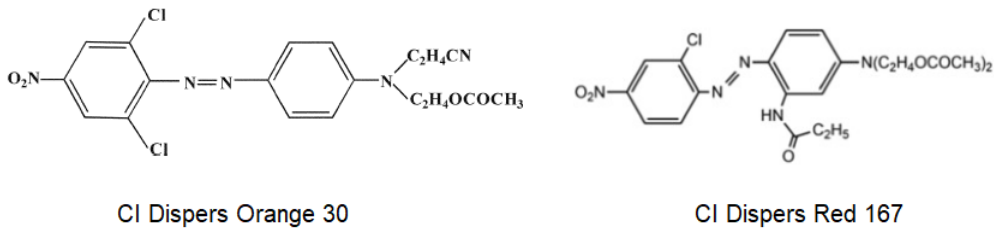
### 2.1 Materyal / Material

Çalışmada; poliester iplikler (fikse olmamış 50 denye 36 filaman 800 t/m FDY) karışım dispers boyarmadde ile numune boyama makinesinde (Thies marka Farbekessel model) boyanmıştır. Kullanılan boyarmadde karışım oranı Tablo 2.1'de verilmiştir. Dispers boyama için % 1.2 dispergator (Levanol HDL), %0.4 egalizatör (Segacar D Liq), 0.05 g/l asit tampon(Exapon BHL) kullanılmıştır. Poliester ipliklerin boyanması için %2.5'lik boyama yapılmıştır. Boyarmaddelerin moleküler yapıları Şekil 2.1'de verilmiştir.

Hem konvansiyonel boyamada hem de ozonlanmış su ile yapılan boyamada standart boya formülasyonu kullanılmıştır. Seçilen formülasyonda, ticari uygulamada yaygın olarak kullanılan bir boya karışımı tercih edilmiştir. Çalışmanın beraber yürütüldüğü Berteks Tekstil A.Ş.'de yapılan boyamalarda boyaların ve kimyasalların miktarları aynı oranda kullanılmıştır. Ozonlanmış sular ile yapılan boyamalarda herhangi bir oransal değişim uygulanmamıştır.

**Tablo 2.1** Çalışmada kullanılan boyarmadde isimleri ve karışımın oranları

Boyarmadde Ticari İsim	Boyarmadde CI	Karışım Oranı (%)
Dianix Yellow Brown S-2R	CI Disperse Orange 30	0.979
Dianix Rubin S-2G % 150	CI Disperse Red 167	0.295
Terasil Blue LF	Blue Lf mix	1.2



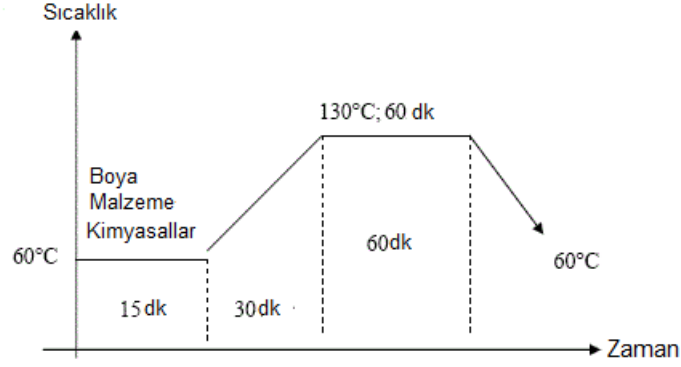
**Şekil 2.1** Çalışmada kullanılan boyalarının moleküler yapıları [22-23].

Dispers boyama atık sularına; Ataç BB01F (İstanbul, Türkiye) bobin boyama makinesinde ozon gazı ile renksizleştirme işlemi yapılmıştır. Ozon gazı, özel bir üretim yöntemi ile Ataç bobin boyama makinesine modifiye edilmiştir. Ozon gazı; Opal PRO DO25 O2-PRODOZON (Ankara, Türkiye)'de, 25 g/s kapasite ile üretilmiştir.

