

Kenevir İçeren Denim Giysilerin Terbiyesinde Çevre Dostu Bir Yöntem: Ozon ile Yıkama

İrem PALABIYIK^{1,a}, Ayşegül KÖRLÜ^{2,b}, Gonca ÖZÇELİK^{3,c}

¹FG Tekstil Konfeksiyon San. Tic. A.Ş., Ar-Ge Merkezi, İzmir

²Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İzmir

³Ege Üniversitesi, Emel Akın Meslek Yüksekokulu, İzmir

^aORCID: 0000-0003-4707-2362; ^bORCID: 0000-0002-8113-5681; ^cORCID: 0000-0001-6775-8295

Makale Bilgileri

Geliş : 03.05.2024

Kabul : 23.12.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1605888

Sorumlu Yazar

İrem PALABIYIK

irempalabyk@gmail.com

Anahtar Kelimeler

Kenevir lifi

Denim kumaş

Ozon ağartma

Denim yıkama

Atf şekli: PALABIYIK, İ., KÖRLÜ, A., ÖZÇELİK, G., (2024). Kenevir İçeren Denim Giysilerin Terbiyesinde Çevre Dostu Bir Yöntem: Ozon ile Yıkama. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(4), 881-895.

ÖZ

Bu çalışmada kenevir lifinin denim kumaşlarda kullanımı ve ozon ağartma yöntemiyle yıkanması incelenmiştir. Ön yıkama ve ard yıkama işlemi görmüş kumaşlar AF oranı %60 olacak şekilde sert ve yumuşak su ile ıslatılıp, %25, %50, %75 ozon kapasitesinde 5, 10, 15 dakika süreyle ozonlanmıştır. Ardından yapısal özelliklerin tespiti için gramaj ve kalınlık, geçirgenlik özellikleri için hava geçirgenliği, mekanik özellikleri için yırtılma mukavemeti, estetik ve duyuşal özellikleri için dairesel eğilme dayanımı ölçeri ile sertlik tayini, renk özellikleri ve sarılık indeksi tespiti için renk ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ham denim kumaşa kıyasla yıkama işlemlerinden sonra gramaj, hava geçirgenliği ve dairesel eğilme dayanımı değerleri azalma göstermiştir. Kumaş yapısı ve pamuk oranının yüksek olması nedeniyle rinse yıkamanın 5 dakikalık işlem süresinde bile liflerin şişerek kumaş yapısını sıklaştırması nedeniyle gramaj testinde rinse yıkama uygulanmış kumaşlarda ağırlık kaybı en azdır. Ham denim kumaşa kıyasla yıkama işlemlerinden sonra denim kumaşların kalınlık, yırtılma mukavemeti, renk farkı ve sarılık değerleri artış göstermiştir.

An Environmentally Friendly Method of Finishing Denim Clothes Containing Hemp: Ozone Washing

Article Info

Received : 03.05.2024

Accepted : 23.12.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1605888

Corresponding Author

İrem PALABIYIK

irempalabyk@gmail.com

Keywords

Hemp fiber

Denim fabric

Ozone bleaching

Denim washing

How to cite: PALABIYIK, İ., KÖRLÜ, A., ÖZÇELİK, G., (2024). Kenevir İçeren Denim Giysilerin Terbiyesinde Çevre Dostu Bir Yöntem: Ozon ile Yıkama. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(4), 881-895.

ABSTRACT

This study examined the use of hemp fiber in denim and examined the effects of ozone bleaching during the denim washing process. Pre-washed and post-washed denim soaked with hard water and soft water for 60% pick-up value was subjected to ozone bleaching for 5, 10, and 15 minutes at an ozone capacity of 25%, 50%, and 75%. After that, weight and thickness, air permeability, tear, bending rigidity, color values, and yellowness index were measured on the fabric samples. Weight per unit area, air permeability, and circular bending strength values decreased after washing compared to raw denim fabric. Due to the fabric structure and high cotton content, the weight loss is the least in the rinsed fabrics in the weight loss test due to the swelling of the fibers and densification of the fabric structure, even in the 5-minute process time of rinse washing. Compared to raw and treated fabrics, the thickness, tear strength, colour difference, and yellowness values of denim fabrics were increased after the washing process.

1. GİRİŞ

Denim kumaş esas olarak %100 pamuk lifi içeren, çözgü ipliği indigo boyarmaddesiyle boyalı, atkı ipliği ise boyasız, genellikle dimi örgü yapıları kullanılarak dokunan bir kumaş türünü temsil etmektedir. Başlangıçta dayanıklılığı nedeniyle iş kıyafeti olarak kullanılan denim kumaşlar günümüzde konfeksiyon alanında katma değeri yüksek her kesimden insanın yüksek moda ürünü olarak algıladığı tekstil ve konfeksiyon ürünleri haline gelmiştir. Günümüzde denim kumaşlara, farklı lif, konstrüksiyon ve boyarmaddeler kullanılarak, farklı yıkama reçetesi ve mekanik işlemlerle çeşitli etkiler kazandırılmaktadır [1-4].

Denim yıkama işlemleri kumaş üzerinde bulunan indigo boyarmaddesini uzaklaştırarak denim ürünlerede değişik görünüm kazandırmak ve rengini açmak amacıyla uygulanmaktadır. Denim yıkama, kuru ve yaş işlemler olarak da adlandırılan mekaniksel ve kimyasal işlemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Kuru işlemler denim ürünlere istenilen kullanılmış görüntüyü vermek için mekanik olarak uygulanırken; yaş işlemler denim ürün üzerine aktarılan çeşitli kimyasal maddeler ile gerçekleştirilmektedir. Denim ürünlerde farklı özellikler sağlama ve moda uygun görünümünün elde edilebilmesi için kullanılan kuru ve yaş işlem tekniklerinin birçok çeşidi bulunmaktadır. Yaş işlemlerden bazıları; ön yıkama (haşıl sökme), enzim yıkama, taş yıkama, enzim-taş yıkama, rinse yıkama, perlit yıkama, ağartma, yumuşatma, reçine sprey, permanganat sprey, pigment sprey ve tint olarak sıralanabilmektedir. Kuru işlemler ise; bıyık, kılçık, yıpratma, zımpara ve lazerle işlemdir [5-7].

Tekstil sektörünün faaliyet alanlarından biri olan denim endüstrisinin çevreyi en fazla kirleten sektörler arasında yer aldığı bilinmektedir. Tekstil ve moda sektöründeki hızlı tüketim nedeniyle çevresel sorunların artmasının bir sonucu olarak denim üretiminde çevre dostu hammadde ve üretim yöntemlerine yönelmek büyük önem taşımaktadır [8]. Denim üretiminde, daha çevre dostu hammaddeler olarak kenevir [9], kapok, ısırgan otu [10], rejenere selüloz [11], keten, jüt, nane [8] lifleri kullanılabilir. Denim yıkamada ise ozon ile ağartma, CO₂ gaz lazer teknolojisi, ultrason ile ozon ve enzimin kombine kullanımı, biyolojik yıkama, elektrokimyasal, plazma ve ileri oksidasyon süreçleri daha sürdürülebilir yöntemler olarak yaygınlaşmaktadır [7].

Kenevir lifleri biyolojik olarak parçalanabilirliği, düşük karbon ve su ayak izi, hasat bolluğu, dönüm başına yüksek lif üretimi, yetişmesi sırasında CO₂'yi bünyesine alarak havayı temizlemesi, hızlı büyüme oranı, yüksek mukavemeti, boncuklanma dayanımı, antibakteriyellik ve yüksek hava geçirgenliği nedeniyle denim ürünlerde çevre dostu bir hammadde olarak kullanıma uygundur [12,13]. Yağış alan bölgelerde kendiliğinden yetişen kenevir bitkisinin büyümesinde yağmur suyu yeterli olup ilave sulama, gübre ve tarım ilacına ihtiyaç duyulmamaktadır. Ürün rotasyonuna uygun olan kenevir bitkisi bir sonraki ürün için zengin bir toprak yapısı bırakmaktadır. Pamuk liflerine kıyasla daha dayanıklı olan kenevirin aynı miktarda pamuk bitkisi yetiştirilmesiyle kıyaslandığında daha az toprak ve daha az su gerektirdiği bilinmektedir [13,14].

