



## **Ozonlama Proses Şartlarının Elastansız Denim Kumaşların Yumuşaklık/Sertlik ve Mukavemet Özelliklerine Etkisinin İrdelenmesi**

### **Investigating the Effect of Ozonation Process Conditions on Softness/Stiffness and Strength Properties of Without Elastane Denim Fabrics**

**Belkıs Zervent Ünal<sup>1\*</sup>**, **Ayşe Deniz Küçük<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği, Adana, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği, Adana, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [belzer@cu.edu.tr](mailto:belzer@cu.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received: 05.06.2020

Kabul Tarihi / Accepted: 14.02.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2021236904

*Atıf şekli/How to cite: ZERVENT ÜNAL B., KÜÇÜK A.D. (2021). Ozonlama Proses Şartlarının Elastansız Denim Kumaşların Yumuşaklık/Sertlik ve Mukavemet Özelliklerine Etkisinin İrdelenmesi. DEÜFMD 23(69), 745-754.*

#### **Öz**

Çalışma kapsamında; güçlü oksidatif bir madde olan ozon gazı ile uygulanan efekt verme amaçlı ozonlama işleminin ve bu işlemin proses şartlarındaki değişimlerin elastansız denim kumaşların seçilmiş performans özellikleri üzerindeki etkisinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 2 tip denim kumaşa (çözücü halat ve slasher boyalı) 3 farklı ozonlama süresi (10-20-30 dakika) ve 4 farklı ozon oranında (%40-%60-%80-%100) ozonlama işlemi uygulanmıştır. Ardından elde edilen kumaşlara kullanım yerine göre önemli olan kopma mukavemeti, yumuşaklık/sertlik ve spektrofotometrik renk analizi testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar istatistiksel ve grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Genel olarak; ozonlama süresi ve oranındaki artışın kopma mukavemeti değerlerini olumsuz etkilediği, sertliğe ise anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca halat ve slasher boyalı kumaşların ozonlama işlemi sonucu farklı davranışlar gösterdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Denim kumaş, Ozonlama proses şartları, İndigo boyama, Kopma mukavemeti, Yumuşaklık

#### **Abstract**

In the scope of the study, it is aimed to examine the effect of ozonation process applied with ozone gas, which is a strong oxidative substance, and the effects of the changes in the process conditions on the selected performance properties of non-elastane denim fabrics. For this purpose, 3 different ozonation times (10-20-30 minutes) and 4 different ozone rates (40% -60% -80% -100%) were applied to 2 different denim fabrics (warp dyed with rope and slasher methods). Then, the tensile strength, softness/stiffness and spectrophotometric color analysis tests which are important properties according to the place of use were applied. The results obtained were evaluated statistically and graphically. Generally; it was determined that the increase in ozonation time and ozone rate affected the strength values negatively, but did not have a significant effect on stiffness. In addition, it was determined that rope and slasher dyed fabrics show different behaviors as a result of ozonation.

**Keywords:** Denim fabric, Ozonation process conditions, Indigo dyeing, Tensile strength, Softness

## 1. Giriş

Tekstil ve konfeksiyon sanayisinin bilinen en eski kumaş tiplerinden biri olan denim kumaşların tarihi çok eski dönemlere dayanmakta ve güncelliğini yitirmeksizin her geçen gün önem kazanmaktadır. Hem ülkemizde hem de küresel pazarda ithalat ve ihracat değerleri incelendiğinde pazar payının her geçen gün arttığı gözlenmektedir.

İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçı Birlikler (İTKİB) tarafından 2019 yılında yayınlanan "Dünya Denim Kumaş Dış Ticaret Raporu"na göre Türkiye'nin 2019 yılı Ocak-Ağustos dönemi denim kumaş ihracatında %16,9 oranında gerileyerek 194 milyon dolar, denim kumaş ithalatında ise %23,6 oranında gerileyerek 155 milyon dolar değerinde gerçekleşmiştir. Aynı rapora göre 2019 yılı Ocak-Ağustos dönemi Türkiye'nin en fazla denim kumaş ihracatı gerçekleştirdiği ülke Tunus, ithalat da ise Pakistan olduğu görülmektedir [1].

Denim kumaşlara çeşitli yöntemlerle müşteri isteklerine ve moda akımlarına göre yıpranmış, yıllanmış ve giyilmiş etkiler kazandırmak için ağartma ve yıkama işlemleri yapılmaktadır. Günümüzde özel yıkama işlemlerine tabi tutularak farklı renk, tuşe ve yüzey elde etmek mümkündür.

Tekstil sanayisi içerisinde özellikle terbiye sektöründe atık su, boyarmadde, kimyasal ve tehlikeli maddeler gibi çevreye zararlı bileşenler oldukça fazla oranda bulunmaktadır. Bu nedenlerle hem doğal çevreye hem de insan sağlığına zarar vermeyen, sürdürülebilir üretim yöntemleri arayışları hız kazanmaktadır. Bu bağlamda ozon gazının kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Denim sektöründe toksik madde içermeyen, doğaya serbest halde yayıldığında oksijene dönüşerek zararsız bir yapıya kendiliğinden dönen, çamaşır yıkama sistemlerinde sadece bir yıkama-bir durulama işlemi yapılarak, sıcak suya ihtiyaç duyulmadan yıkama gerçekleştirebilen ve bu sayede %50'ye varan oranda deterjan, elektrik ve su tasarrufu sağlayan ozon gazı kullanımı ile eskitme/ağartma etkileri verilebilmektedir [2].