## 2.2 Yöntem / Method

### 2.2.1 Boyama

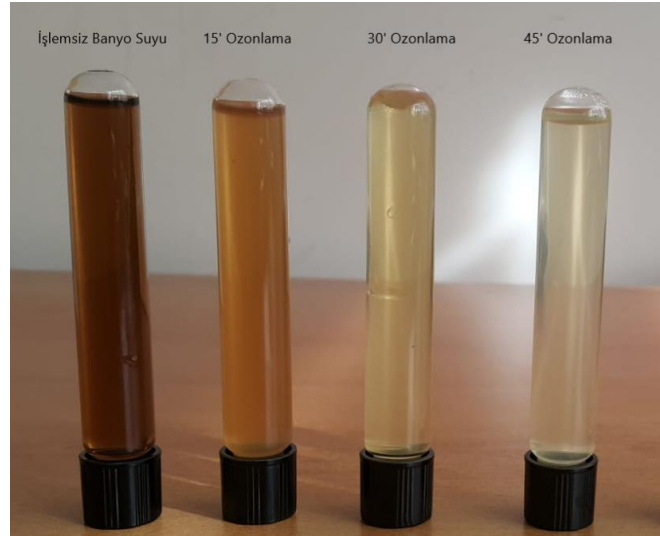
Bu çalışmada; poliester ipliklerin boyanması için geleneksel dispers boyama yöntemi kullanılmıştır. Boyama diagramı Şekil 2.2'de verilmiştir. Boyama 1:15 flote oranında yapılmıştır. Boyama sonrası oluşan atık su, ozonlama işlemi için toplanmıştır. Boyama işlemleri sonrasında indirgen temizleme işlemi yapılmamıştır.



Şekil 2.2 Poliester ipliğin dispers boyarmadde ile boyama diyagramı

### 2.2.2 Ozonlama

Poliester ipliklerin dispers boyarmadde ile boyanması sonrası oluşan atık su; 45 dk, 5 l/dak ozon akış hızı ile ozonlanmıştır. Farklı ozonlama sürelerinden sonra numune banyo suyuna ait görüntüler Şekil 2.3'de verilmiştir.

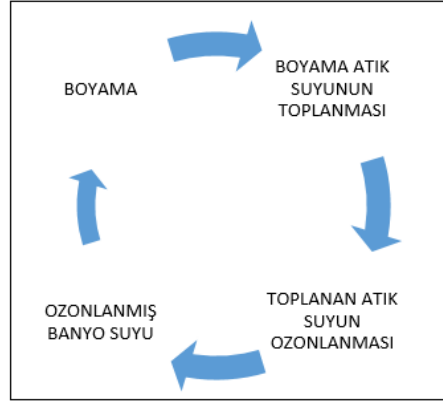


Şekil 2.3 Farklı ozonlama sürelerinden sonra dispers boyama banyo suları

### 2.2.3 Ozonlanmış suyun tekrar boyama için kullanımı / Use of ozonated water for repeated dyeing

Çalışmanın amacı, dispers boyama banyosu suyunun ozonlanarak tekrar boyama için kullanılmasıdır. Banyo atık sularının ozonlama ile tekrar kullanıldığı işlem döngüsü Şekil 2.4'de verilmiştir. Aynı banyo suyunun ozonlanarak kullanılması ile yapılan boyama

işlemi toplam 3 kez tekrarlanmıştır. Tekrar sayısı; boyamalar sonrası elde edilen numunelerin referans numuneye göre ölçülen renk farkı ( $\Delta E$ ) değerindeki değişime bağlı olarak ayarlanmıştır. Referans numune temiz su ile yapılan ilk boyama sonunda elde edilen numunedir.