Ozon ile ağartma işlemi su ve enerji tasarrufu sağlamanın yanı sıra kimyasal madde kullanımı olmaması, proseste atık çıkartmaması ve suyun tekrar kullanımına olanak sunması nedeniyle denim yıkama süreçlerinde çevre dostu üretim yöntemi olarak kullanıma uygundur. Denim sektörü, tekstil ve konfeksiyon endüstrisinde ozon gazını ilk kullanan sektördür. Ozon güçlü bir oksitleyici olup indigo boyarmaddesinin olefinik gruplarını parçalamaktadır. Ozon oksitleyici özelliği sayesinde ponza taşı ve potasyum permanganat ile sodyum hipoklorit gibi zararlı ağartıcı kimyasal kullanımı olmaksızın denim giysilerin ağartılmasında kullanılmaktadır [15].

Kenevir liflerinin denim kumaşlarda kullanımı dışında farklı tekstil malzemelerinde kullanımı bulunmakta olup kenevir içeren kumaşlara ozon ağartma dışında farklı yaş işlemler de uygulanabilmektedir. Kenevir lifleri; termal yalıtım malzemesi olarak [16] ve kompozit yapımında kullanılan liflerin mekanik, termal, balistik özelliklerinin geliştirilmesi [17-19] amacıyla kullanılmaktadır. Kenevir içeren dokuma kumaşlar; biyobazlı kumaş takviyeli nanokompozit ve kompozitler için kullanılmaktadır [20-22]. Kenevir lifi içeren örme kumaşlar ise; konfor özellikleri geliştirilmiş yazlık ve spor giysilerinde [23], termal özelliklerin geliştirilmesi amacıyla [24], nano malzeme katkılı konfor özellikleri gelişmiş medikal tekstil ürünlerinde [25] kullanılabilir. Kenevir içeren kumaşlar; perasetik asit ve hidrojen peroksitle ile çektirme ve

emdirme yöntemine göre ağartılabilmektedir [26], sodyum hidroksit ile yıkama ve hidrojen peroksit ile ağartmayla kombine ön terbiye işlemleri uygulanabilmektedir [27]. Kenevir liflerine hidrojen peroksitle ön ağartma işlemi uygulanabilmektedir [28].

Yapılan literatür araştırmasında [29-33] kenevir içeren denim ürünlerin yumuşak su ve sert su ile işleminin ozon ağartma ve denim yıkamaya etkisine rastlanamamıştır. Kenevir içeren kumaşların ozon ile ağartma işlemi sonucunda fiziksel özelliklerinin incelenmesi konusunda daha fazla bilimsel çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmalar incelendiğinde genellikle kenevir içeren iplik ve kumaş üretiminin literatürde yer aldığı, ozonun ise ağartma yerine antibakteriyellik özelliğinin geliştirilmesi amacıyla uygulandığı görülmüştür. Bu nedenle çevre dostu hammadde ve üretim yöntemlerine katkı sağlaması amaçlanarak kenevir ve pamuk karışumlu denim kumaşlar ozon ağartma yöntemi kullanılarak denim yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Su sertliği, ozon kapasitesi ve ozon süresinin kenevir içeren denim kumaşların; gramaj, kalınlık, hava geçirgenliği, yırtılma mukavemeti, sertlik ve renk özelliklerine etkisi istatistiksel yöntemlerle açıklanmaya çalışılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan denim kumaşların kesim, dikim ve yıkama işlemleri FG Tekstil Konfeksiyon San. Tic. A.Ş.'de gerçekleştirilmiştir. Denim yıkama işlemlerinde dispergatör, kırık önleyici, yumuşatıcı ve deterjan kullanılmıştır. Çizelge 1'de denim kumaşın fiziksel özellikleri verilmiştir. Çizelge 2'de denim kumaşlara uygulanan yıkama işlemlerinde kullanılan kimyasal maddeler ve yapıları verilmiştir.

Çizelge 1. Denim kumaşın fiziksel özellikleri

Kumaşın lif içeriği	%78 pamuk-%22 kenevir	
Doku tipi	2/1 dimi	
Gramaj	353,05 g/m ²	
Boyarmadde türü	İndigo	
İplik numarası	Çözümlü ipliği	Ne 7/1, %100 pamuk
	Atkı ipliği	Ne 15/1, %100 kenevir
Sıklık	Çözümlü sıklığı (tel/cm)	39
	Atkı sıklığı (tel/cm)	38

Çizelge 2. Kullanılan kimyasal maddeler

Kimyasal maddenin adı	Kimyasal maddenin yapısı
Dispergatör	Katyonik poliester polimerizasyon ürünü
Kırık önleyici	Non iyonik polimerik amidler
Yumuşatıcı	Non iyonik/ hafif katyonik, hidrofil silikon emülsiyonu
Deterjan	Yüzey aktif, enzim ve optik beyazlatıcılar karışımı

2.2. Metot

Çalışma kapsamında %78 pamuk-%22 kenevir içeren denim kumaş, sertliği 36 °F'de olan işletme suyu ile işletme şartlarında WEX (Wiser Washing Experience) tamburlu yıkama makinesinde pH 6'da ön yıkama işleminden geçirilmiştir. Ardından ön yıkama yapılmış denim kumaşlar Tolkar Kurutma makinesinde 70°C'de 30 dakika kurutulup, pH 6'da AF %60 olacak şekilde 55 °F'de sert ve 0.1 °F'de yumuşak su ile ıslatılarak WOX (Wiser Ozone X-Perience) ozon makinesinde 25, 50, 75 g/Nm³ ¹ kapasitede 5,10,15 dakikalık sürelerde ozon gazı ile ağartılmıştır. Ozonla ağartılmış kumaşlar, sararmayı önlemek için deterjan ve yumuşatıcı ile işlem görüp, 70 °C'de 30 dakika kurutulmuştur. Ön yıkama, ozon ağartma ve ozonla sararmayı önlemek amacıyla yapılan yıkama işlemine ait reçete ve işlem koşulları Çizelge 3'te verilmiştir.

¹ Nominal şartlar altında 1 atm bar 273 K ve 0 °C'de 1 m³'te bulunan ozon gramı

Çizelge 3. Reçete ve işlem koşulları

Ön yıkama	Ozon ağartma			Ozonla sararmayı önleme için ard yıkama	
	Kumaş içeriği	Su tipi	Ozon kapasitesi (g/Nm ³)		Ozon süresi (dk)
1 g/l dispergator 1 g/l kırık önleyici Çektirme yöntemi, Flotte oranı: 1/5, pH 6'da, 45°C'de 5 dakika, Durulama, 25 °C'de 5 dk, 2 kez	%78 Pamuk-%22 Kenevir	Sert su	25	5	1 g/l deterjan 3 g/l yumuşatıcı Çektirme yöntemi, Flotte oranı: 1/5, pH 6'da, 45°C'de 5 dakika, Durulama, 25 °C'de 5 dakika 2 kez Yumuşatma 25 °C'de 5 dakika
			10	10	
			15	15	
			5	5	
			10	10	
			15	15	
	Yumuşak su	25	5		
		10	10		
		15	15		
		5	5		
		10	10		
		15	15		

2.3. Testler

Farklı ozonla ağartma koşullarında yıkanmış %22 kenevir lifi içeren denim kumaşlar standart atmosfer koşullarında (20±2 °C sıcaklık, %65±4 bağıl nem) kondüsyonlandıktan sonra gramaj, kalınlık, hava geçirgenliği, yırtılma mukavemeti, sertlik, sarılık indeksi ve renk değerleri ölçülmüştür. Kumaşların gramajları James Heal marka gramaj şablonu ve Sartorius marka terazi kullanılarak TS 251 standardına göre, kalınlık değerleri SDL marka kalınlık ölçer ile 200 g yük altında 20 cm² ölçüm alanında TS 7128 EN ISO 5084 standardına göre ölçülmüştür. Kumaşların hava geçirgenliği değerleri 5 cm²'lik ölçüm alanında 100 Pa basınç farklılığında Textest marka FX3300 hava geçirgenliği cihazı ile TS 391 EN ISO 9237 standardına göre belirlenmiştir. Kumaşların mekanik özelliklerinden yırtılma mukavemeti testi James Heal Elmatear Digital Tear Tester cihazı ile TS EN ISO 13937-1 standardı balistik sarkaç metoduna göre ölçülmüştür. Kumaşların tutum özelliğini objektif olarak belirlemek amacıyla eğilme rijitliği ölçümleri SDL ATLAS firmasına ait dairesel eğilme dayanımı ölçeri ile ASTM 1388 standardına göre ölçüm yapılmıştır. CIELab renk değerleri ve sarılık indeksi (YI E 313) Hunterlab Ultra Scan PRO marka spektrofotometre renk cihazında D65 ışık kaynağı altında 10° bakış açısıyla belirlenmiştir.

