



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

Pamuklu Kumaşların Ön İşlem Prosesinde Enzim Kullanımı İle Yeni Ürün Geliştirilmesi Ve Ürünün Renklendirilmesi

Development of New Products and Coloring the Product by Using Enzymes in the Pretreatment Process of Cotton Fabrics

Güzin AKYOL^{1,2*}, Eyüphan YENER¹, Saliha Büşra KARAKELLE¹

¹Bursalı Tekstil San ve Tic. A.Ş., Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi, Çiğdem 1 Sk, No.14, Bursa, Türkiye

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online):31 Mart 2022 (31 March 2022)

Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):

Güzin AKYOL, Eyüphan YENER, Saliha Büşra KARAKELLE (2022): Pamuklu Kumaşların Ön İşlem Prosesinde Enzim Kullanımı İle Yeni Ürün Geliştirilmesi Ve Ürünün Renklendirilmesi, Tekstil ve Mühendis, 29: 125, 17-27.

For online version of the article: <https://doi.org/10.7216/1300759920222912503>

Arastırma Makalesi / Research Article

PAMUKLU KUMAŞLARIN ÖN İŞLEM PROSESİNDE ENZİM KULLANIMI İLE YENİ ÜRÜN GELİŞTİRİLMESİ VE ÜRÜNÜN RENKLENDİRİLMESİ

Güzin AKYOL^{1,2*} 

Eyüphan YENER¹ 

Saliha Büşra KARAKELLE¹ 

¹Bursalı Tekstil San ve Tic. A.Ş., Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi, Çiğdem 1 Sk, No.14, Bursa, Türkiye

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 08.09.2021

Kabul Tarihi / Accepted: 14.03.2022

ÖZ: Bu çalışmada, %100 pamuklu dokuma havlı kumaşların ön işlem prosesinde ağartıcı kimyasallar kullanmadan amilaz, selüloz ve pektinaz enzimleri ile çevreci bir proses geliştirilmiştir. Enzimatik ön işlem sonrası boyama yapılmadan satışa hazır bir ürün elde edilmiştir. Elde edilen ürün, onaylı kuruluşlarca dermatolojik olarak test edilmiş, anti-alerjen ve anti-kanserojen olduğu sonucuna varılmıştır. Konvansiyonel yöntem ile ön işlemi yapılmış kumaşlar ve enzimatik yöntemle ön işlemi yapılmış kumaşlar reaktif boyarmaddelerle boyanmıştır. Boyama işleminden sonra ΔE renk farklılıkları, hidrofilité ve haslık testleri uygulanarak her iki yöntemle boyanan kumaşlar arasındaki farklılıklar incelenmiştir. Kumaşların orta ve koyu renklerinde %6-37 arası boyarmadde kazancı, %6-27 arası maliyet tasarrufu sağladığı sonucuna varılmıştır. Konvansiyonel yöntemde elde edilen haslık değerlerine enzimatik yöntemde de ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pamuk, Enzim, Pektinaz, Selüloz, Amilaz

DEVELOPMENT OF NEW PRODUCTS AND COLORING THE PRODUCT BY USING ENZYMES IN THE PRETREATMENT PROCESS OF COTTON FABRICS

ABSTRACT: In this study, an environmentally friendly process was developed with amylase, cellulase and pectinase enzymes without using bleaching chemicals in the pretreatment process of 100% cotton woven pile fabrics. After enzymatic pretreatment, a product ready for sale was obtained without dyeing. The obtained product has been dermatologically tested by approved organizations and it has been concluded that it is anti-allergen and anti-carcinogenic. Fabrics pretreated by conventional method and fabrics pretreated by enzymatic method were dyed with reactive dyestuffs. After dyeing, ΔE color differences, hydrophilicity and fastness tests were applied to examine the differences between fabrics dyed by both methods. It was concluded that the dyestuff gain between 6-37% and cost savings between 6-27% in the midtone and dark colors of the fabrics.