Prabaharan ve arkadaşları, 2000 yılında yapmış oldukları çalışmada pamuklu kumaşların

ağartılmalarında ozon gazının etkinliğini irdelemişlerdir. Pamuklu kumaşların ozon ile ağartma işlemiyle kısa sürede kabul edilebilir beyazlık değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Ayrıca yüksek ozon konsantrasyonlarında ozon ile işlem görmüş kumaşların boya alımlarında düşüş meydana gelmiştir. Bunlara ek olarak pamuklu mamullerde en iyi beyazlık derecesi ve en az mukavemet kaybı için kısa uygulama süresi ve yüksek ozon konsantrasyonunun gerektiği tespit edilmiştir [3].

Micheal ve El-Zaher, 2003 yılında yapmış oldukları çalışmada temizlenmemiş yün kumaş kullanarak UV/ozon uygulamasının yün kumaşın geçirgenlik, ıslanabilirlik ve sarılık indeksini arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca bu etkilerin uygulama süresinin artmasıyla daha da belirginleştiğini belirtmişlerdir. Bunlara ek olarak ışık haslıklarının arttığı ve boyanabilirlik özelliğinin ilk uygulamalardan itibaren sürekli bir yükseliş halinde olduğu sonucuna ulaşmışlardır [4].

Cardis ve arkadaşları, 2007 yılında hazır giyim yıkama proseslerinde ozon teknolojisinin kullanımı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Araştırmalarında, ozon ile yıkama işleminin enerji ve su tüketiminde tasarruf sağladığı vurgulanmıştır. Ayrıca yıkama sayılarının azalışı ve deterjan kullanımındaki düşüş ozonun bu prosese diğer katkıları olarak görülmektedir [5].

Poznyak ve arkadaşları, 2007 yılında yapmış oldukları çalışmada tekstil sektöründe en çok kullanılan ve karışık kimyasal yapıya sahip üç boyarmaddenin ozonlama işlemi ile sulu çözüldüğüden uzaklaştırılması üzerine çalışmışlardır. Kullanılan tüm boyarmaddeler için, 1,5-2 dakikalık ozonlama süresinin rengin tamamen kaybolması için yeterli olduğu görülmüştür [6].

Gülümser ve arkadaşları, 2009 yılında ozonun yün liflerinin ağartılmasında kullanılabilirliğini araştırdıkları bir deneysel çalışma yürütmüşlerdir. Farklı %AF nem değerlerine sahip numunelere sabit sıcaklıkta uygulanan 5 dakikalık işlem neticesinde en iyi beyazlık derecesine %20-30 nem değeri aralığında ulaşıldığı görülmüştür. Farklı sürelerde (1-5-15-30-60 dakika) ozonlama işlemine tabi tutulmuş kumaşlarda ise işlem süresi arttıkça beyazlık derecesinin de arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Ancak 1 dakikalık ozonlama işleminde istenilen beyazlık derecesi elde edilememiştir [7].

Rice ve arkadaşları (2009) ozon ile yıkama işlemleri üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Çalışmalarına göre ozonun, geleneksel yıkama sistemlerine göre daha az kimyasal madde ve deterjan kullanılmasından dolayı kimyasal madde tasarrufu sağladığı vurgulanmıştır. Ayrıca ozon ile yıkama sisteminde soğuk su (oda sıcaklığı ve musluk suyu) kullanımından dolayı enerji tasarrufu sağlandığını belirtmişlerdir. Aynı zamanda ozon yıkama sisteminde düşük sıcaklığa ihtiyaç duyulmasının, çalkalama süresindeki ve kullanılan kimyasal miktarındaki azalmanın kumaşın ömrünü uzattığı yönünde gelişme sağlandığını vurgulamışlardır [8].

Öztürk ve Eren, 2010 yılında ozonun genel özelliklerinin ve tekstil terbiyesinde ozonun kullanım olanaklarının derlendiği bir çalışma yapmışlardır. Genel olarak pamuğun, jütün, ipeğin ve yünün ağartılmasında, yün lifinin keçeleşmezlik işlemlerinde, nylon, polilaktikasit (PLA) ve poliester liflerinin terbiyesinde, denim yıkamada ve boyama atık sularının renk giderimi işlemlerinde ozon kullanımının söz konusu olduğu belirtilmiştir [9].

