

Kenevir/Pamuk Karışım Kumaşlar İçin Sürdürülebilir Ön Terbiye Proseslerinin Geliştirilmesi

Burcu SANCAR^{1,a}

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye

^aORCID: 0000-0001-5120-268X

Makale Bilgileri

Geliş : 21.01.2025

Kabul : 28.04.2025

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1623914

Sorumlu Yazar

Burcu SANCAR

bbesen@adiyaman.edu.tr

Anahtar Kelimeler

Kenevir

Enzim

Ön terbiye

Sürdürülebilirlik

Atıf şekli: SANCAR, B., (2025). Kenevir/Pamuk Karışım Kumaşlar İçin Sürdürülebilir Ön Terbiye Proseslerinin Geliştirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 40(4), 755-762.

ÖZ

Son yıllarda artan çevre bilinci nedeniyle, çevre dostu elyaflara olan ilgi artmış ve bu kapsamda kenevir kullanımı önem kazanmıştır. Ancak kenevir elyafının pamuğa göre daha fazla yabancı madde içeriyor olması, klasik boyamaya hazırlık işlemlerinde daha fazla kimyasal, su ve enerji kullanım ihtiyacı doğurmakta, bu durum çevre yükü oluşturmaktadır. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için, kenevir içeren tekstil yüzeyleri için sürdürülebilir ön terbiye proseslerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Mevcut çalışmada, kenevir/pamuk karışım kumaşlar için pektinaz, lakkaz ve peroksidaz enzimlerinin kullanımı ile enzimatik ön terbiye proseslerinin geliştirilmesi amaçlanmış ve bu enzimlerin kumaşların boyanabilirlikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca pektinaz enzimi içeren flottenin tekrar kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla, flotte dökülmeden beş tekrarlı kullanımı da denenmiştir. Çalışma sonuçları pektinaz enziminin kumaşların iyi bir hidrofilite kazanmaları için yeterli olduğunu; ancak lakkaz ve peroksidaz enzimlerinin kumaşların beyaz kullanımı veya açık renk boyanması için yeterli ağartma performansı göstermediğini ortaya koymuştur.

Improving of Sustainable Pretreatment Processes for Hemp/Cotton Blended Fabrics

Article Info

Received : 21.01.2025

Accepted : 28.04.2025

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1623914

Corresponding Author

Burcu SANCAR

bbesen@adiyaman.edu.tr

Keywords

Hemp

Enzyme

Pretreatment

Sustainability

How to cite: SANCAR, B., (2025). Improving of Sustainable Pretreatment Processes for Hemp/Cotton Blended Fabrics. Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 40(4), 755-762.

ABSTRACT

Due to increasing environmental awareness in recent years, interest in environmentally friendly fibers has increased and the use of hemp has gained importance in this context. However, the fact that hemp fiber contains more foreign substances than cotton requires the use of more chemicals, water, and energy in the classical preparation processes for dyeing. It causes an extra environmental load. To eliminate this disadvantage, it is very important to develop sustainable pretreatment processes for textile surfaces containing hemp. In the current study, it was aimed to develop enzymatic pretreatment processes for hemp/cotton blended fabrics by using pectinase, laccase, and peroxidase enzymes, and the effects of these enzymes on the dyeability properties of the fabrics were investigated. In addition, in order to investigate the reusability of the liquor containing the pectinase enzyme, five repeated uses were tried without spilling the liquor. The results show that pectinase enzyme is sufficient for fabrics to gain good hydrophilicity, while the laccase and peroxidase enzymes do not have sufficient bleaching performance for the fabrics that will be used white or dyed in light colors.

1. GİRİŞ

Artan bilinç düzeyi ve insanlardaki ekolojik kaygıların artması sebebiyle, doğal, biyobozunur ve sürdürülebilir materyallerin önem kazanması ile birlikte, kenevir liflerinin kullanımına ilgi artmaya başlamıştır [1-3]. Kenevir bitkisi yetiştirilmesi esnasında, pamuk ve ketenden farklı olarak, yüksek su tüketimi, gübre ve tarım ilacına ihtiyaç duymadığından, sürdürülebilir ve çevre dostu olarak üretilebilmektedir [3,4]. Ayrıca kenevir lifleri yüksek mukavemet, yüksek nem çekme, nefes alabilirlik, antipilling, antibakteriyel, UV koruma, antialerjik ve iyi elektrostatik özellik göstermesi ile katma değeri yüksek ürünlerin üretiminde tercih edilmektedir [5-9].

Bir tekstil elyafının bileşiminde bulunan maddeler elyaf özelliklerine ve davranışlarına etki edeceği gibi üretim özelliklerine de etkilemektedir. Bu nedenle, elyafı oluşturan maddelerin iyi bilinmesi optimum proses şartlarının seçilebilmesi ve bu elyaftan üretilecek ürünün kullanım özelliklerinin öngörülebilmesi açısından oldukça önemlidir [10]. Çizelge 1 incelendiğinde, kenevir liflerinin selülozun yanında yüksek oranda hemiselüloz, lignin ve pektin içerdiği görülmektedir [11,12].