Keywords: Cotton, Enzyme, Pectinase, Cellulase, Amylase

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: guzin.akyol@bursaligrubu.com

DOI: <https://doi.org/10.7216/1300759920222912503>

www.tekstilvemuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Pamuk lifi, doğal lifler içerisinde en çok kullanılan lif türüdür. Kullanıldığı alanlar göz önüne alındığında, toplam elyaf tüketimindeki %50'lik payın pamuğa ait olduğu görülmüştür [1]. Pamuk lifinin boyanabilmesi için ön işlem proseslerinden geçmesi gerekmektedir. Bunlar; haşıl sökme, hidrofilleştirme ve ağartma prosesleridir. Pamuk lifi, selüloz (%90-96) ve yabancı maddelerden (%4-10) oluşan kahverengi ve sarımsı renge sahip doğal liftir. Pamuğun rengi, proteinin protoplazmik kalıntıları ve pamuk çiçeklerinin flavon pigmentlerinden kaynaklı safsızlıklara sahiptir. Bu safsızlıkların giderilebilmesi için ağartma işlemi uygulanır. Pamuk, ağartıcı maddeler ve sıcaklık ile üzerindeki safsızlıklardan arındırılır [2]. Pamuklu kumaşlar yüksek sıcaklıkta alkali koşullar altında H_2O_2 ile ağartılabilmektedir. Düşük maliyetli ve çevre dostu olması nedeniyle selülozik mamullerin ağartılmasında en çok hidrojen peroksit (H_2O_2) kullanılmaktadır [3]. Ağartma sonrası pamuğa istenilen beyazlık kazandırılarak, boyamaya hazır hale getirilir [4].

Ağartma işlemi için pamuk, yüksek sıcaklık ve alkali ortamda muamele edilmektedir. Yüksek sıcaklık ve sürelerde gerçekleşen ağartma işlemi, pamuk lifine zarar vermektedir. Ayrıca, lif yüzeyinden hidrojen peroksit ve alkalinin uzaklaştırılması için yüksek miktarlarda su kullanılmaktadır. Pamuk lifinin zarar görmemesi, daha düşük sıcaklıklarda, kısa reaksiyon sürelerinde ve az kimyasal kullanılarak ağartma işlemleri araştırılmaktadır [5].

Tekstil sektöründe pamuklu ürünlerin terbiye işlemlerinde, fazla miktarda su ve kimyasal kullanılmaktadır. Bu durum çevre açısından risk oluşturmakta ve kullanım miktarlarının azaltılması için yöntemler araştırılmaktadır. Kullanılan kimyasalların yerine biyobozunur ürünlerin tercih edilmesi, atıkların yeniden kullanımı ve yapılan proses optimizasyonları ile çevre dostu üretim anlayışı benimsenmiştir. Biyobozunur ürünlerin tercih edilerek, kimyasal ve su kullanımının azaltıldığı yöntemlerden biri de enzim kullanımıdır [6]. Enzimler, haşıl sökmede, peroksit gidermede ve parlatma işlemlerinin yanı sıra tekstil atık sularının arıtılmasında da kullanılmaktadır. Haşıl sökmede amilaz, parlatmada selüloz, peroksit gidermede katalaz ve atık suların arıtılmasında ise lakkaz enzimlerinin kullanıldığı görülmektedir [7].

Enzimler, tekstil proseslerinde kullanıldıkları ortamın sıcaklık, pH ve kimyasallarından etkilenmektedir. Bu sebeple, enzimin etkin bir şekilde kullanılması için sıcaklık ve pH aralığı bilinmesi gerekmektedir. Uygun çalışma ortamı sağlanmadığında, enzimlerin yapılarında bozulmalar meydana gelerek enzim etkinliğinde azalmalar gözlenmektedir [8]. Tekstil terbiye işlemlerinde yapılan her iyileştirme, sonraki prosesleri de etkilemektedir. Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, enzim kullanımının birçok prosesin iyileşmesinde katkı sağladığı görülmüştür [9].

Sancar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, pamuklu ürünlerin ön işlem proseslerinde enzim kullanımını araştırmıştır. Amilaz ile

haşıl sökme, pektinaz ile pektin tabakasının uzaklaştırılması ve lakkaz ile lignin esaslı bileşenlerin yükseltgeme işlemleri incelenmiştir. Ön işlemde lakkaz enziminin kullanılmasıyla yeterli beyazlık değeri ve ardından yapılan boyama işleminde uygun ΔE değerleri elde edilememiştir. Lakkaz enzimi ve peroksit kullanılmasıyla istenilen beyazlığın elde edileceği sonucuna varılmıştır [10].