Sancar Beşen, 2012 yılında yapmış olduğu tezin denim uygulamaları kısmında indigo boyalı pamuk iplikleri üzerine ağartma efekti uygulamak amacıyla ozon gazının kullanılabilirliğini irdelemiştir. Bu amaçla bazı ozonlama parametrelerinin ve ipliklerin boyama reçetelerinin ağartma efekti üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak ozonlama süresinin, ozon konsantrasyonunun ve ipliklerin boyama reçetelerinin denim kumaşların etkilendirilmesi üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Zemini kükürt boyarmaddeler ile boyanmış ipliklerin renkleri, zemini boyasız sadece indigo boyarmaddeli ipliklere göre daha fazla açılmakta, ozonlama süresi ve ozon konsantrasyonu yükseldikçe numunelerin ağartma etkilerinin arttığı ve mukavemet değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır [10].

Perinçek ve arkadaşları, 2013 yılında keten kumaşların ozon ile ağartılması üzerine bir makale yayınlamışlardır. Ham keten kumaşların ozon ile ağartılmasında farklı işlem süreleri (5-10-15 dakika) kullanılmış ve sonrasında kumaşlar çeşitli şartlarda hidrojen peroksit ile

muamele edilmiştir. Süre ve kimyasal madde kullanımı açısından tasarruf sağlamak için peroksit ile ağartmadan önce 15 dakika ozonlama işleminin yapılması önerilmiştir [11].

İyizaman, 2014 yılında yapmış olduğu tez çalışmasında, dispers boyama atık suyunun ozonlama işlemi uygulanarak optimum koşullarda renksizleştirilmesi, söz konusu atık su ile tekrar boyama yapılması ve boyama sonucunda elde edilen kumaşın fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında; ozonun KOI değerleri üzerinde azaltıcı etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca ozonlanarak geri kazanılan dispers atık suları kullanılarak yapılan boyamalardan elde edilen kumaşların mukavemet ve haslık test değerlerinde olumsuz bir değişim görülmemiştir [12].

Benli ve Bahtiyari, 2016 yılında yükseltgen özelliği olan ozon ve hidrojen peroksiti oda sıcaklığında birleştirerek ağartma işlemlerinde ve seçilmiş doğal boyalarla boyamada kullanılabilirliğini irdelemişlerdir. Çalışma kapsamında 40 ml/l H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeren, pH'ı 7 olan ağartma banyosunda %50 flote oranında emdirilen, ardından kapalı sistem içerisinde 60 dakika ozonlama işlemine maruz bırakılan numune kumaşlarda yeterli terbiye etkilerinin sağlanabildiği sonucuna varılmıştır [13].

Soydaş, 2016 yılında ozonlama işleminin havlu kumaşların ağartılması ve hidrofilleştirilmesi üzerine etkisini irdelemiştir. Sonuç olarak çalışmadaki bütün gramajlarda ozonlama işlem süresi 45 dakika olduğunda en iyi hidrofilitate elde edilmiştir. Farklı ozon gaz akışı parametresinde ise 1000 ml/dk'lık ozon gazı akışında kumaşların gösterdiği hidrofilitate derecesinin daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır [14].

Kır, 2019 yılında yapmış olduğu tez çalışmasında yumuşatıcı, su iticilik ve buruşmazlık bitim işlemi uygulanmış denim kumaşların, uygulama sonrası üzerine aktarılan apre kimyasalının ozon ile etkilendirme verimine olan tesiri ve etkilendirme işlemi sonrasında tuşe ve kumaş performans özellikleri üzerindeki etkileri incelemiştir. Yumuşatıcı ve su iticilik bitim işlemi sonucunda, dairesel eğilme dayanımı, yırtılma mukavemeti ve eğilme dayanımı test sonuçlarının pozitif yönde, buruşmazlığın ise negatif yönde etkilendiği görülmüştür [15].

Çalışmada kapsamında, ozonlama işleminin ve proses şartlarının elastansız denim kumaşların seçilmiş performans özellikleri üzerine etkisinin irdelenebilmesi amacıyla numune kumaşlara kopma mukavemeti ve sertlik testleri uygulanmış, bunun yanısıra spektrofotometre yardımıyla renk değişimi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafiksel ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışma kapsamında, ozonlama işlemi ve değişen proses şartlarının seçilmiş elastansız denim kumaşlarda kopma mukavemeti ve sertlik değerleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca numunelerin farklı ozonlama prosesleri sonrası renginde meydana gelen değişimlerde irdelenmiştir. Bu kapsamda, belirli gramajda çözgü ipliği indigo boyalı, atkı ipliği boyanmamış (ham) ve 3/1 Z dimi denim kumaşlar kullanılmıştır. Farklı indigo boyama tekniklerinin ozonlama performansına etkisini belirlemek amacıyla çözgüsü halat boyalı ve slasher boyalı olmak üzere 2 tip denim kumaş üretimi gerçekleştirilmiştir. "RH1" ve "RS1" olarak kodlanan numunelerin dokuma kumaş konstrüksiyon özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Numune kumaşların konstrüksiyon özellikleri.