Çizelge 1. Kenevir ve diğer bazı selülozik liflerin kimyasal bileşimi [6]

Elyaf	% Selüloz	% Hemiselüloz	% Lignin	% Pektin
Pamuk	92	6	-	<1
Jüt	72	13	13	-
Keten	81	14	3	4
Sisal	73	13	11	2
Kenevir	74	18	4	1
Rami	76	15	1	2
Kapok	13	-	-	-

Çizelge 1'den de görüldüğü gibi kenevir liflerinin yabancı madde içeriği pamuğa göre daha yüksektir ve bu safsızlıkların uzaklaştırılması için kenevir lifleri pamuğa göre daha ağır şartlarda ön terbiye işlemlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu durum da kenevir/pamuk karışım tekstil materyallerinin, %100 pamuk içeren tekstil materyallerine nazaran, konvansiyonel ön terbiye proseslerinde daha yüksek kimyasal madde kullanımına ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır. Gedik, %100 kenevir lifinden üretilmiş dokuma kumaşların optimum ağartma koşullarını belirleyebilmek amacıyla yaptığı yüksek lisans tezinde, kenevir kumaş numunelerine çeşitli yükseltgen (hidrojen peroksit, perasetik asit, potasyum permanganat, sodyum perborat, sodyum perkarbonat) ve indirgen (thioüre dioksit, sodyum borohidrit, glikoz) maddelerle ön terbiye işlemleri uygulamış ve en yüksek beyazlığın elde edilebildiği hidrojen peroksit ağartmasının 20 g/L H₂O₂ (1,5 g/L NaOH, 3mL/L stabilizatör, 1mL/L ısıtıcı) kullanımı ve 95 °C'de 90 dakika çalışma gerektirdiğini tespit etmiştir [10]. Aynı beyazlık değerlerini %100 pamuklu kumaşlarda elde etmek için 3 g/L H₂O₂ kullanarak 90 °C'de 60 dakika çalışmanın yeterli olduğu göz önünde bulundurulduğunda; kenevir içerikli kumaşların konvansiyonel ön terbiye proseslerinin daha fazla enerji, zaman ve kimyasal sarfıyatı, dolayısıyla çevre yükü oluşturacağı net bir şekilde görülmektedir [13]. Bu nedenle, kenevir liflerinin sürdürülebilir üretiminin tekstil ürünlerine dönüşüm sürecinde uygulanan terbiye proseslerinde de devam ettirilebilmesi için, ön terbiye işlemlerinde klasik yöntemler yerine, çevre dostu alternatif üretim süreçlerinin uygulanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır [14].

Tekstil terbiyesinde, çevre yükünü azaltmak ve çevreyle uyumlu bir üretim gerçekleştirebilmek için, terbiye işlemlerinde doğayla daha dost, daha uyumlu maddeler ve teknolojiler tercih edilmesi gerekliliği nedeniyle, ön terbiye işlemlerinde enzimlerin kullanımı sürekli araştırılan konular arasındadır [15]. Doğal protein olan enzimler, kimyasal bir reaksiyonu katalizledikten sonra serbest kalarak, bir sonraki reaksiyonu da katalizleyebildiğinden, işlem için çok az miktarda yeterli olabilmektedir. Ayrıca enzimler, çok kolay ve hızlı bir şekilde biyolojik olarak parçalanabildiklerinden atık su yükü oluşturmamaktadırlar [16,17].

Literatür incelendiğinde, kenevirden üretilen tekstil materyallerinin ön terbiyesinde enzimlerin ve ozon gazının ve kenevir elyafın havuzlanması sırasında ozon gazının kullanıldığı bazı çalışmaların mevcut olduğu görülmektedir. Bu çalışmalardan mevcut çalışma ile en yakın olanlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Pritima ve Ritu (2016) yaptığı çalışmada, enzimatik ağartmanın kenevir kumaşların fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, çeşitli kimyasallar ile lakkaz enzimini birlikte kullanarak prosesler

(Lakkaz + H₂O₂, Lakkaz + NaOCl, Lakkaz + NaOH, H₂O₂+ Lakkaz, NaOCl + Lakkaz, and NaOH + Lakkaz) uygulamıştır. Sonuçta en iyi beyazlığın lakkaz + NaOCl işlemi ile elde edildiği ve enzim uygulamasının kumaşların fiziksel özellikleri üzerinde olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir [18].