**Şekil 2.4** Boyama atık sularının ozonlanarak tekrar kullanımının sağlandığı işlem döngüsü

**Tablo 2.2** Çalışmada kullanılan prosesler

Proses Sırası	Proses İsmi
1.	Boyama Banyosu Atık Suyun Toplanması
2.	Ozonlama
3. <b>(1. Döngü)</b>	Ozonlanmış Su ile dispers Boyama işlemi
4.	1. Döngü ile yapılan suyun toplanması
5.	1. Döngü suyunun ozonlanması
6. <b>(2. Döngü)</b>	Ozonlanmış Su ile dispers Boyama işlemi
7.	2. Döngü ile yapılan suyun toplanması
8.	2. Döngü suyunun ozonlanması
9. <b>(3.Döngü son)</b>	Ozonlanmış Su ile dispers Boyama işlemi

#### 2.2.4 Renk farkı ölçümleri

Numunelerin renk farkı değerleri ( $\Delta E$ ) Datacolor UV Spektrofotometrede CMC (2:1) renk uzayında ölçülmüştür.

#### 2.2.5 Haslık testleri

Numunelere yıkama, sürtme ve ışık haslığı testleri yapılmıştır. Numunelerin yıkama haslığı testleri; ISO 105:C06 standardına göre iki farklı sıcaklıkta (40 °C- 60 °C) Termal marka test cihazında yapılmıştır. Sürtme haslığı testleri, ISO 105-X12 standardına göre

Paramount marka CrockMeter i8 model cihazla yapılmıştır. Işık haslığı testleri, ISO 105 B02 standardına göre Q-Lab marka Q-Sun model test cihazında yapılmıştır. Numunelerin ışığa karşı dayanımı 12, 48, 72 saat sonunda ayrı ayrı mavi yün skala kullanılarak değerlendirilmiştir. ▸

### 2.2.6 Kopma mukavemeti testi

Numunelere kopma mukavemeti testi, EN ISO 2062 standartlarına göre James&Heal marka TITAN 3 model test cihazında 120 N kuvvet altında yapılmıştır.

### 2.2.7 KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) ölçümleri

Ozonlanan boyama sularının kirlilik derecesini belirleyebilmek için her işlem sonrası alınan numunelerin KOİ (mg/l) değerleri standart titrimetric metoda göre hesaplanmıştır (Standard Methods 5220 C: Closed Reflux, Titrimetric Method, APHA, 19th edn, American Public Health Association, 1995).

### 2.2.8 Banyo sularının absorbans ölçümleri

Boyama banyolarının optik absorbansı her işlemin başında ve sonunda SPECTROQUANT PHORA 300M cihazında ölçülmüştür. Boyama banyosunun rengini belirlemek için (ADMI 10) 10 nm aralıklarla 400 ile 700 nm arasındaki boya banyosu çıkış suyunun ortalama değeri hesaplanmıştır. Ölçümlerde numuneler 1:10 seyreltilmiştir. Renk giderme (%) oranları Denklem 1 ile ölçülmektedir.

$$\text{Rensizleştirme (\%)} = [(A - A_0) / A_0] \times 100 \quad 1$$

*A = Ozonlanmış boya banyosu atığının ortalama absorbansı (nm)*

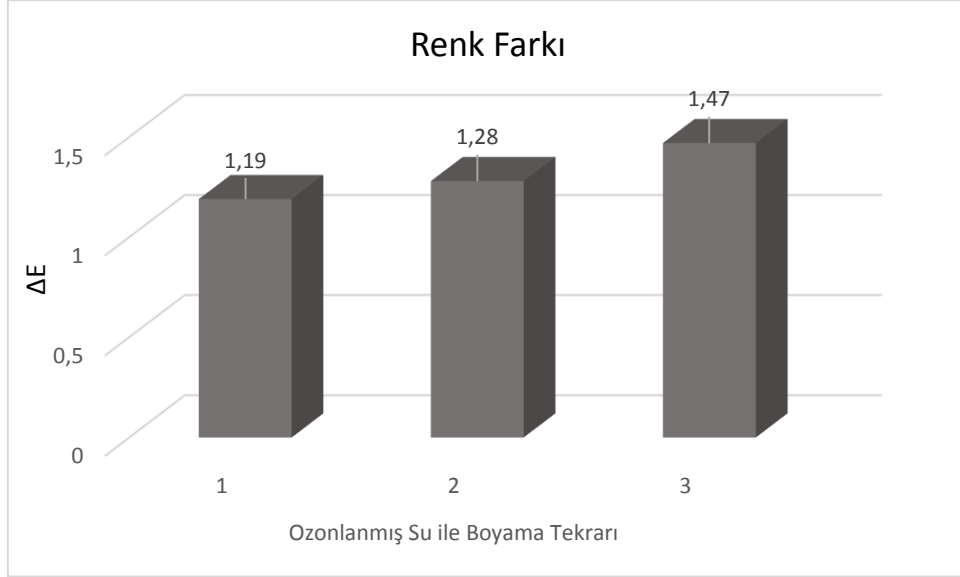
*A<sub>0</sub> = Boya banyosu atığının ortalama absorbansı (nm)*