Spicka ve Tavcer yaptıkları çalışmada %100 pamuklu kumaşı aril esteraz enzimi ve perasetik asit ile nötr pH'a getirerek $65^{\circ}C$ 'de işlem yapmıştır. Geliştirilen biyolojik ağartma sistemi ile işlem gören kumaşın hidrofilit, mukavemet ve beyazlık değerlerinin yüksek olduğu, kumaşın da zarar görmediği sonucuna varılmıştır [11].

Mavruz ve Oğulata yaptıkları çalışmada %100 pamuklu süprem kumaşların ön işlem prosesinde enzim kullanımını incelemiştir. Üç farklı türde selüloz enzimi kullanılmıştır. Enzimli ve enzimsiz işlem gören kumaşlara pilling testi uygulanmıştır. Enzimle işlem gören kumaşların enzim kullanılmayan kumaşlara göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Yüksek miktarda enzim kullanımının daha pürüzsüz bir yüzey oluşturduğu sonucuna varılmıştır [12].

Bhat'ın yaptığı araştırmada, selüloz enziminin tekstil sektöründe özellikle biyoparlatma işleminde, kumaş yüzeyindeki tüylenmenin engellenmesi yada kalıcı olarak giderilmesi için kullanıldığı araştırılmıştır. Selüloz enzimi ile yüksek hidrofilit, pürüzsüz ve parlak görünüm sağlama kumaşta avantajlı hale gelmektedir [13].

Tian ve arkadaşları yaptığı çalışmada lakkaz enzimi ile zaman, sıcaklık ve kimyasal kullanımını azaltarak yeni proses geliştirmiştir. Pamuklu kumaşların ağartılmasında, lakkaz mediatör sistemleri ve hidrojen peroksit kombine edilerek kullanılmasıyla etkili bir ağartma işlemi sağlamaktadır. Yapılan çalışma ile geleneksel hidrojen peroksit prosesine kıyasla daha çevre dostu olan yeni bir proses geliştirilmiştir [14].

Aggarwal ve arkadaşları yaptığı çalışmada geleneksel ön işlem uygulanan pamuklu kumaşlar ile farklı pH ve sıcaklıkta pektinaz ile işlem gören kumaşları karşılaştırmıştır. Her iki yöntemle ön işlem uygulanan kumaşlara boyama işlemi yapılarak renk derinlikleri spektrofotometrede ölçülmüştür. Renk derinliklerinin her iki yöntemde de eş değer olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışma sonunda geleneksel ön işlem uygulanan kumaşlarda, enzimatik ön işlem uygulanan kumaşlara göre daha fazla ağırlık kaybı gözlenmiştir. Enzimatik ön işlemin daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesinden dolayı enerji tasarrufu sağlayacağı sonucuna varılmıştır [15].

Akyol ve Yener yaptığı çalışmada, %100 pamuklu kumaşların ön işlem prosesinde enzimleri kullanmıştır. Ardından yapılan boyama işleminde doğal boyarmaddeler kullanarak farklı renkler elde etmiştir. Kumaşların klasik ön işlem ve boyama yöntemine göre daha yumuşak tuşeye sahip olduğu sonucuna varılmıştır [16].

Enzimler genel olarak substrata özgü olması ve reaksiyonları hızlandırması açısından tercih edilmektedir. Enzimatik ön işlem prosesi, geleneksel ön işlem prosesi ile karşılaştırıldığında maliyet açısından avantaj sağlamaktadır [17]. Tekstil alanında enzim kullanımının yaygınlaşması, çevresel etkisi düşürülmüş proseslerin artmasını sağlamıştır [18].