Fang ve arkadaşları yaptığı çalışmada, kenevir elyafı pektinaz ve ardından NaOH ile ön işleme tabi tutarak, elyaf numunelerinin yüzey morfolojisi, kimyasal bileşimi ve kopma mukavemet özelliklerini araştırmıştır. Sonuçta, pektinaz işlemi sonrası az miktarda NaOH uygulaması ile konvansiyonel NaOH uygulamasına göre daha kaliteli liflerin elde edilebildiği belirlenmiştir [19].

Merdan, %100 kenevir elyafı farklı lakkaz enzimi konsantrasyonları kullanarak, farklı sürelerde işleme tabi tutmuştur. Çalışmada konvansiyonel, ultrasonik enerji ve mikrodalga enerjisi metotları karşılaştırmalı olarak kullanılmış ve çalışma sonucunda çevre dostu mikrodalga teknolojisinin elyafların mukavemet, ağırlık kaybı ve uzama özelliklerini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, ultrasonik enerji metodu beyazlık değerini arttırmış; ancak enerji tüketimini de arttırmıştır [20].

Guo ve arkadaşları yaptığı çalışmada, kenevir organik pamuk karışımı kumaşlarda selüloz ve pektinaz enzimi kullanarak enzimatik yıkama işlemi yapmış ve ardından kumaş numunelerini reaktif boyarmadde ile boyamıştır. Sonuçta, daha yumuşak tutumlu, düzgün yüzeyli ve daha koyu renkli kumaş numuneleri elde edilmiştir [21].

Yılmaz Şahinbaşkan yaptığı çalışmada, %100 kenevir dokuma kumaşa NaOH, H₂O₂ ve üç farklı enzim (amilaz, pektinaz ve lakkaz) kullanarak, kombine prosesler ile üç farklı yöntemle göre ön terbiye uygulaması ve kumaş performans özelliklerini karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, sadece enzimler ile yapılan ön terbiye proseslerinin kumaş renklendirme işlemleri için yeterli olmadığını ve proseslerin geliştirilmesi gerektiğini göstermiştir [2].

Karakaya yaptığı yüksek lisans tezinde, %100 kenevir lifini ozon gazı ile ön terbiye işlemine tabi tutmuş ve lifleri daha sonra doğal boyarmaddeler kullanarak renklendirmiştir. Sonuçlar, ozonlama ile konvansiyonel ağartma yöntemine yakın beyazlık sonuçları elde edildiğini; ancak elde edilen hidrofiliteğin düşük olduğunu göstermiştir [22].

Gedik ve arkadaşları, kenevirin havuzlanması sırasında havuzlama banyosunu farklı ozon konsantrasyonu ve ozonlama süresinde işleme tabi tutarak, banyodaki mikroorganizmaları ve diğer organik bileşikler yok etmeyi ve aynı zamanda kenevir elyafı beyazlatmayı amaçlamıştır. Sonuçlar, elyafın koyu renkli boyamalar için uygun bir beyazlık değerine ulaştığını, havuzlama banyosundaki safsızlıkların uzaklaştığını ve elyaftaki selüloz miktarının ve kristalin indeksinin arttığını ortaya koymuştur [23].

Yukarıda özetlenen çalışmalardan görüldüğü gibi, kenevir içeren kumaşların ön terbiyesinde pektinaz ve lakkaz enzimlerinin kullanıldığı mevcut çalışma ile benzer bazı çalışmaların olduğu görülmektedir. Ancak yapılan çalışmalar detaylı şekilde incelendiğinde, lakkaz enzimin tek başına kullanımının iyi bir beyazlık değerinin elde edilebilmesi için yeterli olmadığı ve lakkaz enzimine alternatif enzimlerin de araştırılması gerektiği görülmektedir. Bu amaçla mevcut çalışmada, lakkaz enziminin yanında, denim kumaşların ağartılma proseslerinde kullanılan peroksidaz enzimin kenevir kumaşların ağartılmasında kullanım olanakları da araştırılmıştır. Ayrıca çalışmada, enzimatik banyoların dökülmeden yeniden kullanılabilirliği üzerinde de durulmuştur. Özetlemek gerekirse, mevcut çalışmada kenevir/pamuk karışımı kumaşların pektinaz enzimi ile hidrofilleştirilme ve ardından lakkaz, peroksidaz ve lakkaz/peroksidaz enzimleri ile ağartılma olanakları araştırılmıştır. Çalışma sonrası kumaşların hidrofiliteği damlama ve batma testleri, ağartma performansları beyazlık ölçümü ve CIEL*a*b* renk değerleri ölçümleri vasıtasıyla, konvansiyonel hidrojenperoksit ağartması ile kıyaslanarak incelenmiştir. Ayrıca enzimatik işlem çözeltilerinin tekrar kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla, pektinaz enzimi içeren flotte işlem sonrası dökülmeden beş tekrarlı olarak kullanılmış ve her bir işlem sonrası kumaş numunelerinin hidrofilite değerleri de araştırılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada, hidrojenperoksit (%50 lik H₂O₂ aktif O₂ miktarı: %23.5), sodyumhidroksit (NaOH), ıslatıcı, stabilizatör, soda ve Alfa Kimya'dan temin edilen pektinaz (Novozymes BioPrep® 3000 L), lakkaz

(Novozymes Novoprime® Base 268) ve peroksidaz (Novozymes Novozym® 59127) enzimleri kullanılmıştır.