Numune kodu	RH1	RS1
Hammaddesi	%100 pamuk	%100 pamuk
Çözgü boyama tekniği	Halat boyama	Slasher boyama
Gramaj (g/m <sup>2</sup> )	431,74	391,18
Çözgü sıklığı (tel/cm)	28	28
Atkı sıklığı (tel/cm)	18	18
Çözgü numarası (Ne)	7,1/1	8,1/1
Atkı numarası (Ne)	8,9/1	8,7/1
Örgü tipi	3/1 Z Dimi	3/1 Z Dimi

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Ozonlama işlemi

Dokuması tamamlanan numune kumaşlara ozon ile ağartma işlemleri öncesinde en az yıkama efekti vermesi nedeniyle "Tolkar-Smartex Miracle®" rins yıkama makinesinde işlem uygulanmıştır. Yıkama işlemi sonrasında ise boşaltma, sıkma ve kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Rins yıkama sonrası ozon ile ağartma işlemleri için Corona Discharge esasına dayanan Jeanologia marka "X-ARC 400" model ozon jeneratörü kullanılmıştır. Corona-discharge esaslı ozon jeneratörünün çalışma prensibi; sabit elektrik akımı vererek elektronları hızlandırmak suretiyle kinetik enerji kazandırarak, oksijen molekülündeki oksijen-oksijen çift bağını parçalamak esasına dayanmaktadır. Bu işlem sonunda açığa çıkan iki oksijen atomu, ozonu oluşturmak üzere diğer oksijen molekülü ile reaksiyona girmektedir. Ozon jeneratörü vasıtasıyla sanayi tipi yıkama makinesine beslemesi yapılan ozon gazı ile ağartma işlemi yapılmaktadır. Denim mamullerinin ozon ile ağartılması numune üzerindeki indigonun oksidasyonu şeklinde tanımlanabilmektedir. İsatın, antranilik asit ve bu iki ürünün karışımları olan yan ürünler indigonun oksidasyonu sonucunda meydana gelmektedir. Bu yan ürünler nedeniyle denim mamullerinin yüzeyi sarı renge dönmekte ve işlem sonrası yapılan durulama ile bu yan ürünlerin uzaklaştırılması sonucunda mamul üzerindeki sarılık giderilmektedir. Böylece numunelere ağartılmış denim efekti verilmektedir [16].

Çalışma kapsamında, ozonlama işleminin denim kumaş özelliklerine etkisinin irdelenebilmesi için uygulanan farklı ozonlama proses şartları (deney planı) Tablo 2'de verilmiştir. Bu amaçla 2 farklı denim kumaşa 3 farklı ozonlama süresi (10-20-30 dakika) ve 4 farklı ozon oranlarında (%40-%60-%80-%100) işlem uygulanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan ozon oranlarını elde etmek için kullanılan ozon miktarları sırasıyla %40 için 166,46 g/saat, %60 için 246,19 g/saat, %80 için 324,69 g/saat ve %100 için 411,0 g/saat şekildedir. Bu kapsamda 2 tip denim kumaşa 7 farklı proses uygulanmış ve böylelikle 14 farklı numune kumaş elde edilmiştir. Yapılan her işlem bir kez tekrarlanmıştır.

**Tablo 2.** Numune kumaş özellikleri ve ozonlama proses şartları.

Numune Kumaş Kodu	İndigo Boyama Tekniği	Ön İşlem	Ozon Oranı	Ozon Süresi
RH1	Halat boyama			
RS1	Slasher boyama			
RH2	Halat boyama	Rins yıkama	%100	10 dakika
RH3				20 dakika
RH4				30 dakika
RH5			%40	20 dakika
RH6			%60	
RH7			%80	
RS2			Slasher boyama	
RS3	20 dakika			
RS4	30 dakika			
RS5	%40	20 dakika		
RS6	%60			
RS7	%80			

### 2.2.2. Kopma mukavemeti tayini

TS EN ISO 13934-1:2013-“Tekstil-Kumaşların Gerilme Özellikleri-Bölüm 1: En Büyük Kuvvetin ve En Büyük Kuvvet Altında Boyca Uzamanın Tayini-Şerit Metodu” standardına göre numunelerin kopma mukavemeti tayini testleri Titan Universal mukavemet test cihazında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm numuneler için 5 çözgü yönünde, 5 atkı yönünde numune test edilerek kopma mukavemeti değerleri “Newton” cinsinden ölçülmüştür [17].

### 2.2.3. Sertlik derecesi tayini

Numune kumaşların sertlik değerlerini belirlemek için Dijital Pnömatik Stiffnes Tester cihazı ve ASTM (American Society for Testing and Materials) D 4032-08:2016 Standard Test

Method for Stiffness of Fabric by the Circular Bend Procedure (Dairesel Eğme Prosedürü ile Kumaş Sertliği için Standart Test Metodu) esas alınmış, her numune için 3 ölçüm yapılmıştır [18].

### 2.2.4. Spektrofotometrik renk analizi

Ozon ile ağartılmış denim kumaşlara Minolta CM 3600 D Spektrofotometre Renk Ölçüm Cihazı ve RealColor1.3® yazılımı kullanılarak renk analizi yapılmıştır.