Tekstil ön işlem prosesinde enzim kullanımının yaygın olduğu bilinmektedir. Önceki çalışmalar incelendiğinde, istenilen beyazlığın elde edilmesi için ağartıcı kimyasalların eklenmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır. Yapılan çalışmanın temel farklılığı aynı pH aralığında çalışan farklı enzimlerin kombin edilerek kullanılmasıdır. Kombin enzimler için yeni bir proses geliştirilerek %100 pamuklu kumaşlar ön işlemden geçirilmiştir. Geleneksel ön işlem metotuna göre düşük sıcaklık ve daha kısa sürede ön işlemin yapılması projenin yenilikçi yönünü oluşturmaktadır. Aynı zamanda geliştirilen ön işlem sonunda elde edilen ürün, firma bünyesinde yeni bir prosesin içselleştirilmesini sağlamıştır. Enzimatik ön işlem uygulanan pamuklu kumaşlarda, firma bünyesinde boyanan kumaşlar ile aynı renk değerlerini elde etmek için reçete optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Proje çalışmalarında 16/1 atkı ipliği, 20/2 hav ipliği ve 20/2 zemin ipliği kullanılarak, 550 g/m² olan %100 pamuklu havlı kumaş Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş. firmasından temin edilmiştir.

Enzimatik ön işlem uygulanacak proseste kullanılan lakkaz, pektinaz ve amilaz enzimleri Novozymes firmasından tedarik edilmiştir. Temin edilen enzimler ortak pH aralığında (pH 6-7) çalışmaktadır. Selülozik mamullerin boyanmasında yaygın olarak kullanılan reaktif boyarmaddelerden belirlenen renkler ile boyama gerçekleştirilmiştir.

Boyamada Everzol LX grubunun yellow, blue, red, black ve itofix turquaze blue boyarmadderi kullanılmıştır.

Enzimatik ön işlem uygulaması laboratuvar tipi numune boyama makinesinde gerçekleştirilmiştir. Numune makinesinden sonra laboratuvar tipi mini jette yeni geliştirilen prosesin optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.

2.2. Metot

Pamuklu kumaşlara boyama işlemi öncesinde ön işlem uygulanması gerekmektedir. Konvansiyonel metotta kullanılan ön işlemden pamuk üzerindeki safsızlıkları gidermek için ağartma işlemi uygulanmaktadır. Ağartma işleminde yaygın olarak hidrojen peroksit ve kostik kullanılmaktadır. Yapılan çalışmanın ön işlem adımında enzim kullanarak yeni bir proses geliştirilmiştir. Proses sonucunda oluşan ürün firma bünyesinde yeni bir ürün gamının oluşmasını sağlamıştır.

Enzimatik ön işlem ve konvansiyonel ön işlem uygulanan kumaşlar üzerine, seçilen renklerde reaktif boyama yapılmıştır. Farklı ön işlem uygulanıp reaktif boyama yapılan kumaşlar için hidrofilite testi ve haslık testleri uygulanmıştır.

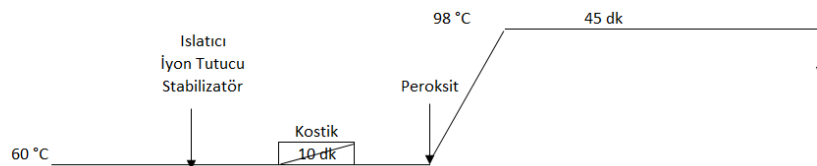
2.2.1. Konvansiyonel Ön İşlem

Pamuklu havlı kumaşlar boyama adımından önce ön işlem adımından geçmektedir. Şekil 1'de gösterilen prosese göre konvansiyonel ön işlemden 98°C'de 45 dakika işlem gören kumaş, ardından 90°C'de bir sıcak durulama yapılmıştır.

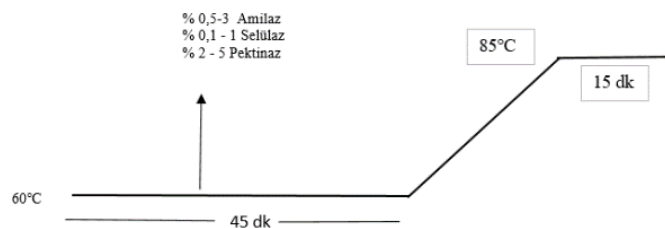
Son adımda 60°C'de peroksit kontrolü yapılarak üç adımlı ön işlemden sonra boyama adımına geçilmiştir. İşlem uygulanan kumaşların Stensby beyazlık değerleri ölçülmüştür.