Çalışmalarda, MEM tekstil (Kahramanmaraş) firmasından temin edilen %30 kenevir, % 70 pamuk lifi karışımı (Ne 20/1 ring iplik) ham düz örme (süprem) kumaş (32''/22 fein) kullanılmıştır.

2.2. Metot

Kumaşlar hazırlanıp kumaşlara sırasıyla enzimatik hidrofilleştirme (biyohidrofilleştirme) ve enzimatik ağartma işlemleri uygulanmıştır. Sonuçları karşılaştırmak amacıyla, referans hidrofilit ve beyazlık değerleri elde etmek için ham kumaşa konvansiyonel hidrojenperoksit ağartması da yapılmıştır. Kumaşlara uygulanan prosesler Çizelge 2'de verilmiştir.

Biyohidrofilleştirme: Kenevirli kumaşların hidrofilleştirme işlemleri pektinaz enzimi kullanılarak yapılmıştır. Biyohidrofilleştirme işlemleri, 1/20 flotte oranında, 1g/L pektinaz ve 1g/L ıslatıcı kullanılarak (pH 8-8,5 soda ile) 50 °C'de 60 dk süreyle IR boyama makinesinde uygulanmıştır. İşlem sonunda kumaş numuneleri 10 dk kaynar yıkama ve ardından soğuk durulama yapılarak, oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Ayrıca pektinaz enziminin tekrar kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla, kumaş numunelerinin biyohidrofilleştirme işlemi sonrası, aynı flotte dört defa daha kullanılarak (herhangi bir ilave yapılmaksızın) kumaşlara hidrofilleştirme işlemi uygulanmıştır. Her işlem biyohidrofilleştirme işlem şartlarını ve onu takip eden kumaş yıkama ve kurutma işlemlerini takip ederek gerçekleştirilmiş ve kumaş numuneleri hidrofilit testleri için ayrılmıştır.

Enzimatik Ağartma: Kumaş numunelerine enzimatik ağartma işlemleri lakkaz ve peroksidaz enzimleri kullanılarak uygulanmıştır. Bu amaçla, lakkaz, peroksidaz ve lakkaz/peroksidaz enzimin birlikte kullanımı ile ağartma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Lakkaz ve peroksidaz enzimlerinin ayrı ayrı kullanıldığı ağartmalar, 2 g/L enzim kullanılarak 1/20 flotte oranında (pH 5 - 5.5) 40 °C'de 60 dk süreyle IR boyama makinesinde yapılmıştır. Lakkaz ve peroksidaz enziminin birlikte kullanımıyla yapılan enzimatik ağartma işlemleri 1g/L lakkaz ve 1g/L peroksidaz kullanılarak 1/20 flotte oranında (pH 5 - 5.5) 40 °C'de 60 dk süreyle IR boyama makinesinde yapılmıştır. İşlem sonunda kumaş numuneleri 10 dk kaynar yıkama ve ardından soğuk durulama yapılarak, oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

Konvansiyonel ağartma: Sonuçları karşılaştırmak amacıyla ham kumaş, 10g/L H₂O₂, 1.5 g/L NaOH, 3g/L stabilizatör, 1 ml/L ıslatıcı kullanılarak 98 °C'de 60 dk süreyle IR boyama makinesinde referans konvansiyonel ağartma (tek adımda hidrofilleştirme ve ağartma) işlemine tabi tutulmuştur. İşlem sonunda kumaş numunelerine 0.2 g/L katalaz (pH 6-6.5 soda ile) kullanılarak 50 °C'de 10 dk işlem uygulanmış ve ardından oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

Çizelge 2. Kumaşlara uygulanan prosesler

Proses	Uygulama reçetesi	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)	Ard işlem
Konvansiyonel ağartma (Referans işlem)	10 g/L H ₂ O ₂ (%50) 1.5 g/L NaOH 3 g/L stabilizatör 1 ml/L ıslatıcı	98	60	0.2 g/L katalaz (pH 6-6.5)
Biyohidrofilleştirme	1 g/L pektinaz 1 g/L ıslatıcı (pH 8-8.5)	50	60	
Enzimatik ağartma 1	2 g/L lakkaz (pH 5-5.5)			10 dk kaynar yıkama
Enzimatik ağartma 2	2 g/L peroksidaz (pH 5-5.5)	40	60	Soğuk durulama
Enzimatik ağartma 3	1 g/L lakkaz+1g/L peroksidaz (pH 5-5.5)			