2.4. İstatistiksel Değerlendirme

Ölçüm sonuçlarının istatistik değerlendirilmesi amacıyla verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığı Kolmogorov-Smirnov normallik testine göre belirlenmiştir. Bu testte kullanılan hipotezler H₀: veriler normal dağılışa uygundur, H_a: veriler normal dağılışa uygun değildir şeklindedir. Önem derecesi p<0.05 olması durumunda H₀ hipotezi reddedilmekte, p>0.05 olması durumunda H₀ hipotezi kabul edilmektedir [34]. Gramaj, kalınlık, hava geçirgenliği, yırtılma mukavemeti, dairesel eğilme dayanımı, renk farklılığı ve sarılık indeksi test sonuçlarının normallik testi sonuçlarına göre verilerin normal dağılışa uygun olmadığı tespit edilmiştir. Verilerin normal dağılışa uygun olmaması nedeniyle non-parametrik analiz yöntemi olan Kruskal Wallis tek yönlü varyans analizi SPSS 25.0 istatistik paket programı kullanılarak analiz edilip yorumlanmıştır. Kruskal-Wallis testi ile ortalamalar arasındaki farkın birbirine eşit olup olmadığı hipotezi test edilmektedir (H₀: $\mu_1=\mu_2=\mu_3$, H_a: En az bir ortalama farklı). Kruskal Wallis tek yönlü varyans analizi "İkiden fazla bağımsız örneğin aynı ana kütlelerden çekilmiş olduğunu" iddia eden sıfır hipotezinin testinde kullanılmaktadır. Alternatif hipotez ise "En az bir ana kitlenin medyanı diğer ana kütlelerinkinden farklıdır" biçiminde olur. p<0.05 olması durumunda incelenen bağımsız gruplar arasında en az bir ana kitlenin medyanının diğer kitlelere göre %95 güvenle önemli olduğu sonucuna ulaşılmaktadır [34]. İki düzeyli olan parametrelerin incelenmesi amacıyla non-parametrik testlerden Mann-Whitney U testi kullanılmıştır.

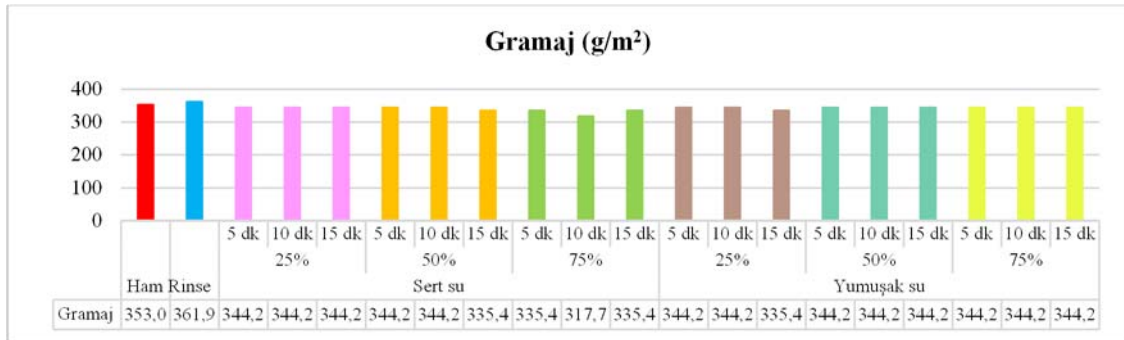
Çalışmada ozon kapasitesi ve ozon süresinin 3 alt düzeyi olması nedeniyle işlem etkileri Kruskal Wallis testiyle, su sertliğinin 2 düzeyi olması nedeniyle Mann-Whitney U testiyle istatistiksel analizler yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmada kenevir içeren denim kumaşların yıkanmasında incelenen ozon kapasitesi, ozon süresi ve su sertliği parametrelerinin her birinin farklı bir etkisinin olduğu düşünülerek işlem koşullarının her bir test sonucuna olan etkisi ayrı ayrı incelenmiştir.

3.1. Gramaj Testi Sonuçları

Ham, ön yıkama, ozon ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemi uygulanmış %78 pamuk-%22 kenevir içeren denim kumaşa ait gramaj testi sonuçları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Gramaj testi sonuçları

Ham kumaşın gramaj değeri 353,0 g/m²'dir. Rinse yıkama sonucu denim kumaş 361,9 g/m² değer ile en yüksek gramaja sahiptir. Kumaş yapısı ve pamuk oranının yüksek olması nedeniyle 5 dakikalık işlem süresinde bile liflerin şişerek kumaş yapısını sıkılaştırdığı düşünülmektedir. Uygulanan ozon ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemlerinden sonra sert su ile ıslatılmış %75 ozon kapasitesinde 10 dakika işlem görmüş olan denimler en düşük 317,7 g/m²'lik gramaj değerine sahiptir. Ozon kapasitesinin artmasının lif kaybına sebep olarak gramaj sonuçlarını düşürdüğü tahmin edilmektedir.

Ozon kapasitesi, ozon süresi ve su sertliğinin Kruskal-Wallis çoklu karşılaştırma ve Mann-Whitney-U ikili kıyaslama testlerine göre gramaj testi sonuçlarına istatistiksel olarak önemli bir etki yaratıp yaratmadığı değerlendirilmiştir. Çizelge 4'te ozon kapasitesi ve süresinin %78 pamuk-%22 kenevir içeren denim kumaşta gramaj test sonucu üzerine etkisinin incelendiği Kruskal-Wallis test sonuçları verilmektedir. İncelenen parametrelerin denim kumaşların gramaj değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4. Ozon kapasitesi ve ozon süresine göre gramaj testi sonuçlarına ait Kruskal-Wallis testi tablosu

Ozon kapasitesi	Numune sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
25	18	30.25		
50	18	28.31	1.520	0.468
75	18	23.94		
Ozon süresi	Numune sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
5	18	29.00		
10	18	29.42	1.283	0.526
15	18	24.08		

* $\alpha=0.05$ 'e göre istatistiksel olarak önemlidir.

Su sertliğinin etkisini incelenmesinde sert su ve yumuşak su kullanımının etkisinin kıyaslanması amacıyla uygulanan Mann-Whitney U testi sonucu Çizelge 5'te verilmektedir. Su sertliğinin %78 pamuk-%22 kenevir içeren denim kumaşta gramaj test sonucu üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.

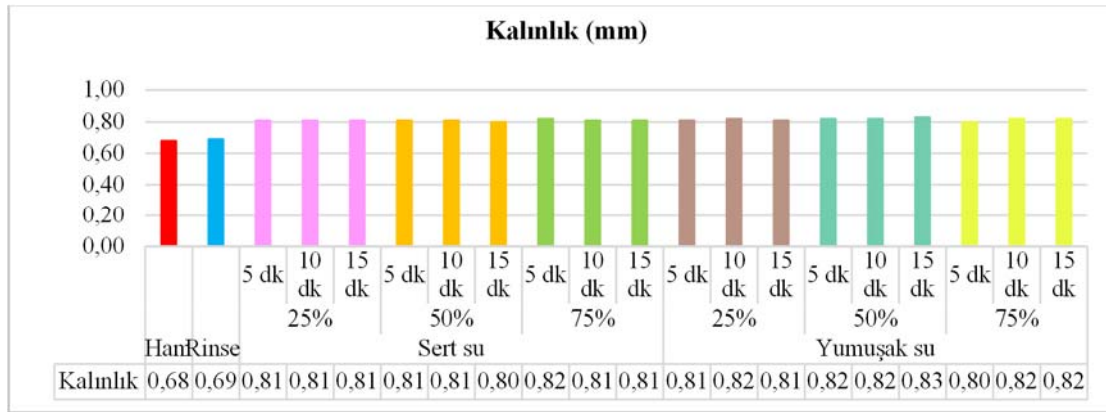
Çizelge 5. Su sertliğine göre gramaj testi sonuçlarına ait Mann-Whitney U testi tablosu

Su sertliği	Numune sayısı	Sıra ortalaması	Sıraların toplamı	Mann-Whitney U	Önemlilik durumu
Sert su	27	26.67	720.00	342.000	0.697
Yumuşak su	27	28.33	765.00		

* $\alpha=0.05$ 'e göre istatistiksel olarak önemlidir.