## 3. Bulgular

### 3.1. Kopma mukavemet test sonuçları

Titan Universal test cihazı ile yapılan mukavemet testi ölçüm sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi numunelerin çözgü yönündeki kopma mukavemeti değerleri minimum 1080,94 N, atkı yönündeki kopma mukavemeti değerleri ise minimum 602,32 N olarak tespit edilmiştir. TS 2791’a göre denim kumaşların kopma mukavemetinde gramajına bağlı olarak değişen alt limit değerleri bulunmaktadır [19]. Bu standart değerler göz önüne alındığında çözgü ve atkı yönündeki tüm numunelerin kopma mukavemetlerinin söz konusu alt limitlerin üstünde olduğu görülmektedir.

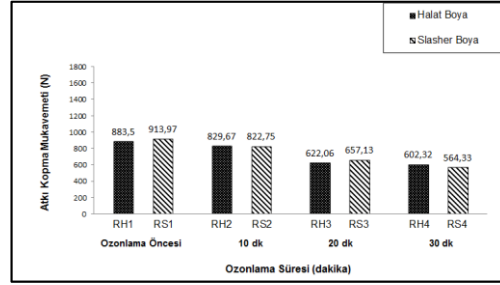
Kopma mukavemeti sonuçları, ozonlama işlem süresi (Şekil 1, Şekil 2) ve ozon oranına (Şekil 3, Şekil 4) göre irdelenmiş ve grafikler bu parametreler için ayrı ayrı düzenlenerek yorumlanmıştır.

Ayrıca çalışma kapsamında üretilen numunelerin seçilmiş performans özelliklerinin test sonuçları SPSS istatistiksel analiz programı yardımıyla istatistiksel olarak da irdelenmiştir. Genel olarak t-testi sonucu elde edilen “sig.” değerlerinin 0,05’den küçük olması durumunda “ele alınan iki değişkenin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır” değerlendirilmesi yapılırken, “sig.” değerlerinin 0,05’den büyük olması ise “istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur” şeklinde yorumlanmaktadır. Varyans analizi sonuçlarında ise “sig.” değerlerinin 0,01’den küçük olması “ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır” şeklinde değerlendirilmektedir.

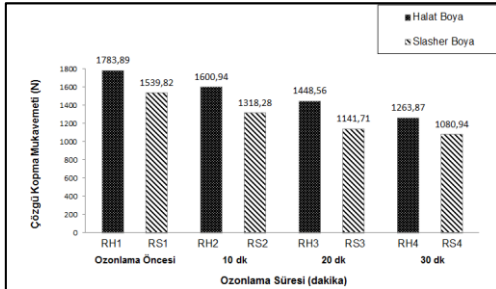
**Tablo 3.** Numunelerin kopma mukavemet değerleri.

Numune Kodları	Ortalama Kopma Mukavemeti (N)	
	Çözümlü	Atkı
RH1	1783,89	883,50
RH2	1600,94	829,67
RH3	1448,56	622,06
RH4	1263,87	602,32
RH5	1538,55	745,12
RH6	1552,27	667,70
RH7	1518,16	647,36
RS1	1539,82	913,97
RS2	1318,28	822,75
RS3	1141,71	657,13
RS4	1080,94	564,33
RS5	1392,12	802,25
RS6	1200,55	652,73
RS7	1121,04	647,53

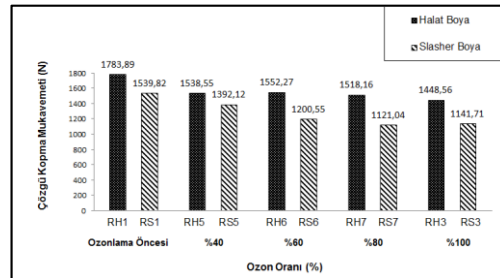
ozonlama öncesi uygulanan ön işlemden dolayı oluşan kumaş deformasyonundan kaynaklanabildiği düşünülmektedir. Ayrıca her iki kumaş tipinde de ozonlama süresi arttıkça mukavemet değerlerinin azaldığı net bir şekilde görülmektedir. İndigo boyama tipi ile çözümlü kopma mukavemeti arasında istatistiksel olarak da anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür (sig. 0,001).

**Şekil 2.** Farklı sürelerde ozon ile ağartılmış numunelerin atkı kopma mukavemet değerleri

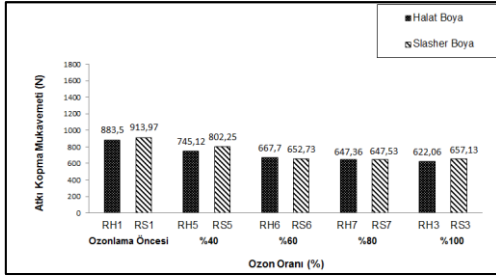
Farklı sürelerde ozon ile ağartılmış numunelerin atkı kopma mukavemet değerlerinin gösterildiği Şekil 2'ye göre hem halat boyalı hem de slasher boyalı numunelerin birbirine yakın değerlerde oldukları görülmektedir. İstatistiksel olarak da boyama tipi ile atkı kopma mukavemeti arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir (sig. 0,955). Genel olarak ozon ile ağartma işlem süresi arttıkça numunelerde mukavemet kaybı yaşandığı gözlenmektedir.