2.3. Test Metotları

Hidrofilite testi: Kumaş numunelerinin biyohidrofilileştirme işlemi sonrası hidrofilite değerlerini belirleyebilmek amacıyla, kumaş numunelerine damlama ve batma testleri uygulanmıştır. Ayrıca pektinaz enzimin tekrar kullanımını araştırmak amacıyla yapılan tekrarlı flotte kullanımı sonrası da kumaş numunelerinin hidrofilite değerleri ölçülmüştür. Damlama testi, AATCC 79 standardına göre, kumaşa pastör pipet yardımıyla su damlatılması vasıtasıyla, damlanın kumaş tarafından emilim süresi ve yayılma çapının ölçülmesiyle belirlenmiştir [24]. Batma testi, AATCC 79 B standardına göre, 5cm X 5cm kumaş numunesinin 500 ml lik su dolu behere bırakılması ve kumaşın yüzeyden ayrıldığı sürenin ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir [25]. Damlama ve batma testleri beşer tekrarlı yapılarak ortalama değerler alınmıştır.

Beyazlık ve CIEL*a*b* renk değerleri ölçümü: Kumaş numunelerinin beyazlık ölçümleri ve CIEL*a*b* renk değerleri, Minolta marka 3600A model spektrofotometre ile ölçülmüştür. Kumaşların beyazlık değerleri Berger formülüne göre ölçülmüştür. Ölçümler, D65 gün ışığında ve 10° gözlemci açısı kullanılarak yapılmıştır [26]. Her ölçüm üç kez tekrarlanmış olup, sonuçların ortalaması alınmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Ham ve referans (H₂O₂ ile ağartılmış) kumaş numunelerine uygulanan damlama ve batma testi sonuçları Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Kumaş numunelerinin hidrofilite sonuçları

Numune	Batma testi	Damlama testi	
	Süre (s)	Süre (s)	Çap (mm)
Ham kumaş	Batma olmadı	-	-
Referans kumaş	3.24	3.94	11.16
Pektinaz enzimi içeren flottenin ilk kullanımı sonrası	2.77	4.35	16.33
Pektinaz enzimi içeren flottenin 2. kullanımı sonrası	10.14	9.36	11.33
Pektinaz enzimi içeren flottenin 3. kullanımı sonrası	15.27	9.58	10.25
Pektinaz enzimi içeren flottenin 4. kullanımı sonrası	31.39	12.84	10.08
Pektinaz enzimi içeren flottenin 5. kullanımı sonrası	36.94	14.57	8.33

Çizelge 3'te kumaş numunelerinin batma ve damlama testi ile elde edilmiş hidrofilite sonuçları verilmiştir. Batma testinde batma süresinin kısılması, damlama testinde damla yayılım süresinin kısılması ve damla çapının artması hidrofilite değerlerinin iyileştiğini göstermektedir. Çizelgede verilen hidrofilite sonuçları, pektinaz enzimi ile işlem gören kumaş numunelerinin batma süresinin referans kumaştan daha düşük olduğunu ve damla çapının ise referans kumaştan daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, pektinaz enzimi uygulaması ile kumaşların hidrofilite değerlerinin konvansiyonel H₂O₂ ağartması sonrası elde edilen referans değerlerden yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Pektinaz enzimi ile işlem gören kumaşların damlama testi sonrası damlayı biraz daha geç şekilde emdiği, ancak emdikten sonra daha fazla yayılım gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, kumaşın pektinaz enzimi ile işlem sonrası yapısından uzaklaşan pektinin kumaşın hidrofilitesini yeterli seviyede arttırdığını göstermektedir. Ancak damla emilim süresinin biraz daha yüksek oluşunu, pektinaz enzimi ile yapılan işlem sırasında kumaştan uzaklaşmayan yağ ve mumların kumaşa ilk su damlası temas ettiğinde, kumaş yüzeyinde bir bariyer oluşturduğu ve yüzeyden su emilimini bir miktar geciktirdiği şeklinde açıklamak mümkündür. Elde edilen hidrofilite sonuçları literatürde bulunan çalışma sonuçları ile örtüşmektedir. Yılmaz Şahinbaşkan [2] %100 kenevir içeren dokuma kumaşlarda pektinaz enzimi kullanımıyla yaptığı biyohidrofilileştirme işleminde konvansiyonel hidrofilileştirme işlemine göre daha iyi hidrofilite sonuçları elde etmiştir. Söz konusu çalışmada en iyi hidrofilite sonuçları konvansiyonel hidrofilileştirme ardından H₂O₂ ağartması sonrası elde edilmiş olmasına rağmen, günümüzde konvansiyonel hidrofilileştirme ve ağartma işlemleri tek banyoda yapıldığından mevcut çalışmada elde edilen sonuçların daha güncel olduğunu söylemek mümkündür. Benzer sonuçlar Sancar ve arkadaşlarının [17] %100 pamuklu dokuma kumaşlar üzerine yaptığı çalışma sonuçları ile de bu noktada benzerlik göstermektedir. Bu durum, kenevir/pamuk karışım kumaşlarda iyi bir hidrofilite sağlamak için çevre dostu pektinaz enzimi kullanımının tek başına yeterli olduğunu ortaya koymaktadır. Pektinaz enzimi içeren flottenin tekrar kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla yapılan tekrarlı