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1 Renk Farkı Ölçüm Sonuçları

Boyama banyo suyunun ozonlanarak tekrar boyamada kullanımlarının numunenin rengi üzerindeki etkisini görebilmek ΔE değerleri ölçülmüştür. ΔE değerinde; temiz su ile boyanmış numuneler referans alınmıştır. 1., 2. ve 3. döngü sonucunda boyanan numunelerin ΔE değerleri Şekil 3.1’de verilmiştir. Şekil 3.1 incelendiğinde; 1. ozonlanmış banyo suyu ile yapılan boyamada numunenin renk farkı değerinin ΔE= 1,19 olduğu görülmektedir. Farklı şartlar arası renk farkı değerlerinde genel olarak ΔE <1 kabul kriteri olarak kullanılır. Ancak bu renk farkı değeri; sudan yüksek oranda tasarruf sağlanan bir proses için kabul edilebilir bir değerdir. Aynı zamanda işletme şartlarında bobin boyama prosesin de tüm şartlar mümkün olduğunca aynı ayarlanmış olsa bile kazanlar arasında mutlaka bir miktar renk farkı görülmektedir. İlk boyamanın ardından tekrar ozonlanarak kullanılmaya devam eden boyama banyosu ile yapılan 2. ve 3. tekrarlı boyamalarda renk farkı değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Ancak 3. Boyamanın sonunda numunenin

renğin CIE L\* a\* b\* renk uzayında b ekseninde negatif alanda olduğu görülmüş, yapılan subjektif değerlendirmede de rengin maviye(-b) kaydığı belirtilmiştir. Bu nedenle 3. tekrardan sonra boyama banyosunun kullanılmayacağına karar verilmiştir. Boya banyosundaki kimyasal miktarının optimizasyonu ya da ozonlama prosesindeki değişikliklerle bu döngünün arttırılabileceği düşünülmüştür.