3.2. Kalınlık Testi Sonuçları

Ham, ön yıkama, ozon ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemi uygulanmış denim kumaşa ait kalınlık testi sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. %78 pamuk-%22 kenevir içeren kumaşın ham değeri 0,68 mm olup sıklık değerinin düşük olması nedeniyle kalınlığın düşük olduğu tahmin edilmektedir. Rinse yıkama sonrası kalınlık değeri 0,69 mm olup işlem sırasında liflerin şişerek kumaş yapısını sıklaştırdığı ve kalınlığı arttırdığı düşünülmektedir. Uygulanan ozon ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemlerinden sonra yumuşak su ile ıslatılmış %50 ozon kapasitesinde 15 dakika işlem görmüş olan denimler en yüksek 0,83 mm'lik kalınlık değerine sahiptir. Yumuşak su ile işlem görmüş denim kumaşların daha yüksek kalınlık değerlerine sahip olmasının sert suda bulunan iyonların ozon verimini düşürmesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2. Kalınlık testi sonuçları

Ozon kapasitesi, ozon süresi ve su sertliğinin Kruskal-Wallis çoklu karşılaştırma ve Mann Whitney-U ikili kıyaslama testlerine göre kalınlık testi sonuçlarına istatistiksel olarak önemli bir etki yaratıp yaratmadığı değerlendirilmiştir. Ozon kapasitesi ve ozon süresinin Kruskal-Wallis testine göre kalınlık testi sonuçlarına istatistiksel olarak önemli bir etki yaratıp yaratmadığı Çizelge 6'da verilmiştir. İncelenen parametrelerin denim kumaşların kalınlık değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 6. Ozon kapasitesi ve ozon süresine göre kalınlık testi sonuçlarına ait Kruskal-Wallis testi tablosu

Ozon kapasitesi	Numune sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
25	72	104.12	.539	0.764
50	72	110.23		
75	72	111.15		
Ozon süresi	Numune sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
5	72	100.81	1.684	0.431
10	72	113.47		
15	72	111.23		

* $\alpha=0.05$ 'e göre istatistiksel olarak önemlidir.

Yumuşak su ile işlem görmüş denim kumaşların kalınlık değerleri daha yüksektir ancak yumuşak ve sert su kullanımının denim kumaşların kalınlık değerleri üzerine etkisi Çizelge 7'de verilen Mann Whitney-U testi ile değerlendirilmiş ve fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

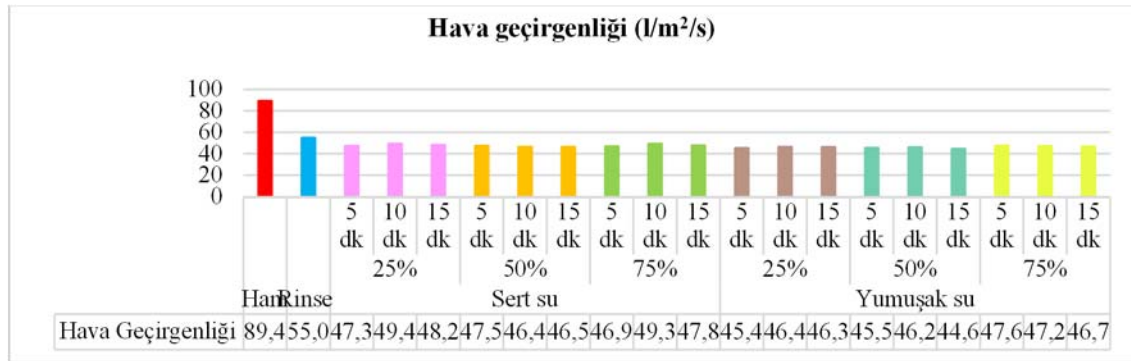
Çizelge 7. Su sertliğine göre kalınlık testi sonuçlarına ait Mann-Whitney U testi tablosu

Su sertliği	Numune sayısı	Sıra ortalaması	Sıraların toplamı	Mann-Whitney U	Önemlilik durumu
Sert su	108	97.58	10539.00	4653.000	0.010
Yumuşak su	108	119.42	12897.00		

* $\alpha=0.05$ 'e göre istatistiksel olarak önemlidir.

3.3. Hava Geçirgenliği Testi Sonuçları

Ham, ön yıkama, ozon ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemi uygulanmış %78 pamuk-%22 kenevir içeren denim kumaşa ait hava geçirgenliği testi sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. Denim kumaşın ham değeri 89,4 l/m²/s ile yüksek bir hava geçirgenliğine sahiptir. Rinse yıkama sonrası hava geçirgenliği azalma göstermiş olup 55,0 l/m²/s değerine sahiptir. Uygulanan ozon ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemlerinden sonra yumuşak su ile ıslatılmış %50 ozon kapasitesinde 15 dakika işlem görmüş olan denim kumaşlar en düşük 44,6 l/m²/s'lik hava geçirgenliği değerine sahiptir. Çoğunlukla 5. dakika'dan 10. dakika'ya kadar hava geçirgenliğinde artış görülürken 15. dakika sonrasında azalma görüldüğü için ozonun kumaş yapısına zarar verdiği düşünülmektedir. Yumuşak suda sert suda bulunan iyonların bulunmaması nedeniyle ozon verimi olumsuz etkilenmemiş, kumaş çekmesi daha fazla görülmüş, sıklık değerleri artış göstererek hava geçirgenliği değerini azaltmıştır.



Şekil 3. Hava geçirgenliği testi sonuçları

Ozon kapasitesi, ozon süresi ve su sertliğinin Kruskal-Wallis çoklu karşılaştırma ve Mann Whitney-U ikili kıyaslama testlerine göre hava geçirgenliği testi sonuçlarına istatistiksel olarak önemli bir etki yaratıp yaratmadığı değerlendirilmiştir. Ozon kapasitesi ve süresinin Kruskal-Wallis testine göre hava geçirgenliği testi sonuçlarına istatistiksel olarak önemli bir etki yaratıp yaratmadığı Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Ozon kapasitesi ve ozon süresine göre hava geçirgenliği testi sonuçlarına ait Kruskal-Wallis testi tablosu

Ozon kapasitesi	Numune sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
25	54	80.18		
50	54	67.81	10.171	0.001*
75	54	96.51		
Ozon Süresi	Numune sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
5	54	77.64		
10	54	89.49	2.352	0.308
15	54	77.37		

* $\alpha=0.05$ 'e göre istatistiksel olarak önemlidir.

Ozon süresinin etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ozon kapasitesinin %78 pamuk-%22 kenevir içeren denim kumaşta hava geçirgenliği test sonucu Kruskal-Wallis testine göre istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. 5. dakika ile 10. dakika arasında hava geçirgenliği değerleri artış gösterirken 15. dakika sonrası azalma göstermesi nedeniyle ozonun kumaş yapısına zarar vererek yüzeyde boşluk oluşumunu sağladığı tahmin edilmektedir.