**Şekil 1.** Farklı sürelerde ozon ile ağartılmış numunelerin çözümlü kopma mukavemet değerleri

Farklı sürelerde ozon ile ağartılmış elastansız (rijit) numunelerin çözümlü kopma mukavemet değerlerinin verildiği Şekil 1'e göre hem slasher hem halat boyalı denim kumaşlarda ozonlama işlemi mukavemet kaybına yol açmıştır. Bu durumun hem ozon ile yapılan muamele hem de

**Şekil 3.** Farklı ozon oranlarıyla ağartılmış numunelerin çözümlü kopma mukavemet değerleri

Şekil 3 incelendiğinde hem halat boyalı hem de slasher boyalı numune gruplarının ozon oranı arttıkça çözümlü kopma mukavemet değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir.



**Şekil 4.** Farklı ozon oranlarıyla ağartılmış numunelerin atkı kopma mukavemet değerleri

Farklı ozon oranlarıyla ağartılmış elastansız numunelerin atkı kopma mukavemet değerlerinin gösterildiği Şekil 4'e göre hem halat boyalı hem de slasher boyalı numunelerin ozonlama işleminden olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca ozon oranının %40'dan %60'a çıkarılmasının elastansız numunelerin atkı kopma mukavemet değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Ancak bu değerden sonra mukavemet kaybının ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir. Ozon oranı değişkeni ile çözü (sig. 0,841) ve atkı (sig. 0,501) kopma mukavemet değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir etki tespit edilememiştir.

### 3.2. Sertlik derecesi tayini test sonuçları

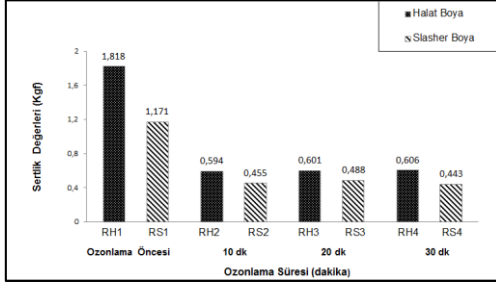
Stiffness Tester Cihazı ile yapılan sertlik derecesi tayini testi sonucu elde edilen değerler "kgf" cinsinden Tablo 4'de verilmiştir. Yapılan ölçümlerde bu değerlerin düşmesi, numunelerin sertliğinin azaldığı başka bir ifadeyle yumuşaklık özelliğinin iyileştiği, dökümlülüğünün arttığı anlamına gelmektedir.

DeneySEL çalışmada elde edilen test sonuçları grafiksel olarak değerlendirilirken sertlik değerleri test sonuçları ozonlama süresi (Şekil 5) ve ozon oranına (Şekil 6) göre ayrı ayrı irdelenmiştir.

**Tablo 4.** Numunelerin sertlik değerleri.

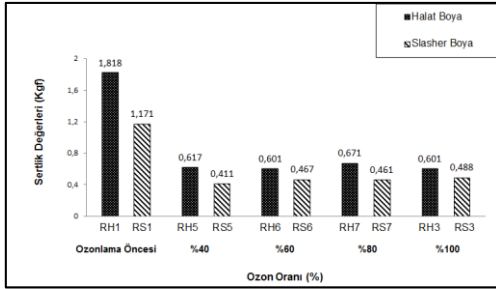
Numune Kodları	Ortalama Sertlik Değerleri (kgf)
RH1	1,818
RH2	0,594
RH3	0,601
RH4	0,606
RH5	0,617
RH6	0,601
RH7	0,671
RS1	1,171
RS2	0,455
RS3	0,488
RS4	0,443
RS5	0,411
RS6	0,467
RS7	0,461

Şekil 5'e göre ozonlama işlemi uygulanan numunelerin (hem halat boyalı, hem de slasher boyalı) ozonlama işlemi öncesine göre oldukça düşük sertlik değerlerine sahip olduğu, başka bir ifadeyle kumaşların ozonlama sonrası daha yumuşak olduğu görülmektedir. Bu durumun ozon ile ağartma proseslerinde uygulanan aşındırma efektinden ve ön işlem olarak uygulanan yıkama işlemlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca ozonlama işlem süresindeki artışın (10-20-30 dakika) sertlik değerleri üzerinde anlamlı bir değişime neden olmadığı görülmektedir. Elde edilen istatistiksel sonuçlara göre de ozon süresinin sertlik değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir (sig. 0,978).



**Şekil 5.** Farklı sürelerde ozon ile ağartılmış numunelerin sertlik değerleri

Farklı ozon oranlarıyla ağartılmış numunelerin sertlik değerlerinin verildiği Şekil 6'ya göre ozonlama süresi parametresinde olduğu gibi ozon oranı parametresinde de (%40-%60-%80-%100) numuneler kendi arasında değerlendirildiğinde, sertlik değeri üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı grafiklerden net bir şekilde görülmektedir. Ozon oranı değişkeni ile sertlik değeri arasında istatistiksel olarak da anlamlı bir etki tespit edilememiştir (sig. 0,956).