biyohidrofilleştirme işlemleri sonrası elde edilen kumaş hidrofilite sonuçları incelendiğinde, flottenin her bir kullanımı sonrası kumaş numunelerinin hidrofilite değerlerinin kötüye gittiği görülmektedir. Bu sonuçlar, pektinaz enzimi içeren flottenin herhangi bir ilave yapılmaksızın tekrar kullanılma özelliğinin olmadığını ortaya koymuştur. Bu durumun, her bir işlem sonrası kirlenen flotte nedeniyle enzim aktivitesinin düşmesi ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Enzim aktivitesinin ölçülmesi ile gerekli enzim ilavesinin ve pH ayarlamasının yapılması vasıtasıyla flottenin yeniden kullanılma durumunun araştırılması gerekmektedir.

Enzimatik ve referans H_2O_2 ağartması sonrası elde edilen kumaş numunelerinin beyazlık ve CIEL*a*b* renk değerleri Çizelge 4'te görülmektedir.

Çizelge 4. Kumaş numunelerinin beyazlık ve CIEL*a*b* renk değerleri

Kumaş numunesi	Beyazlık (Berger)	L*	a*	b*	C*	h°
Ham kumaş	13.30	71.36	1.52	9.27	9.40	80.68
Referans kumaş	50.16	92.10	-0.21	6.68	6.68	91.82
Pektinaz ile işlem gören	19.75	71.55	1.49	7.06	7.21	78.11
Lakkaz ile işlem gören	21.01	71.21	1.09	6.68	6.77	80.70
Peroksidaz ile işlem gören	21.37	71.76	1.08	6.75	6.83	80.91
Lakkaz+peroksidaz ile işlem gören	21.30	71.75	1.12	6.75	6.84	80.55