Su sertliğinin Mann Whitney U testine göre hava geçirgenliği testi sonuçlarına istatistiksel olarak önemli bir etki yaratıp yaratmadığı Çizelge 9'da verilmiştir ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Çizelge 9. Su sertliğine göre hava geçirgenliği testi sonuçlarına ait Mann-Whitney U testi tablosu

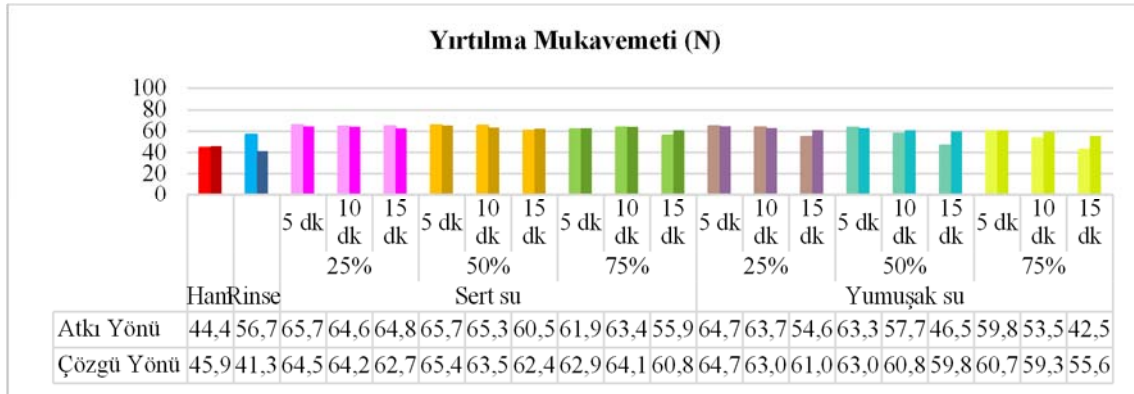
Su Sertliği	Numune sayısı	Sıra ortalaması	Sıraların toplamı	Mann-Whitney U	Önemlilik durumu
Sert su	81	92.91	7526.00	2356.000	0.002*
Yumuşak su	81	70.09	5677.00		

* $\alpha=0.05$ 'e göre istatistiksel olarak önemlidir.

Sert su ile işlem görmüş denim kumaşların hava geçirgenliği değeri daha yüksektir. Yumuşak suyun kullanımı sert suya kıyasla hava geçirgenliği testi sonuçlarında düşüşe neden olmuştur. Sert suyun ozon verimini düşürmesi nedeniyle kumaş çekmesi az olup sıklık artışı görülmemiş ve hava geçirgenliği değerleri yumuşak suya nazaran daha yüksek sonuçlar vermiştir.

3.4. Yırtılma Mukavemeti Testi Sonuçları

Ham kumaş, ön yıkama, ozon ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemi uygulanmış %78 pamuk-%22 kenevir içeren denim kumaşlara ait atkı ve çözgü yönüne ait yırtılma mukavemeti testi sonuçları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Atkı ve çözgü yönü yırtılma mukavemeti testi sonuçları

Ham denim kumaşın atkı yönü mukavemet değeri 44,4 N olup rinse yıkama sonucu artış göstererek 56,7 N'a ulaşmıştır. Uygulanan ozon ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemlerinden sonra sert su ile ıslatılmış %25 ozon kapasitesinde 5 dakika işlem görmüş olan denimler ve %50 ozon kapasitesinde 5 dk işlem görmüş denimler en yüksek 65,7 N'luk atkı yönü yırtılma mukavemeti değerine sahiptir. Sert suda bulunan iyonların ozon verimini olumsuz etkilemesi nedeniyle sert su ile işlem görmüş denim kumaşların atkı yönü yırtılma mukavemeti değerleri artış göstermiştir. Atkı yönünde yırtılma mukavemeti ozonla ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemlerinden sonra artış göstermiştir. Denim kumaşın ham çözgü yönü mukavemet değeri 45,9 N'dur. Rinse yıkama sonucu 41,3 N değerine düşüş gözlenmiştir. Uygulanan ozon ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemlerinden sonra sert su ile ıslatılmış %50 ozon kapasitesinde 5 dakika işlem görmüş olan denimler en yüksek 65,4 N'luk çözgü yönü yırtılma mukavemeti değerine sahiptir. Sert suda bulunan iyonların ozon verimini olumsuz etkilemesi nedeniyle sert su ile işlem görmüş denim kumaşların çözgü yönü yırtılma mukavemeti değerleri artış göstermiştir. Ozon kapasite ve süresinin yüksek olmasının yırtılma mukavemeti üzerinde olumsuz etkileri olabileceği düşünülmektedir. Çözgü yönünde yırtılma mukavemeti ozonla ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemlerinden sonra denim kumaşın yumuşak tuşeye sahip olması nedeniyle artış göstermiştir.

Ozon kapasitesi, ozon süresi ve su sertliğinin Kruskal-Wallis çoklu karşılaştırma ve Mann Whitney-U ikili kıyaslama testlerine göre atkı ve çözgü yönü yırtılma mukavemeti testi sonuçlarına istatistiksel olarak önemli bir etki yaratıp yaratmadığı değerlendirilmiştir. Ozon kapasitesi ve süresinin Kruskal-Wallis testine göre atkı ve çözgü yönünde yırtılma mukavemeti testi sonuçlarına istatistiksel olarak önemli bir etki yaratıp yaratmadığı Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Ozon kapasitesi ve süresinin yırtılma mukavemeti testi sonuçlarına ait Kruskal-Wallis testi tablosu

Atkı yönü yırtılma mukavemeti				
Ozon kapasitesi	Numune Sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
25	18	34.42	7.255	0.027*
50	18	27.78		
75	18	20.31		
Ozon kapasitesi	Numune Sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
5	18	37.92	18.507	0.000*
10	18	29.06		
15	18	15.53		
Çözü yönü yırtılma mukavemeti				
Ozon kapasitesi	Numune Sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
25	18	34.94	9.405	0.009*
50	18	28.58		
75	18	18.97		
Ozon kapasitesi	Numune Sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
5	18	36.97	15.445	0.000*
10	18	29.00		
15	18	16.53		

* $\alpha=0.05$ 'e göre istatistiksel olarak önemlidir.

Ozon kapasitesi ve süresinin denim kumaşın atkı ve çözgü yönü yırtılma mukavemeti test sonucu üzerine etkisi incelenmiş ve atkı ve çözgü yönü yırtılma mukavemeti test sonuçları Kruskal-Wallis testine göre istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ozon kapasitesi ve süresi arttıkça atkı ve çözgü yönü yırtılma mukavemeti sonucu azalma göstermiştir. Ozon kapasitesi ve kumaşın ozon ile temas süresi arttıkça lifler zarar görerek mukavemet kaybına neden olmuştur.

Su sertliğinin Mann Whitney-U testine göre atkı ve çözgü yönü yırtılma mukavemeti testi sonuçlarına istatistiksel olarak önemli bir etki yaratıp yaratmadığı Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 11. Su sertliğine göre yırtılma mukavemeti testi sonuçlarına ait Mann Whitney-U testi tablosu

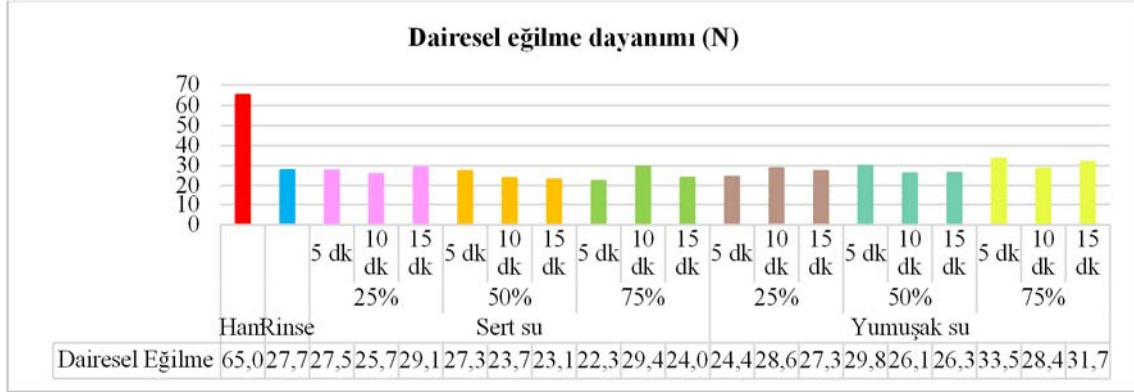
Atkı yönü yırtılma mukavemeti					
Su Sertliği	Numune sayısı	Sıra ortalaması	Sıraların toplamı	Mann-Whitney U	Önemlilik durumu
Sert su	27	34.96	944.00	163.000	0.000*
Yumuşak su	27	20.04	541.00		
Çözgü yönü yırtılma mukavemeti					
Su Sertliği	Numune sayısı	Sıra ortalaması	Sıraların toplamı	Mann-Whitney U	Önemlilik durumu
Sert su	27	35.07	947.00	160.000	0.000*
Yumuşak su	27	19.93	538.00		

* $\alpha=0.05$ 'e göre istatistiksel olarak önemlidir.