2.2.2. Enzimatik Ön İşlem

Pamuğun safsızlıklardan arındırılması için kullanılan ağartıcı kimyasalların yerine biyobozunur ürünler kullanılmıştır. Ön işlem adımında hidrojen peroksit ve kostik kimyasalları tamamen ortadan kaldırılmıştır. Bu kimyasallar yerine Şekil 2'de belirtilen proses geliştirilmiş ve %100 pamuklu havlı kumaşlar pektinaz, selüloz ve amilaz enzimleri ile işlem görmüştür. Bu enzimlerin en önemli özelliği ortak pH (pH 6-7) aralığında çalışmasıdır.



Şekil 1. Konvansiyonel Ön İşlem Prosesi



Şekil 2. Enzimatik Ön İşlem Prosesi

Pamuklu havlı kumaşlar 1:10 flotte oranında 60°C’de ön işlem uygulanmıştır. Proses, enzimin aktive olduğu 85°C’ye yükseltile-rek ön işlem adımı sonlandırılmıştır. Bu işlemler laboratuvar tipi numune boyama makinesinde gerçekleştirilmiştir.

2.2.3. Reaktif Boyarmaddeler İle Boyama

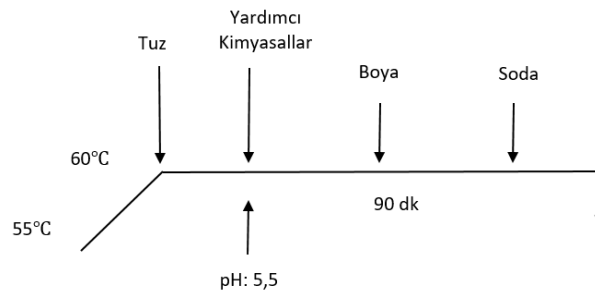
Pamuklu kumaşların boyanmasında reaktif boyarmaddeler kullanılmaktadır. Konvansiyonel proses ve enzimatik proses ile ön işlemden geçen kumaşlar, reaktif boyarmaddelerle Şekil 3’teki prosese göre boyanmıştır. Enzimatik ön işlemden geçen kumaşlarda zemin rengi sarımtırak olduğundan dolayı, geleneksel yöntemde kullanılan Şekil 3’teki proses esas alınarak boyama reçetelerinde optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Değerlendirme aşamasında kumaşların toplam renk farklılığı, haslık ve hidrofilitate parametreleri esas alınmıştır

2.2.4. Araştırma Yöntemleri

Enzimatik proses sonucunda ortaya çıkan havlı kumaş doğal görünümünden dolayı firma bünyesinde yeni bir ürün gamı olarak değerlendirilmiştir. Pamuğun kendi renginde hafif sarımtırak bir görüntüye sahip olan havlı kumaş, dermatolojik teste tabi tutulmuştur. Polonya’da gerçekleşen dermatolojik test, 22-68 yaş aralığında gönüllülere uygulanmıştır. Ayrıca sarımtırak zemin rengine sahip havlı kumaşa Eurolab firmasında kanserojenik ve alerjenik test (DIN 54231) uygulanmıştır. Hem enzimatik hem de konvansiyonel metota göre ön işlem gören kumaşlar reaktif boyarmaddeler ile boyanmış, ardından performans-kalite testleri uygulanmıştır. Kumaşlara yıkamaya karşı renk haslığı (TS EN ISO 105-C06), sürtmeye karşı renk haslığı (TS EN ISO 105-X12), suya karşı renk haslığı (TS EN ISO 105-E01), tere karşı renk haslığı (TS EN ISO 105-E04) ve hidrofilitate (EN-ISO 14697) testleri uygulanmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

%100 pamuklu havlı kumaşların ön işlem prosesinde konvansiyonel metot kullanılmıştır. Yeni geliştirilen proseste ise enzimlerden yararlanılmıştır. İki farklı zemin rengi elde edilen kumaşlar üzerine, seçilen renklerde boyama işlemi uygulanmıştır. Hem konvansiyonel metot hem enzimatik metot ile elde edilen ürünlerin Stensby beyazlık dereceleri spektrofotometre ile ölçülmüştür.