CIEL*a*b* renk uzayında; L* değeri bir rengin açıklık-koyuluğu, a* değeri kırmızılık- yeşilliği ve b* değeri sarılık-maviliği hakkında bilgi vermektedir. L* değeri 0 ile 100 arasında değişiklik göstermekte ve değer arttıkça renk açılmaktadır. a* ve b* değerlerinin yükselmesi ise rengin kırmızılık ve sarılık değerlerinin artması anlamlarına gelmektedir. C* değeri bir rengin doygunluğunu, h° değeri de açısını göstermektedir. Normal şartlarda CIEL*a*b* renk değerleri boyanmış kumaşların renk değerlerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kenevir içeren kumaşların kenevirin koyu kahverenginden kaynaklı kumaşa melanaj bir renk vermesinden dolayı, kumaşların enzimatik ağartma sonrası beyazlık performanslarını araştırmak amacıyla beyazlık değeri yanında renk değerleri de ölçülmüştür. Çizelge 4'te verilen beyazlık değerleri incelendiğinde referans kumaşın beyazlık değerinin 50 Berger, enzimatik ağartma sonrası elde edilen en iyi değer ise 21.37 Berger olduğu görülmektedir. Bu değer, enzimatik ağartma sonrası ham kumaşa (13.30 Berger) göre beyazlık değerinin arttığını; ancak enzimatik ağartma sonrası beyaz kullanılacak ve açık renk boyanacak kumaşlar için yeterli beyazlık değerine ulaşamadığını göstermektedir. Bu sonuçlar da literatürde lakkaz enzimi uygulamasıyla beyazlık iyileştirmesi üzerine odaklanan çalışma sonuçları ile örtüşmektedir [2,17,18,20]. Merdan [20] kenevir elyafı lakkaz enzimi ile ağartmak amacıyla ultrasonik enerji ve mikrodalga enerjisi teknolojilerini kullanarak daha iyi beyazlık değerlerine ulaşabilmiştir. Bu durum, enzimlerin özellikle ultrasonik enerji varlığında kullanılması ile daha iyi beyazlık değerlerine ulaşmanın mümkün olduğunu göstermektedir. Kumaşların CIEL*a*b* renk değerleri incelendiğinde, enzimatik ağartma sonrası kumaşların sarılık değerinin referans kumaşa yaklaştığı, kırmızılık değerlerinin ise yüksek kaldığı görülmektedir. Ayrıca enzimatik ağartmada en iyi sonucun peroksidaz ağartması ile elde edildiğini ve peroksidaz enzimi konsantrasyonu, işlem süresi, işlem sıcaklığı gibi çalışma parametrelerinin değiştirilmesi ile daha iyi beyazlık değerlerine ulaşılmasının mümkün olabilecektir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ülkemizde son yıllarda önemi artan kenevir lifi karışım kumaşların enzimlerin kullanımı ile ekolojik olarak ön terbiye işlemlerini yapmak amaçlanmıştır. Bu mihvalde, %30 kenevir / %70 pamuk karışım kumaşlara sadece enzim kullanımı ile hidrofilite ve beyazlık kazandırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla kumaş numuneleri ilk olarak pektinaz enzimi ile daha sonra lakkaz, peroksidaz ve lakkaz ile peroksidaz enzimin birlikte kullanımı ile işleme tabi tutulmuştur. Yapılan işlemler sonrası kumaş numunelerinin ön terbiye performansları hidrofilite (damlama ve batma testleri ile), beyazlık ve CIEL*a*b* renk ölçümü testleri ile incelenmiştir. Ayrıca enzimatik banyoların tekrar kullanılabilirliklerinin araştırılması amacıyla, pektinaz enzimi içeren flotte beş tekrarlı olacak şekilde kullanılmış ve her bir kullanım sonrası elde edilen kumaş numunelerinin hidrofiliteleri de ölçülmüştür. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Kumaşların pektinaz enzimi sonrası hidrofilite önemli ölçüde gelişmiş ve sadece pektinaz enzimi kullanımı ile referans kumaş numunesinden bile daha iyi hidrofilite sonuçları elde edilebilmiştir.
- Pektinaz enzimi içeren flottenin tekrar kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla yapılan tekrarlı biyohidrofilleştirme işlemleri flottenin her bir kullanımı sonrası kumaş numunelerinin hidrofilite değerlerinin kötüye gittiğini göstermiş ve pektinaz enzimi içeren flottenin tekrar kullanıma özelliğinin olmadığını ortaya konulmuştur. Enzimatik işlem flottelerinin enzim konsantrasyonu, pH gibi ölçümleri sonrası gerekli ilaveler yapılarak yeniden kullanımının araştırılması önerilmektedir.
- Enzimatik ağartma işlemi, kenevirli kumaşların beyazlık değerlerinde artış sağlamış, ancak referans kumaşın beyazlık seviyesine ulaşamamıştır. En iyi beyazlık değeri, peroksidaz enzimi kullanılarak yapılan ağartma işleminde elde edilmiştir. Sadece peroksidaz enzimi kullanılarak ham kumaşa kıyasla belirgin bir beyazlık iyileşmesi sağlanmakla birlikte, elde edilen beyazlık değeri açık renk boyama ve beyaz kullanım için yetersiz kalmıştır. İyileştirme için enzim konsantrasyonu, çalışma sıcaklığı ve süresinin artırılması, enzimatik işlem sırasında ultrasonik enerji/mikrodalga enerjisi kullanımının araştırılması veya enzim+ozon kombinasyonlarının denenmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak, enzimatik ön terbiye işlemleri, kenevirli kumaşlarda beyazlatma ve renk iyileştirme açısından olumlu sonuçlar sunmuş, ancak beyazlatma için bazı parametrelerin optimize edilmesi gerektiği belirlenmiştir. Enzimatik işlemler, çevre dostu olmaları ve kimyasal kullanımını azaltmaları açısından sürdürülebilir tekstil üretimine önemli katkılar sağlamaktadır. Kenevir gibi doğal ve sürdürülebilir bir elyafın sadece enzimlerin kullanımı ile ön terbiyesinin yapılması hem çevresel etkileri azaltma hem de tekstil sektöründe yenilikçi yaklaşımların önünü açma potansiyeline sahiptir.