Şekil 3.1 Ozonlanmış su ile boyanan numunelerin renk farkı değerleri

### 3.2 Haslık Ölçüm Sonuçları

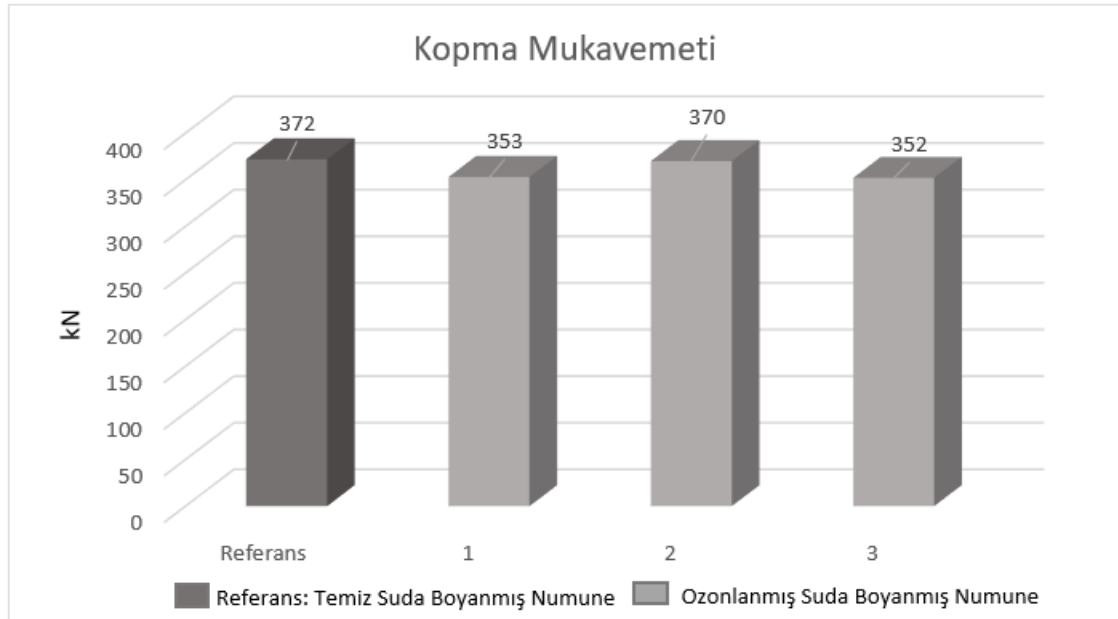
Numunelere, her boyama sonrasında sürtme, yıkama ve ışık haslığı testleri yapılmıştır. Yapılan haslık ölçümlerine ait sonuçlar Tablo 3.1'de verilmiştir. Tablo 3.1 incelendiğinde elde edilen yaş haslık değerleri kalite referanslarında kabul edilebilir değerler içindedir. Boyamalar sonrasında redüktif yıkama yapılmamasına rağmen numunelerin yaş haslık değerleri başarılıdır. Işık haslığı genel olarak kullanılan boya grupları ve oranlarından etkilenir. Çalışmada ozonlama işleminin boyalar üzerindeki etkisinden dolayı ışık haslığı değerlerinde bir sapma olup olmayacağı değerlendirilmiştir. Değerler, ozonlama işleminin ışık haslığında herhangi bir bozulmaya sebep olmadığını göstermiştir.

**Tablo 3.1** Ozonlanmış atık sular ile yapılan boyama sonucunda elde edilen numunelerin haslık değerleri

Ozonlanmış Su ile Boyama Tekrarı	Sürtme Haslığı			Yıkama Haslığı (40 °C)					
	Kuru	Yaş		Asetat	Pamuk	Poliamit	Poliester	Akrilik	Yün
Referans	4/5	5		5	5	5	5	5	5
1.	4	4/5		5	5	5	5	5	5
2.	5	5		5	4/5	4/5	5	5	5
3.	4/5	5		5	5	5	5	5	5
	Işık Haslığı			Yıkama Haslığı (60 °C)					
	12 saat	48 saat	72 saat	Asetat	Pamuk	Poliamit	Poliester	Akrilik	Yün
Referans	>6	>6	>6	4/5	5	4/5	5	5	5
1.	>6	>6	>6	5	4/5	4/5	5	5	5
2.	>6	>6	>6	4/5	5	4/5	5	5	5
3.	>6	>6	>6	5	5	4/5	5	5	5

### 3.3 Kopma Mukavemeti Test Sonuçları

Numunelerin kopma mukavemeti değerleri Şekil 3.2’de verilmiştir. Şekil 3.2 incelendiğinde ozonlanmış sular ile yapılan boyamalarda numune mukavemetlerinde anlamlı bir değişiklik görülmemiştir. Ozon, yarı ömründen dolayı hızlıca bozularak oksijene dönüşebildiği için ozonlanmış suda numuneye etki edecek bir ozon kalmamıştır. Mukavemet değerlerindeki küçük değişimler; bobin boyama işlemlerinde görülen bir durumdur.