Şekil 3. Reaktif Boyama Prosesi

3.1. Beyazlık Derecesi Sonuçları

Pamuklu havlı kumaşların ön işlem prosesinde peroksit ve ağartıcı kimyasallar kullanmadan ortak bir pH aralığında (pH:5,5-6) çalışan enzimler temin edilmiştir. Enzimlerin bozunma sıcaklığı göz önünde bulundurularak yeni bir proses geliştirilmiştir. 1:10 flotte oranında çalışılan enzimatik proseste pektinaz, selüloz ve amilaz enzimleri 60°C’de 45 dk olarak optimize edilmiştir. Enzimlerin deaktive olması için 85°C’de 15 dk proses devam etmiştir. Banyo suyu boşaltıldıktan sonra 50°C’de 10 dk yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Ön işlem sonrasında meydana gelen havlı kumaş sarımsı bir renge sahip olduğu (Şekil 4), firma bünyesinde uygulanan geleneksel ön işlemde ise zemin renginin daha beyaz olduğu görülmüştür (Şekil 5).



Şekil 4. Enzimatik Ön İşlem Sonucu Elde Edilen Kumaş



Şekil 5. Konvansiyonel Ön İşlem Sonucu Elde Edilen Kumaş

İşlem sonrası iki farklı havlı kumaş için Stensby değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda beyazlık farkının yüksek olduğu gözlenmiştir.

3.2. Kumaş Tuşu Sonuçları

Enzimatik ön işlem sonrasında elde edilen kumaşın sarımtırak rengi, pamuğun kendi doğal rengidir. Ağartıcı kimyasal kullanmadan geliştirilen bu ürün “Doğal Havlu” olarak isimlendirilmiştir. Geliştirilen havlı kumaş yaş işlemlerden sonra ramözden geçerken yumuşatıcı apre verilmemiştir. Enzimatik ön işlem gören havlı kumaş, konvansiyonel metotla ön işlem gören havlı kumaşlara göre daha yumuşak tuşeye sahip olduğu gözlenmiştir.

Tablo 1. Enzimatik Ön İşlem ve Konvansiyonel Ön İşlem Gören Kumaşların Beyazlık (Stensby) Değerleri

| Beyazlık (Stensby) Değerleri | | |
|------------------------------|---|---|
| Ham Kumaş | Enzimatik Yöntemle Ön İşlem Uygulanan Kumaş | Konvansiyonel Yöntemle Ön İşlem Uygulanan Kumaş |
| 46,46 | 61,97 | 80,07 |
| 46,34 | 61,46 | 79,82 |
| 46,43 | 61,70 | 80,43 |
| 46,38 | 61,36 | 80,53 |
| 46,42 | 61,22 | 80,47 |
| 46,41 | 61,10 | 80,40 |

Enzimatik ön işlem gören havlu kumaş ile aynı g/m^2 , atkı sıklığı ve iplik numarasına sahip havlu kumaşa optik beyaz boyama yapılmıştır. Her iki kumaş için 800 devir ve $60^\circ C$ 'de 1 saat yumuşatıcı kullanmadan yıkama işlemi yapılmıştır. Farklı iki kumaş için bu işlem 10 kez tekrarlanmış ve her yıkama sonunda havlular değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme için firma bünyesinde bir model geliştirerek 1'den 5'e kadar havlu tuşelerinin sertlik dereceleri belirlenmiştir. Tuşe değerlendirmesinde, farklı renklerin kişiler üzerinde oluşturduğu yumuşaklık algısının önüne geçmek için optik beyaz havlu kumaş kullanılmıştır.