5. KAYNAKLAR

1. Özdemir, S. ve Tekoğlu, O. (2013). Ekolojik tekstil ürünlerinde kullanılan hammaddeler. *Akdeniz Sanat Dergisi*, 4(8), 27-30.
2. Yılmaz Sahinbaşkan, B. (2019). Kenevir dokuma kumaşa enzimatik ön işlemlerin etkisi. *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.*, 3, 208-213
3. Dinçer Şahan, Ö., Korkmaz, N. & Karadağ, A. (2024). Alkali pretreatment and analysis of biomass content of narlısaray population and vezir type cannabis plant. *International Journal of Chemistry and Technology*, 8(1), 83-89.
4. Zhu, R., Yu, Y., Yang, W., Zhao, J., Shi, G. & Liu, J. (2021). Novel scouring method of hemp fibers based on electrochemical techniques. *Textile Research Journal*, 91(19-20), 2215-2224.
5. Atav, R., Diden, D.B., Keskin, S. & Ürgünay, U. (2024). Investigation of the dyeability and various performance properties of fabrics produced from flax and hemp fibres and their blends with cotton in comparison with cotton, *Coloration Technology*, 140, 440-450.
6. Kaya, S. ve Öner, E. (2020). Kenevir liflerinin eldesi, karakteristik özellikleri ve tekstil endüstrisindeki uygulamaları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 108-123.
7. Palabıyık, İ., Körlü, A. ve Özçelik, G. (2024). Kenevir içeren denim giysilerin terbiyesinde çevre dostu bir yöntem: Ozon ile yıkama. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 39(4), 881-895.
8. Zhang, L., Guo, F., Zuo, D.Y., Liao, S., Wang, Q., Liu, L., Ma, D., Liu, H., Yi, 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.
9. Palanikumar, K., Natarajan, E., Markandan, K., Ang, C.K. & Franz, G. (2023). Targeted pre-treatment of hemp fibers and the effect on mechanical properties of polymer composites. *Fibers*, 11, 43.
10. Gedik, G. (2012). Kenevir liflerinden üretilen kumaşların optimum ağartma koşullarının ve yöntemlerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 82.
11. Liu, L., Xiang, Y., Zhang, R., Li, B., Yu, J. & Fang, B. (2017). TEMPO-media oxidation combined with laccase for effective degumming pretreatment of hemp fibers. *Bioresources*, 12(4), 8848-8861.
12. Väisänen, T., Batello, P., Lappalainen, R. & Tomppo, L. (2018). Modification of hemp fibers (Cannabis Sativa L.) for composite applications. *Industrial Crops and Products*, 111, 422-429.

13. Eren, H.A., Anış, P., Yılmaz, D., Kirişçi, Ş. ve İnkaya, T. (2009). Pamuğun ağartılmasında lakkaz, ozon ve hidrojen peroksitin kombine kullanımı. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 4, 299-303.
14. Gedik, G. ve Avinç, O. (2018). Bleaching of hemp (*Cannabis sativa* L.) fibers with peracetic acid for textiles industry purposes. *Fibers and Polymers*, 19, 82-93.
15. Liu, S.Q., Chen, Z.Y., Sun, J.P. & Long, J.J. (2016). Ecofriendly pretreatment of grey cotton fabric with enzymes in supercritical carbon dioxide fluid. *Journal of Cleaner Production*, 120, 85-94.
16. Kan, C.W., Yuen, C.W.M. & Lam, Y.L. (2009). Effect of enzyme treatment and dyeing on the mechanical properties of linen, society of dyers and colourists. *Coloration Technology*, 125, 269-276.
17. Sancar, B., Paksoy, N., Balcı, O. ve Kurtoğlu, N. (2012). Pamuklu dokuma kumaşların boyamaya hazırlık işlemlerinde enzim kullanım olanaklarının incelenmesi ve kombine proses geliştirilmesi. *Tekstil ve Mühendis*, 19(86), 7-13.
18. Pratima, N. & Ritu, M. (2016). Effect of enzymatic bleaching on physical properties of hemp fabric. *SRJIS*, 4(27), 3169-3176.
19. Fang, G., Chen, H., Chen, A., Mao, K. & Wang, Q. (2017). An Efficient Method of Bio-Chemical Combined Treatment for Obtaining High-Quality Hemp Fiber, *Bioresources*, 12(1), 1566-1578
20. Merdan, N. (2017). Effects of environmental surface modification methods on physical properties of hemp fibers. *Materials Science*, 23(4), 416-421.
21. Guo, Y., Sun, Z., Guo, X., Zhou, Y., Jiang, L., Chen, S. & Ma, J. (2019). Study on enzyme washing process of hemp organic cotton blended fabric. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 31(1), 58-64.
22. Karakaya, E. (2021). Kenevir liflerinin ekolojik ön terbiyesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 83.
23. Gedik, G., Aydın Kızılkaya, Y.M., Uyak, V. & Koluman, A. (2023). Simultaneous eco-friendly bleaching and retting wastewater treatment of hemp fiber with ozone application, *Fibers and Polymers*, 24(1), 57-72.
24. Sancar Beşen, B. & Balcı, O. (2017). Investigation of the effects of silicone emulsions having different particle sizes on knitted fabrics depending on the type of yarn. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 29(3), 394-416.
25. Cengiz, Ö.F., Erkale, İ., Özkayalar, S., Alay Aksoy, S., Boyacı, B. & Kaplan, S. (2019). Investigation of transfer and functional properties of the microcapsule applied fabrics. *Journal of Textiles and Engineer*, 26(115), 243-251.
26. Koruyucu, A. (2025). Production of organo-modified and amino-functional silicone finishing chemicals and their effects on the handle and color values of cotton knited fabrics. *Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 40(1), 193-204.