**Şekil 3.2** Ozonlanmış suda boyanan numunelerin kopma mukavemeti değerleri

### 3.4 KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) Sonuçları

KOİ ölçüm sonuçları Tablo 3.2’de verilmiştir. Çalışmanın başında referans numunesinin KOİ değeri 2572 olarak ölçülmüştür. 45 dakika ozonlama sonrası sadece 1. döngü sonunda KOİ değerinin 2142’ye düşerek %17 oranında bir azalma olduğu görülmüştür.



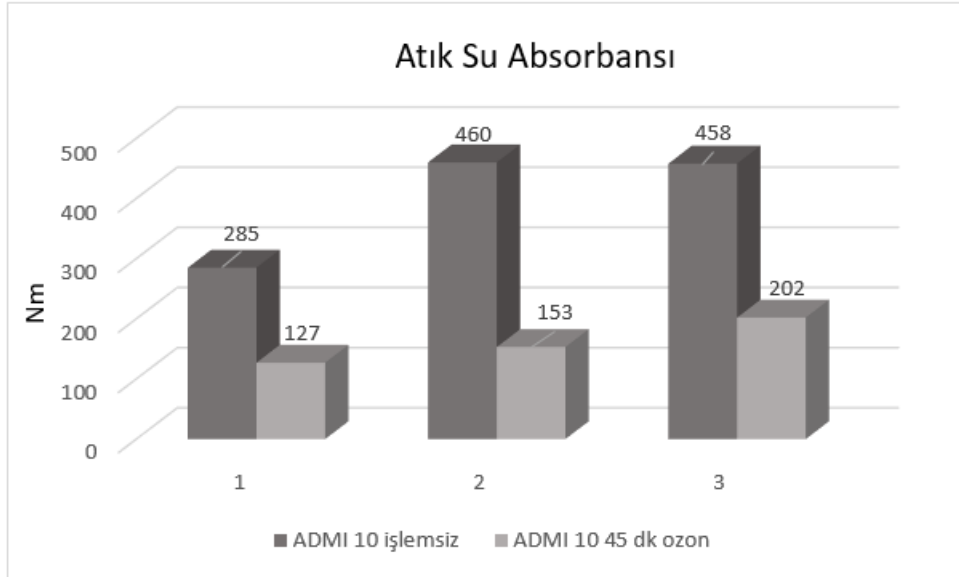
Aynı su ile boyama ve ozonlama işlemi devam ettikçe, beklendiği gibi 2. ve 3. döngülerde sudaki atık yük miktarı artmış ve KOİ değeri de yükselmiştir. Boyamalar sonrasında redüktif yıkamaya gerek kalmaması; boyama suyuna eklenecek ve atık yükünü arttıracak ek bir işlemi de ortadan kaldırmıştır.

**Tablo 3.2** Boyama sonrası atık suların KOİ değerleri

Ozonlanmış Su ile Boyama Tekrarı	Ozonlama Öncesi	Ozonlama Sonrası (45 dak)
<b>Referans</b>	2572	--
<b>1.</b>	2572	2142
<b>2.</b>	2446	3210
<b>3.</b>	>3500	>3500

### 3.5 Banyo Sularının Absorbans Ölçüm Sonuçları

Boyama banyo suyunun ozonlanması sonucunda elde edilen numune suların absorbans değerleri ADMI 10'a göre ölçülmüştür ve sonuçlar referans numuneye göre kıyaslamalı olarak Şekil 3.3'de verilmiştir. Boyama banyosu suyu ile 45 dakika sonunda ozonlanmış banyo suyu arasında anlamlı farklılıklar olduğu görülmüştür. Denklem 1'e göre; banyo sularındaki renksizleşme 1. döngü %55, 2. döngü %67 ve 3. döngü %56 oranında olduğu hesaplanmıştır. Bu değerlerde dikkate alındığında 3. döngüde sonunda doğaya verilecek suyunda hala renksizleşmesinin %56 olması önemli bir sonuçtur.