**Şekil 6.** Farklı ozon oranlarıyla ağartılmış numunelerin sertlik değerleri

### 3.3. Spektrofotometrik renk analizi test sonuçları

Minolta CM 3600 D Spektrofotometre renk ölçüm cihazı kullanılarak yapılan renk analizi sonuçları Tablo 5'de verilmektedir.

Tablo 5 irdelendiğinde halat boyalı numune gruplarının slasher boyalı numune gruplarına göre  $\Delta E$  yani renk farklılıklarının biraz daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca halat boyalı numuneler ozonlama süresi açısından irdelendiğinde en fazla renk farkının 10 dakika (RH2) ve 30 dakika (RH4) işleme tabi tutulmuş kumaşlar arasında olduğu görülmektedir. Ozon oranı açısından ise RH5 (%40) ve RH3 (%100) kodlu numuneler arasındaki renk farkının en yüksek olduğu gözlenmektedir.

**Tablo 5.** Numuneler arası  $\Delta E$  değerleri.

Referans Numune Kodları	Karşılaştırılan Numune Kodları	Kod Açıklamaları	$\Delta E$
RH2	RH3	10'-20'	23,54
RH2	RH4	10'-30'	32,49
RH3	RH4	20'-30'	9,64
RH5	RH6	%40-%60	14,4
RH5	RH7	%40-%80	19,01
RH5	RH3	%40-%100	26,3
RH6	RH7	%60-%80	4,73
RH6	RH3	%60-%100	11,99
RH7	RH3	%80-%100	7,51
RS2	RS3	10'-20'	21,12
RS2	RS4	10'-30'	30,67
RS3	RS4	20'-30'	10,24
RS5	RS6	%40-%60	12,41
RS5	RS7	%40-%80	18,84
RS5	RS3	%40-%100	23,04
RS6	RS7	%60-%80	6,47
RS6	RS3	%60-%100	10,71
RS7	RS3	%80-%100	4,5

Çözümlü ipliği slasher boyalı numunelerde de yine süre parametresi açısından 10 dakika ve 30 dakika arasında, ozon oranı açısından ise %40 ve %100 ozonlanmış kumaşlarda renk farkının daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra 10-20 dakikalık numuneler arasındaki renk farkının 20-30 dakika işlem görmüş numuneler arasındaki renk farkından oldukça yüksek olduğu dolayısıyla ozonlama süresi arttıkça meydana gelen renk açılmasının azaldığı ve bu durumun hem halat hem slasher boyalı kumaşlar için de geçerli olduğu görülmüştür.

### 4. Tartışma ve Sonuçlar

Çalışma kapsamında; sürdürülebilir bir uygulama olan ozon gazının seçilmiş denim kumaşların performans özellikleri üzerindeki



etkisini ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu kapsamda yapılan deneysel çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar grafiksel olarak değerlendirilmiş ve edilen sonuçlardan seçilmiş olanlar aşağıda özetlenmiştir.

- Ozonlama işlemi çözgü kopma mukavemetini düşürmüş olup, ozon ile işlem süresi ve ozon oranı arttıkça da hem halat boyalı hem de slasher boyalı numunelerin çözgü kopma mukavemet değerlerinde azalma devam etmiştir. Atkı kopma mukavemet değerleri irdelendiğinde ise çözgü kopma mukavemet değerlerinde olduğu gibi ozon ile işlem süresi ve ozon oranı arttıkça her iki boyama tipi için de atkı kopma mukavemet değerleri azalmıştır. Ancak bu azalma çözgü kopma mukavemet değerleri kadar yüksek oranda gerçekleşmemiştir.
- Genel olarak ozonlama süresindeki artışın çözgü ve atkı kopma mukavemet değerlerini ozon oranına göre daha fazla etkilediği görülmüştür.
- Ozonlama işlemi uygulanmış kumaşların işlem görmemiş kumaşlara göre daha düşük sertlik değerlerine sahip olduğu, dolayısıyla ozonlamanın kumaşları yumuşattığı görülmüştür.

- Ayrıca süre parametresinin (10-20-30 dakika) ve ozon oranının (%40-%60-%80-%100) kendi içlerinde sertlik değeri üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.
- 10-20 dakikalık numuneler arasındaki renk farkının 20-30 dakika işlem görmüş numuneler arasındaki renk farkından oldukça yüksek olduğu dolayısıyla ozonlama süresi arttıkça meydana gelen renk açılmasının azaldığı ve bu durumun hem halat hem slasher boyalı kumaşlar için geçerli olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak denim yıkama sektöründe sodyum hipoklorit ve potasyum permanganat gibi konvansiyonel ağartma sistemlerine alternatif olması açısından ozonlama işleminin ağartmak/efekt vermek için çeşitli avantajlara sahip olduğu görülmüştür. Diğer ağartıcı kimyasallara göre kimyasal madde açığa çıkarmaması, çevreye zararlı olmaması, su ve enerjiden tasarruf sağlaması, yıkama tekrarlarını azaltması ve proses sürelerini kısaltması gibi birçok avantajından dolayı tercih edilebileceği görülmüştür. Bunun yanı sıra ozonlama işlemi uygulanan denim kumaşların kullanım yerine göre sahip olması gereken performans özelliklerinin de uygun değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

#### Teşekkür

Çalışma kapsamında denim kumaşların üretimlerinin gerçekleştirildiği BOSSA Ticaret ve Sanayi İşletmelerine, ozon ile ağartma işlemlerinin gerçekleştirildiği FG Tekstil Konfeksiyon San. Tic. A.Ş.'ne teşekkürlerimizi sunarız. Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimi tarafından FYL-2018-10748 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

#### Not

Bu çalışmanın ön bulguları 23-25 Mayıs 2019 tarihinde Mersin'de düzenlenen 2. Uluslararası Mersin Sempozyumunda sunulmuştur.