Değerlendirme skalasını oluşturduktan sonra tüm sertlik dereceleri için bir havlu tuşesi seçilmiştir. Kişilerin referans alacakları tuşelere dokunmaları istenmiştir. Ardından, enzimatik ön işlem gören ve optik beyaz boyama yapılan kumaşları test etmeleri

beklenmiştir. Bu test için 10 kişi seçilmiş, değerlendirme skalası referans alınarak değerlendirme sonuçları kaydedilmiştir. Bir yıkama sonunda her iki kumaş için on kişinin değerlendirme sonucu Tablo 3'te verilmiştir.

Hem doğal havlu hem de optik beyaz havlu için on yıkama sonrası farklı kişilerin değerlendirme sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Enzimatik ön işlem sonucunda oluşan kumaş tuşesinin, on yıkama sonrasında da aynı değerlerde olduğu görülmüştür. On yıkama sonrası ağartıcı kimyasallar kullanılarak yapılan ürünün tuşe değerinin düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Enzimatik ön işlemde pamuğun sadece pektin tabakası parçalanıp hidrojen peroksitin lifi aşındırıcı etkisi bertaraf edilmesinden dolayı, konvansiyonel yöntemle göre daha yumuşak bir tuşe elde edildiği deneysel olarak kanıtlanmıştır.

Tablo 2. Kumaş Tuşeleri Değerlendirme Skalası

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|------|---------------|---------|-------------|
| Çok Sert | Sert | Hafif Yumuşak | Yumuşak | Çok Yumuşak |

Tablo 3. Bir Yıkama Sonrası Enzimatik Ön İşlem Uygulanan Kumaş ve Optik Beyaz Kumaş Karşılaştırması

| | Cinsiyet-Yaş | Enzimatik Ön İşlem Uygulanan Kumaş | Optik Beyaz Kumaş |
|---------|--------------|------------------------------------|-------------------|
| 1.Kişi | Kadın-44 | 5 | 5 |
| 2.Kişi | Erkek-26 | 5 | 4/5 |
| 3.Kişi | Erkek-30 | 5 | 4 |
| 4.Kişi | Erkek- 27 | 4/5 | 4 |
| 5.Kişi | Erkek-63 | 5 | 4/5 |
| 6.Kişi | Kadın- 28 | 4/5 | 4/5 |
| 7.Kişi | Kadın- 35 | 5 | 4/5 |
| 8.Kişi | Kadın- 22 | 5 | 4 |
| 9.Kişi | Erkek- 47 | 5 | 5 |
| 10.Kişi | Kadın- 58 | 5 | 4/5 |

Tablo 4. On Yıkama Sonrası Enzimatik Ön İşlem Uygulanan Kumaş ve Optik Beyaz Kumaş Karşılaştırması

| | Cinsiyet-Yaş | Enzimatik Ön İşlem Uygulanan Kumaş | Optik Beyaz Kumaş |
|---------|--------------|------------------------------------|-------------------|
| 1.Kişi | Kadın-44 | 4 | 2 |
| 2.Kişi | Erkek-26 | 4 | 2/3 |
| 3.Kişi | Erkek-30 | 4 | 2/3 |
| 4.Kişi | Erkek- 27 | 3/4 | 3 |
| 5.Kişi | Erkek-63 | 4 | 2/3 |
| 6.Kişi | Kadın- 28 | 3/4 | 2 |
| 7.Kişi | Kadın- 35 | 4 | 2/3 |
| 8.Kişi | Kadın- 22 | 4 | 2/3 |
| 9.Kişi | Erkek- 47 | 3 | 3 |
| 10.Kişi | Kadın- 58 | 4 | 2/3 |

3.3. Hidrofilite Sonuçları

Enzimatik proses sonucu oluşan havlu kumaşın hidrofilite testi EN-ISO 14697 standartına göre yapılmıştır.

Enzimatik ön işlem sonucu geliştirilen havlu kumaş ve konvansiyonel proses ile oluşan kumaşın hidrofilite değerleri EN ISO 14697 standartına göre Tablo 5'te verilmiştir. Her iki yöntem sonucunda kumaşın farklı bölgelerinden alınan numuneler ile on tekrarlı ölçüm yapılmıştır. Geleneksel yöntemde yapılan ön işlemede pamuğun kimyasal bileşiminde bulunan yağ ve vaks gibi inorganik maddelerde uzaklaştırıldığından dolayı hidrofilite

değerleri enzimatik yöntemle elde edilen havlu kumaşa göre daha iyi çıkmıştır. Belirlenen sonuçlarla ortalama hidrofilite değerleri bulunmuş; enzimatik kumaşın hidrofilite değerlerinin kabul edilebilir değer aralıklarında olduğu görülmüştür.