**Şekil 3.3** Boyama sonrası atık suların absorbans değerleri

## 4. Sonuç

Tekstilde boyama işlemlerinden sonra oluşan atık sular içerdikleri boyarmadde ve kimyasallar nedeniyle toksiktir. Aynı zamanda sudan ışığın geçişini azaltarak sudaki

mikroorganizmaların ve bitkilerin fotosentez yapmasını engelleyen özelliktedir. Bu zararlı özellikleri ortadan kaldırmak ya da azaltmak için atık suların temizlenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan biri de ozonlamadır. Ozon gazı boyama atık sularının renksizleştirilmesinde, atık sudaki çevresel yükü azaltmada kullanılan bir yöntemdir[2,5,24].

Bu amaçla çalışmada dispers boyama atık suları ozonlanarak renksizleştirilmiş ve aynı su tekrar boyama için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 1. döngü ozonlanmış su ile boyanmış numunelerin renk farkı değeri ( $\Delta E = 1.19$ ), temiz su kullanılmadan yapılan bir işlem için kabul edilebilir bir sonuçtur. 1. döngü ozonlama sonrası atık su KOİ değeri %17 oranında azalmıştır. Ölçülen tüm haslık değerlerinde iyi sonuçlar elde edilmiştir. ADMI 10 değerine göre atık su absorbansın da renksizleşme olduğu çok net görülmüştür. Renk farkı değerlerinden dolayı 3. döngü sonunda yapılan boyama çok verimli olmasa da sudaki renksizleşme, atık suyun doğal kaynakları kirletmesini azaltacak niteliktedir. Hem suyun tekrarlı kullanımının sağlanması hem de atık suyun renksizleştirilmesi bakımından etkin sonuçlar elde edilmiştir.

### **Finansal Destek**

Bu makale ile ilgili herhangi bir finansal kaynaktan yararlanılmamıştır.

### **Çıkar Çatışması**

Bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Yazar Katkısı**

Fikir – H.A.E.; Tasarım – İ.Y., S.E., H.A.E.; Malzemeler – H.A.E., S.E., C.B., K.K., N.D.; Veri toplanması ve/veya işlemesi – İ.Y., S.E., C.B., N.D.; Analiz ve/veya yorum – İ.Y., S.E., C.B., K.K. N.D.; Literatür taraması – İ.Y., S.E.; Yazıyı yazan – İ.Y.; Eleştirel İnceleme – K.K., H.A.E.

### **5. Kaynaklar**

1. Ben Mansour H, Houas I, Montassar F, Ghedira K, Barillier D, Mosrati R, Chekir-Ghedira L. Alteration of in vitro and acute in vivo toxicity of textile dyeing wastewater after chemical and biological remediation. *Environmental science and pollution research international* 2012; <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0802-7>
2. Turhan, K., Durukan, I., Ozturkcan, S. A., & Turgut, Z. (2012). Decolorization of textile basic dye in aqueous solution by ozone. *Dyes and Pigments*, 92(3), 897-901. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2011.07.012>
3. Wu J, Doan H, Upreti S. Decolorization of aqueous textile reactive dye by ozone. *Chemical Engineering Journal* 2008;142:156e60.

<https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.11.019>

4. Konsowa, A. H. (2003). Decolorization of wastewater containing direct dye by ozonation in a batch bubble column reactor. *Desalination*, 158(1-3), 233-240.

[https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(03\)00458-2](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00458-2)

5. Eren, H. A., Yiğit, İ., Eren, S., & Avinc, O. (2020). Ozone: An Alternative Oxidant for Textile Applications. In *Sustainability in the Textile and Apparel Industries* (pp. 81-98). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-38545-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-38545-3_3)

6. Eren, H. A. (2007). Simultaneous afterclearing and decolorisation by ozonation after disperse dyeing of polyester. *Coloration Technology*, 123(4), 224-229.

<https://doi.org/10.1080/01919512.2013.771551>

7. Eren, H. A., Ozturk, D., & Eren, S. (2012). Afterclearing of disperse dyed polyester with gaseous ozone. *Coloration Technology*, 128(2), 75-81.

<https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2011.00350.x>

8. Gönlügür, M. E. (2019). Sustainable Production Methods in Textile Industry. In *Textile Industry and Environment*. IntechOpen.