Su sertliğinin atkı ve çözgü yönü yırtılma mukavemeti test sonucu üzerine etkisi incelenmiştir ve atkı ve çözgü yönü yırtılma mukavemeti test sonucu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Sert su ile işlem görmüş denim kumaşların atkı ve çözgü yönü yırtılma mukavemeti değeri daha yüksektir. Sert suda bulunan iyonların ozon verimini düşürmesi nedeniyle, yumuşak su sert suya kıyasla atkı ve çözgü yönü yırtılma mukavemeti testi sonuçlarında daha düşük değerler göstermiştir.

3.5. Dairesel Eğilme Dayanımı Testi Sonuçları

Ham, ön yıkama, ozon ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemi uygulanmış denim kumaşa ait dairesel eğilme dayanımı testi sonuçları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Dairesel eğilme dayanımı testi sonuçları

Ham kumaşın dairesel eğilme dayanımı 65,0 N'dur. Yıkama işlemlerinin henüz uygulanmaması nedeniyle kumaş rijitliğinin fazla olmasından kaynaklı olarak ham kumaşın en yüksek değeri verdiği tahmin edilmektedir. Rinse yıkamanın 5 dakikalık kısa işlem süresinde dahi denim kumaş rijitliği azalarak dairesel eğilme dayanımı azalmış ve 27,7 N değerine düşmüştür. Uygulanan ozon ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemlerinden sonra sert su ile ıslatılmış %75 ozon kapasitesinde 5 dakika işlem görmüş olan denimler en düşük 22,3 N'luk dairesel eğilme dayanım değerine sahiptir. Sert suda bulunan iyonların ozon verimi düşürmesi nedeniyle kumaşın daha yumuşak bir tuşeye sahip olduğu düşünülmektedir. Dairesel eğilme dayanımı ozonla ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemlerinden sonra kumaş rijitliğinin azalması nedeniyle düşüş göstermiştir.

Ozon kapasitesi, ozon süresi ve su sertliğinin Kruskal-Wallis çoklu karşılaştırma ve Mann Whitney-U ikili kıyaslama testlerine göre dairesel eğilme dayanımı testi sonuçlarına istatistiksel olarak önemli bir etki yaratıp yaratmadığı değerlendirilmiştir. Ozon kapasitesi ve süresinin Kruskal-Wallis testine göre dairesel eğilme dayanımı testi sonuçlarına istatistiksel olarak önemli bir etki yaratıp yaratmadığı Çizelge 12'de verilmiştir. Her iki parametre açısından da etki istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 12. Ozon kapasitesi ve süresine göre dairesel eğilme dayanımı testi sonuçlarına ait Kruskal-Wallis testi tablosu

Ozon kapasitesi	Numune Sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
25	18	27.50	1.461	0.482
50	18	24.33		
75	18	30.67		
Ozon kapasitesi	Numune Sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
5	18	28.78	0.192	0.198
10	18	27.17		
15	18	26.56		

* $\alpha=0.05$ 'e göre istatistiksel olarak önemlidir.

Yumuşak ve sert su kullanımının denim kumaşların dairesel eğilme dayanımı testi sonuçlarına etkisi ikili kıyaslama Mann Whitney U testi ile incelenmiş ve Çizelge 13'te verilmiştir. Su sertliğinin denim kumaşlara etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Çizelge 13. Su sertliğine göre dairesel eğilme dayanımı testi sonuçlarına ait Mann Whitney U testi tablosu

Su Sertliği	Numune sayısı	Sıra ortalaması	Sıraların toplamı	Mann-Whitney U	Önemlilik durumu
Sert su	27	22.83	616.50	238.500	0.029*
Yumuşak su	27	32.17	868.50		

* $\alpha=0.05$ 'e göre istatistiksel olarak önemlidir.

Sert su ile ıslatılmış denim kumaşların dairesel eğilme dayanımı daha düşük olup yumuşak su ile ıslatılmış denim kumaşların ise dairesel eğilme dayanımı daha yüksek değeri vermiştir. Sert suda bulunan iyonların ozon verimini düşürmesi nedeniyle yumuşak suya kıyasla sert su ile ıslatılan denim kumaşların daha yumuşak tutuma sahip olduğu düşünülmektedir.

3.5. Dairesel Eğilme Dayanımı Testi Sonuçları

Renk farkı ve sarılık indeksi istatistiksel olarak incelenmeden önce denim kumaşa ait (CIE), L* a* b* ve C*H* renk değeri sonuçları Çizelge 14'te verilmiştir.

Çizelge 14. (CIE), L* a* b* ve C*H* renk değerleri

Kumaş Tipi	Su Sertliği	Ozon Kapasitesi	Ozon Süresi	L*	a*	b*	C*	h	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	Δh	ΔE	YI	
Ham	-	-	-	21,51	0,55	-3,95	16,85	265,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-56,44	
Rinse	-	-	-	15,02	0,92	-8,05	8,10	276,52	-6,49	0,37	-4,10	4,11	-1,44	5,43	-98,48	
Ozon ile ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama sonrası	Sert su	25	5	31,89	-1,23	-16,80	16,85	265,80	11,31	-2,56	-7,95	7,90	-12,72	14,07	-93,95	
			10	40,57	-2,28	-16,22	16,39	262,01	19,99	-3,61	-7,37	7,44	-16,51	21,63	-75,91	
			15	46,85	-3,12	-15,76	16,07	258,77	26,27	-4,45	-6,91	7,12	-19,75	27,55	-66,48	
		50	5	36,48	-1,84	-16,70	16,80	263,72	15,90	-3,17	-7,85	7,85	-14,80	18,03	-84,75	
			10	47,58	-3,21	-15,65	15,98	258,40	27,00	-4,54	-6,80	7,03	-20,12	28,22	-65,13	
			15	53,51	-3,81	-14,57	15,07	255,28	32,93	-5,14	-5,72	6,12	-23,24	33,84	-55,59	
		75	5	47,73	-3,07	-14,81	15,19	257,70	27,15	-4,40	-5,96	6,24	-20,82	28,37	-63,69	
			10	58,28	-3,88	-11,92	12,53	251,97	37,70	-5,21	-3,07	3,58	-26,55	38,19	-42,22	
			15	62,74	-4,28	-11,24	12,04	248,95	42,16	-5,61	-2,39	3,09	-29,57	43,57	-38,15	
		Yumuşak su	25	5	34,24	-1,47	-16,35	16,42	264,88	13,66	-2,80	-7,51	7,47	-13,64	15,84	-86,42
				10	43,22	-2,71	-16,42	16,65	260,61	22,64	-4,04	-7,57	7,70	-17,91	24,22	-73,67
			50	15	49,44	-3,51	-15,45	15,84	257,15	28,86	-4,84	-6,60	6,89	-21,37	30,02	-62,67
				5	40,76	-2,29	-16,35	16,51	262,03	20,18	-3,62	-7,50	7,56	-16,49	21,84	-76,32
			75	10	51,15	-3,59	-14,96	15,39	256,50	30,57	-4,92	-6,11	6,44	-22,02	31,57	-58,94
				15	58,82	-4,25	-12,98	13,66	251,81	38,24	-5,58	-4,13	4,71	-26,71	38,87	-46,07
				5	46,04	-2,92	-15,77	16,04	259,49	25,46	-4,25	-6,92	7,09	-19,03	26,74	-67,09
				10	59,60	-4,02	-11,94	12,60	251,37	39,02	-5,35	-3,09	3,65	-27,15	39,52	-41,68
				15	62,19	-4,63	-11,93	12,82	248,34	41,61	-5,96	-3,08	3,87	-30,18	42,18	-41,33