#### Kaynakça

- [1] Dünya Denim Kumaş Dış Ticaret Raporu, 2019. <https://www.ihkib.org.tr/tr> (Erişim Tarihi: 18.03.2020).
- [2] Küçük, A.D., 2020, Ozonlama Proses Şartlarının Denim Kumaş Performans Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 164s, Adana.
- [3] Prabakaran, M., Nayar, R.C., Kumar, N.S., Rao, J.V., 2000. A Study on The Advanced Oxidation of a Cotton Fabric by Ozone. Coloration Technology, Cilt. 116, s. 83-86. DOI: 10.1111/j.1478-4408.2000.tb00024.x

- [4] Micheal, M.N., El-Zaher, N.A., 2003. Efficiency of Ultraviolet/Ozone Treatments in the Improvement of the Dyeability and Light Fastness of Wool. Journal of Applied Polymer Science, Cilt. 90, s. 3668-3675. DOI: 10.1002/APP.12941
- [5] Cardis, D., Tapp, C., DeBrum, M., Rice, R. G., 2007. Ozone in the Laundry Industry - Practical Experiences in the United Kingdom. Ozone: Science & Engineering, Cilt. 29, s. 85-89. DOI: 10.1080/01919510601186048
- [6] Poznyak, T., Colinders, P., Chairez, I., 2007. Treatment of Textile Industrial Dyes by Simple Ozonation with Water Recirculation. J. Mex. Chem. Soc., Cilt. 51, s. 81-86.
- [7] Gülümser, T., Akça, C., Bahtiyarı, M.İ., 2009. Yün Terbiyesinde Ozonla İşlemin Beyazlık Derecesine Etkisinin Araştırılması, Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi, Cilt. 19, s. 52-55.
- [8] Rice, R.G., DeBrum, M., Hook, J., Cardis, D., Tapp, C., 2009. Economic and Environmental Benefits of Ozone in Ozone Laundering Systems. Ozone: Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association, Cilt. 31, s. 348-356. DOI: 10.1080/01919510903091839
- [9] Öztürk, D., Eren, H.A., 2010. Tekstil Terbiyesinde Ozon Kullanımı. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt.15, s. 37-51.
- [10] Sancar Beşen, B., 2012. Tekstil Terbiyesinde Ozon Uygulamaları İle Sürdürülebilir Ekonomik Ve İnovatif Proseslerin Geliştirilmesi. Kahramanmaraş

- Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 155s, Kahramanmaraş.
- [11] Perinçek, S., Duran, K., Korlu, A.E., 2013. Combination of Ozonation and Hydrogen Peroxide Bleaching for Linen Fabrics: Optimization of the Process Using Experimental Design Technique. *Ozone: Science & Engineering*, Cilt. 35, s. 316-327.
- [12] İyizaman, Ö., 2014. Dispers Boyama Atık Suyunun Ozonlama ile Geri Kazanımı ve Tekrar Kullanımı. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 131s, Bursa.
- [13] Benli, H., Bahtiyari, M.I., 2016. Pamuklu Kumaşların Ozon-Hidrojen Peroksit Kombinasyonu ile Ağartılması ve Doğal Boyalar ile Renklendirilmesi. *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, Cilt. 23, s. 189-196.
- [14] Soydaş, Ş., 2016. Ozon Teknolojisinin Dokuma Havlu Kumaşlarda Hidrofilite ve Ağartma Özelliğine Etkisinin Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 129s, Denizli
- [15] Kır, B., 2019. Ozon Uygulamalarının İndigo Boyalı Kumaşlarda Haslık ve Tuşe Üzerine Etkisinin Araştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 83s, Kahramanmaraş.
- [16] Özdemir, D., 2006. Denim Mamullerin Ağartılmasında Kullanılan Sodyumhipoklorit ve Potasyumpermanganat Yöntemlerine Alternatif Yöntemlerin Araştırılması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 130s, İzmir.
- [17] TS EN ISO 13934-1, 2013. Tekstil-Kumaşların Gerilme Özellikleri-Bölüm 1:En Büyük Kuvvetin ve En Büyük Kuvvet Altında Boyca Uzamanın Tayini-Şerit Metodu.
- [18] ASTM D4032-08. 2016. Standard Test Method for Stiffness of Fabric by the Circular Bend Procedure, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [19] TS 2791, 2017. Tekstil-Pamuklu Blucin (Denim)-Kumaş Standardı.