<http://doi.org/10.5772/intechopen.84316>

9. Hao, O. J., Kim, H., & Chiang, P. C. (2000). Decolorization of wastewater. *Critical reviews in environmental science and technology*, 30(4), 449-505.

<https://doi.org/10.1080/10643380091184237>

10. Perkins, W. S., Walsh, W. K., Reed, I. E., & Namboodri, C. G. (1996). A demonstration of reuse of spent dyebath water following color removal with ozone. *Textile chemist and colorist*, 28, 31-37.

11. Yigit, I., Eren, S., & Eren, H. A. (2018). Ozone utilisation for discharge printing of reactive dyed cotton. *Coloration Technology*, 134(1), 13-23.

<https://doi.org/10.1111/cote.12306>

12. Shaikh, I. A., Farooq, A., Khanzada, T. J. S., & Iftikhar, A. (2014). Reuse of beverage industry wastewater in textile dyeing after its treatment with ozone. *Pakistan Journal of Nutrition*, 13(11), 653-656.

13. Arooj, F., Ahmad, N., Shaikh, I. A., & Chaudhry, M. N. (2014). Application of ozone in cotton bleaching with multiple reuse of a water bath. *Textile Research Journal*, 84(5), 527-538. <https://doi.org/10.1177/0040517513499429>

14. Hsu, Y. C., Chen, J. T., Yang, H. C., Chen, J. H., & Fang, C. F. (2001). Ozone Decolorization of Mixed- Dye Solutions in a Gas- Induced Reactor. *Water environment research*, 73(4), 494-503. <https://doi.org/10.2175/106143001X139551>
15. Strickland, A. F., & Perkins, W. S. (1995). Decolorization of continuous dyeing wastewater by ozonation. *Textile chemist and colorist*, 27(5), 11-15.
16. Kausar, A. (2019). Review of fundamentals and applications of polyester nanocomposites filled with carbonaceous nanofillers. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 35(1), 22-44. <https://doi.org/10.1177/8756087918783827>
17. <https://store.textileexchange.org> Preferred-Fiber-Material-Market-Report\_2019.pdf  
Erişim Tarihi: 13.02.2021
18. De Giorgi, M. R., Cadoni, E., Maricca, D., & Piras, A. (2000). Dyeing polyester fibres with disperse dyes in supercritical CO<sub>2</sub>. *Dyes and Pigments*, 45(1), 75-79.  
[https://doi.org/10.1016/S0143-7208\(00\)00011-5](https://doi.org/10.1016/S0143-7208(00)00011-5)
19. Figueiro, R., PEREIRA, C. G., & De Araújo, M. (2008). Applications of polyesters and polyamides in civil engineering. In *Polyesters and polyamides* (pp. 542-592). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845694609.3.542>
20. Farah, S., Kunduru, K. R., Basu, A., & Domb, A. J. (2015). Molecular weight determination of polyethylene terephthalate. In *Poly (Ethylene Terephthalate) Based Blends, Composites and Nanocomposites* (pp. 143-165). William Andrew Publishing.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-31306-3.00008-7>
21. Horrocks, A. R., & Price, D. (Eds.). (2008). *Advances in fire retardant materials*. Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845694701.1.9>
22. Baek, J. K., Kim, S., Lee, G. S., & Shim, J. J. (2004). Density correlation of solubility of CI disperse orange 30 dye in supercritical carbon dioxide. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 21(1), 230-235. <https://doi.org/10.1007/BF02705403>
23. Oh, J., Kim, S. S., Kim, K. H., Lee, J., & Kang, C. (2021). Structural and physico-chemical properties change of polyethylene terephthalate (PET) fibers after supercritical fluid dyeing with CI disperse red 167. *The Journal of Supercritical Fluids*, 170, 105131. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.105131>
24. Chang MW, Chern JM. Decolorization of peach red azo dye, HF6 by Fenton reaction: initial rate analysis. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 2010;41(2):221e8.