Ozon kapasite ve süresi arttıkça L* değerlerinin artış göstermesi nedeniyle açıklık değeri artmıştır. a* değeri incelendiğinde ozonla ağartma sonrası tüm örneklerin renginin yeşile kaydığı görülmüştür. b* değeri incelendiğinde ozonla ağartma sonrası genel olarak örneklerin daha mavileştiği görülmüştür. Ozon kapasite ve süresinin artmasıyla birlikte a* değerinde yeşil, b* değerinde mavi renk artış göstermiştir. Ozon ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemlerinden sonra ozon kapasite ve süresi arttıkça genel olarak C* değerleri azalma göstererek doygunluğun azaldığı görülmüştür. Denim kumaşın ham hali referans kabul edilmiş olup ΔE^* değeri 0'dır. Rinse yıkama sonucu ΔE^* değeri 5,4 ile ham kumaşa göre en düşük bir renk farklılığı göstermiştir. Rinse yıkama işlem adımında boyarmaddeyi etkili bir şekilde söken bir kimyasalın bulunmaması nedeniyle renk farkı en az görülmüştür. Uygulanan ozon ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemlerinden sonra sert su ile ıslatılmış %75 ozon kapasitesinde 15 dakika işlem görmüş olan denim kumaşlar 43,5 ΔE^* değeriyle en yüksek renk farkını göstermektedir. Ozon süresi ve kapasitesi arttıkça boyarmadde daha etkili bir şekilde sökülüş ve renk farkı artış göstermiştir. Ham kumaşın YI değeri -56,4'dır. Sarılık indeksi rinse yıkama sonucu -98,4'tür. Rinse yıkama işlem adımında boyarmaddeyi sökecek etkili bir kimyasalın bulunmaması nedeniyle en düşük sarılık indeksi değerleri görülmüştür. Uygulanan ozon ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yıkama işlemlerinden sonra sert su ile ıslatılmış %75 ozon kapasitesinde 15 dakika işlem görmüş olan denimler -38,1 YI değeriyle en yüksek sarılığı göstermiştir. Ozon süresi ve kapasitesi arttıkça boyarmadde kumaş üzerinden uzaklaşmış ve sarılık indeksi artış göstererek sarılık artmıştır. İndigo boyarmaddezinin ozon ile ağartma işlemi sonucunda indigo, indigo karmin'e parçalanmakta olup indigo karmin'in ozonla girdiği tepkime sonucunda ise isatin sülfonik asit açığa çıkmaktadır. Ozonla ağartma sonucu ortaya çıkan bu isatin sülfonik asit denim ürünleri sarartmaktadır. İndigo boyalı kumaşların ozon işleminden sonra sararması, ozonun indigo boyarmaddezinin parçalandığının bir göstergesidir. Bu noktada indigo, isatin ve tepkime sonrası ortaya çıkan yan ürünlerin

denim ürünlerin üzerinden uzaklaştırılması ile sarılığın giderilmesi için deterjanla ozonla sararmayı önleme için ard yıkama işlemi gerçekleştirilmektedir [7,35]. Ozon kapasitesi, ozon süresi ve su sertliğinin Kruskal-Wallis çoklu karşılaştırma ve Mann Whitney-U ikili kıyaslama testlerine göre renk farkı ve sarılık indeksi testi sonuçlarına istatistiksel olarak önemli bir etki yaratıp yaratmadığı değerlendirilmiştir. Ozon kapasitesi ve süresinin Kruskal-Wallis testine göre renk farkı ve sarılık indeksi testi sonuçlarına istatistiksel olarak önemli bir etki yaratıp yaratmadığı Çizelge 15’te verilmiştir.

Çizelge 15. Ozon kapasitesi ve süresine göre renk farkı ve sarılık indeksi testi sonuçlarına ait Kruskal-Wallis testi tablosu

Renk farkı – ΔE^* değeri				
Ozon kapasitesi	Numune Sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
25	54	46.98		
50	54	80.39	60.423	0.000*
75	54	117.13		
Ozon kapasitesi	Numune Sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
5	54	37.61		
10	54	89.93	79.874	0.000*
15	54	116.96		
Sarılık indeksi – YI değeri				
Ozon kapasitesi	Numune Sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
25	54	46.22		
50	54	79.22	65.279	0.000*
75	54	119.06		
Ozon kapasitesi	Numune Sayısı	Sıra ortalaması	Kruskal Wallis-H	Önemlilik durumu
5	54	39.15		
10	54	91.50	72.155	0.000*
15	54	113.85		

* $\alpha=0.05$ ’e göre istatistiksel olarak önemlidir.

Ozon kapasitesi ve süresinin renk farkı ve sarılık indeksi test sonucu üzerine etkisi incelenmiş olup renk farkı ve sarılık indeksi test sonucu Kruskal-Wallis testine göre istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ozon kapasitesi ve süresi arttıkça boyarmadde kumaştan uzaklaşarak kumaş üzerindeki ağarma davranışı artış gösterdiği için denim kumaştaki renk farkı ve sarılık değeri artış göstermiştir.

Su sertliğinin Mann Whitney U testine göre renk farkı ve sarılık indeksi testi sonuçlarına istatistiksel olarak önemli bir etki yaratıp yaratmadığı Çizelge 16’da verilmiştir. Renk farkı ve sarılık indeksi test sonucu Mann-Whitney U testine göre istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 16. Su sertliğine göre renk farkı ve sarılık indeksi testi sonuçlarına ait Mann Whitney U testi tablosu

Renk farkı – ΔE^* değeri					
Su Sertliği	Numune sayısı	Sıra ortalaması	Sıraların toplamı	Mann-Whitney U	Önemlilik durumu
Sert su	81	75.73	6134.50	2813.500	0.118
Yumuşak su	81	87.27	7068.50		
Sarılık indeksi – YI değeri					
Su Sertliği	Numune sayısı	Sıra ortalaması	Sıraların toplamı	Mann-Whitney U	Önemlilik durumu
Sert su	81	77.22	6255.00		
Yumuşak su	81	85.78	6948.00	2934.000	0.246

* $\alpha=0.05$ ’e göre istatistiksel olarak önemlidir.

4. SONUÇLAR

Genel sonuçların değerlendirilmesi için bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki önemli ya da önemli olmama ilişkisi Çizelge 17’de verilmiştir.

Çizelge 17. Çalışmada incelenen değişkenlerin kumaşlara uygulanan test sonuçları üzerine istatistiksel olarak önemlilik durumları

Test adı	Ozon kapasitesi	Ozon süresi	Su sertliği
Gramaj testi	-	-	-
Kalınlık testi	-	-	Önemlidir.
Hava geçirgenliği testi	Önemlidir.	-	Önemlidir.
Dairesel eğilme dayanımı testi	-	-	Önemlidir.
Atkı yönü yırtılma mukavemeti testi	Önemlidir.	Önemlidir.	Önemlidir.
Çözümlü yönü yırtılma mukavemeti testi	Önemlidir.	Önemlidir.	Önemlidir.
Renk farkı	Önemlidir.	Önemlidir.	-
Sarılık İndeksi	Önemlidir.	Önemlidir.	-

Bu çalışmada farklı sertlikteki suyla ıslatılmış kenevir lifi içeren denim kumaşların ozonla ağartılabilirliği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Yıkama işlemlerinden sonra ham değerine kıyasla gramaj değerleri azalma göstermiştir. Ozon kapasitesi ve süresi arttıkça lif kaybı nedeniyle gramaj azalmıştır.

Ozon kapasitesinin artışıyla lif kaybı gözlemlenerek kalınlık değerleri azalma göstermiştir. %50 ozon kapasitesinde 15 dakikalık ozon ağartma ile kumaş kalınlığı optimum değere ulaşmıştır.

Yıkama işlemlerinden sonra hava geçirgenliği azalmıştır. Sert su ile ıslatılmış denim kumaşlar daha yüksek hava geçirgenliğine sahiptir. Sert suda bulunan iyonlar ozon verimini olumsuz etkilemiştir. Bu sebeple boyutsal çekme daha az gerçekleşerek sıklık artışına neden olmamıştır.

Her iki su sertliğinde de ozon ağartma %50 kapasiteye kadar 5 dakika işlem süresinde uygulandığında yırtılma mukavemeti olumsuz etkilenmemiştir. Kumaş, yıkama işlemlerinden önce sert tutumu nedeniyle daha kolay yırtılmıştır. Yıkama işlemlerinden sonra yumuşatıcı etkisiyle kumaş tuşesindeki rijitlik azalarak yırtılma mukavemeti artmıştır.

Dairesel eğilme dayanımı ozonla ağartma ve ozonla sararmayı önleme için yapılan yıkama işlemlerinden sonra kumaş rijitliğinin azalması nedeniyle düşüş göstermiştir.

Denim kumaşın ham hali referans kabul edilerek kumaşların renk farkı değerlendirildiğinde ozon süresi ve kapasitesi arttıkça boyarmadde daha etkili bir şekilde sökülmüş ve renk farkı artış göstermiştir.

Ozon süresi ve kapasitesi arttıkça ozonun indigo karmin ile tepkimesi sonucu daha çok miktarda isatin sülfonik asit oluşarak kumaşın sarılık indeksi artmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Anabilim dalına ait bir yüksek lisans tezinin çıktısı olup Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne, çalışmanın yürütülmesinde deneylerin ve testlerin yapılması için destek veren FG Tekstil Konfeksiyon San. Tic. A.Ş./İzmir işletmesine ve Ar-Ge merkezi ekibine teşekkürlerimizi sunarız.

6. KAYNAKLAR

1. Kara, G., 2019. Farklı lif içeriklerine sahip denim kumaşların yapısal parametrelerle bazı yüzey özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi. Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 70.
2. Sabır, E.C., Sırlıbaş, S., Uzun, İ., Yiğit, D., 2023. Yenilikçi soya lifi içeren mamul denim ve spor giyim kumaşların yaşam döngüsü analizi (LCA). Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(4), 887-898.
3. Miyauchi, R., Zhou, X., Inoue, Y., 2023. Design elements that increase the willingness to pay for denim fabric products. Textiles, 3(1), 11-25.
4. Gürsoy, N., Eroğlu, N., 2024. Denim modasında sürdürülebilirlik ve ileri dönüşüm uygulamaları. Turkish Journal of Fashion Design and Management, 6(1), 1-22.

5. Öztürk, D., 2010. Pamuk ve poliester terbiyesinde ozon kullanımının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 131.
6. Khalil, E., 2015. Sustainable and ecological finishing technology for denim jeans. AASCIT Communication, 2(5), 159-163.
7. Palabıyık, İ., 2023. Kenevir içeren denim ürünlerin ozon ile yıkanması üzerine bir çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 164.
8. Kadıncık, N., Seyrek, M., Yıldırım, Z.N., Sobacı, Y., Uzun, M., 2023. Denim endüstrisinde sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi. ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 5(2), 72-99.
9. Palabıyık, İ., Körlü, A., Kayseri, G., 2022. The environmentally friendly denim washing containing hemp fiber. 4th International Congress on Engineering Sciences and Multidisciplinary Approaches, Istanbul, 1206.
10. Palabıyık, İ., Körlü, A., Kayseri, G., Sakan, E., Özcan, U., 2024. Special fiber usage opportunities in denim fabric production. Ases II. International Bandırma Scientific Studies Congress, Balıkesir, 375-376.
11. Sakan, E., Palabıyık, İ., 2023. Rejenere selüloz içeren denim ürünlerin ağartma davranışlarının incelenmesi. 12. Uluslararası Avrasya Bilimsel Araştırmalar ve Güncel Gelişmeler Kongresi, Ankara, 319-320.
12. Jasti, A., Biswas, S., 2023. Characterization of elementary industrial hemp (Cannabis Sativa L.) fiber and its fabric. Journal of Natural Fibers, 20(1), 1-14.
13. Kertmen, N., Yıldırım, N., 2022. Farklı karışım oranlarında kenevir lifi kullanımının ve iplik numarasının iplik ve kumaş özelliklerine etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 24(72), 763-772.
14. Yüksek, A., Havuz, S., Karaduman, N., Şimşek, H., Honca, M., 2022. An investigation on the antimicrobial activity of hemp fiber and fabrics against common nasocomial infection agents. Çukurova Anestezi ve Cerrahi Bilimler Dergisi, 5(2), 137-144.
15. Fraj, A., Jaouachi, B., 2021. Effects of ozone treatment on denim garment properties. Coloration Technology, 137(6), 678-688.
16. Gaujena, B., Agapovs, V., Borodinecs, A., Strelets, K., 2020. Analysis of thermal parameters of hemp fiber insulation, Energies, 13(23), 6385, 1-14.
17. Panaitescu, D.M., Fierascu, R.C., Gabor, A.R., Nicolae, C.A., 2020. Effect of hemp fiber length on the mechanical and thermal properties of polypropylene/SEBS/hemp fiber composites. Journal of Materials Research and Technology, 9(5), 10768-10781.
18. Neves, A.C.C., Rohen, L.A., Mantovani, D.P., Carvalho, J.P., Vieira, C.M.F., Lopes, F.P., Monteiro, S.N., 2020. Comparative mechanical properties between biocomposites of epoxy and polyester matrices reinforced by hemp fiber. Journal of Materials Research and Technology, 9(2), 1296-1304.
19. Ribeiro, M.P., Neuba, L., da Silveira, P., Luz, F.S., Figueiredo, A.B.H., Monteiro, S.N., Moreira, M.O., 2021. Mechanical, thermal and ballistic performance of epoxy composites reinforced with Cannabis sativa hemp fabric. Journal of Materials Research and Technology, 12, 221-233.
20. Corbin, A.C., Soulat, D., Ferreira, M., Labanieh, A.R., Gabrion, X., Malécot, P., Placet, V., 2020. Towards hemp fabrics for high-performance composites: Influence of weave pattern and features. Composites Part B: Engineering, 181, 1-25.
21. Hakamy, A., Shaikh, A., Low, M., 2013. Microstructures and mechanical properties of hemp fabric reinforced organoclay-cement nonocomposites. Construction and Building Materials, 49, 298-307.
22. Misnon, I.M., Islam, M.M., Epaarachchi, J.A., Lau, K.T., Wang, H., 2016. Fabric parameter effect on the mechanical properties of woven hemp fabric reinforced composites as an alternative to wood products. Advance Research in Textile Engineering, 1(1), 1-11.
23. Liu, Y., Xu, R.C., Zhang, Y.P., 2011. Development of fabric knitted by hemp/cotton yarn. Advanced Materials Research, 332, 667-671.
24. Stanković, S.B., Pavlović, S., Bizjak, M., Popović, D.M., Poparić, G.B., 2022. Thermal design method for optimization of dry heat transfer through hemp-based knitted fabrics. Journal of Natural Fibers, 19(15), 12155-12167.
25. Liu, Z., Chen, K., Fernando, A., Gao, Y., Li, G., Jin, L., Zheng, Z., 2021. Permeable graphited hemp fabrics-based, wearing-comfortable pressure sensors for monitoring human activities. Chemical Engineering Journal, 403, 126191. 1-8.
26. Gedik, G., Avinc, O., 2018. Bleaching of hemp (Cannabis sativa L.) fibers with peracetic acid for textiles industry purposes. Fibers and Polymers, 19, 82-93.

27. Kushwaha, R., Kesarwani, P., Kushwaha, A., 2024. Effect of scouring and bleaching on the physico-mechanical properties of the hemp fabric. *Fibers and Polymers*, 25, 1-8.
28. Sonmez, S., Marcello, C., Salam, A., 2023. Chemical modification for resistance to photo-oxidative degradation and improved bleaching and color fastness properties of hemp fiber. *Cellulose Chemistry & Technology*, 57, 551-556.
29. Hussien, M., Elnega, H., 2022. The effect of blending industrial hemp as an eco-friendly material with cotton to produce jeans clothes. *Journal of Architecture, Arts and Humanistic Sciences*, 7(34), 510-535.
30. Avcı, M., Demiryürek, O., 2022. Development of sustainable and ecological hybrid yarns: hemp fiber in denim fabric production. *Cellulose Chemistry and Technology*, 56(9-10), 1089-1100.
31. Okur, N., 2022. Thermo-physiological and handle-related comfort properties of hemp and flax blended denim fabrics. *Journal of Natural Fibers*, 19(15), 10179-10192.
32. Sarıçam, C., 2022. The comfort properties of hemp and flax blended denim fabrics with common industrial washing treatments. *Textile Research Journal*, 92(17-18), 3164-3178.
33. Zhang, L., Guo, F., Zuo, D.Y., Liao, S., Wang, Q., Liu, L., Ma, D., Liu, H., Yi, C., 2022. Effect of ozone washing on the antibacterial property of hemp yarn. *The Journal of The Textile Institute*, 113(12), 2569-2574.
34. Karagöz, Y., 2010. Nonparametrik tekniklerin güç ve etkinlikleri. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(33), 18-40.
35. Öztürk, D., Eren, H.A., 2010. Tekstil terbiyesinde ozon kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 15(2), 37-51.