3.4. Dermatolojik, Anti Alerjen Anti Kanserojen Test Sonuçları

Enzimatik proses sonucunda geliştirilen "Doğal Havlu", kişilerin cilt ile direkt temas ettiği bir ürün olmasından dolayı dermatolojik test yapılmıştır. Doğal havlunun 30 gönüllü üzerinde 72 saat sonunda test sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5. Enzimatik Ön İşlem ve Konvansiyonel Ön İşlem Gören Kumaşların Hidrofilite Değerleri

| Hidrofilite Testi (EN ISO 14697) | |
|---|---|
| Enzimatik Ön İşlem Uygulanan Kumaş (sn) | Konvansiyonel Ön İşlem Uygulanan Kumaş (sn) |
| 8,91 | 1,20 |
| 7,12 | 2,44 |
| 7,77 | 3,33 |
| 6,9 | 2,40 |
| 7,1 | 3,30 |
| 7,7 | 3,6 |
| 6,5 | 3,3 |
| 7,4 | 2,6 |
| 6,8 | 3,1 |
| 7,3 | 2,9 |

Tablo 6. Enzimatik Ön İşlem Uygulanan Kumaşın Kişiler Üzerindeki Dermatolojik Test Sonucu

| HASSAS CİTLER İÇİN DERMATOLOJİK TEST- YAMA METOTU/BST/2019/10/02-18-1/11 | | | | | |
|--|--------------------------|-----|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| No | Gönüllülerin Özellikleri | | | 48 Saat Sonra Reaksiyon | 72 Saat Sonra Reaksiyon |
| | Cinsiyet | Yaş | Cilt Parametresi | Cilt Reaksiyonu | Cilt Reaksiyonu |
| 1 | Erkek | 32 | Hassas | - | - |
| 2 | Kadın | 39 | Hassas | - | - |
| 3 | Kadın | 27 | Hassas | - | - |
| 4 | Kadın | 40 | Hassas Pozitif Alerjik Tarama | - | - |
| 5 | Kadın | 52 | Hassas | - | - |
| 6 | Kadın | 37 | Hassas | - | - |
| 7 | Kadın | 23 | Hassas Pozitif Alerjik Tarama | - | - |
| 8 | Kadın | 38 | Hassas Pozitif Alerjik Tarama | - | - |
| 9 | Kadın | 48 | Hassas Pozitif Alerjik Tarama | - | - |
| 10 | Kadın | 64 | Hassas Pozitif Alerjik Tarama | - | - |
| 11 | Kadın | 68 | Hassas Pozitif Alerjik Tarama | - | - |
| 12 | Kadın | 43 | Hassas Pozitif Alerjik Tarama | - | - |
| 13 | Kadın | 38 | Hassas Pozitif Alerjik Tarama | - | - |
| 14 | Kadın | 68 | Hassas Pozitif Alerjik Tarama | - | - |
| 15 | Kadın | 22 | Hassas Pozitif Alerjik Tarama | - | - |
| 16 | Kadın | 27 | Hassas | - | - |
| 17 | Kadın | 39 | Hassas | - | - |
| 18 | Kadın | 23 | Hassas Pozitif Alerjik Tarama | - | - |
| 19 | Kadın | 52 | Hassas | - | - |
| 20 | Kadın | 53 | Hassas | - | - |
| 21 | Kadın | 38 | Hassas | - | - |
| 22 | Kadın | 22 | Hassas | - | - |
| 23 | Kadın | 21 | Hassas | - | - |
| 24 | Erkek | 32 | Hassas | - | - |
| 25 | Kadın | 39 | Hassas | - | - |
| 26 | Erkek | 41 | Hassas | ?+ | - |
| 27 | Kadın | 22 | Hassas | - | - |
| 28 | Kadın | 39 | Hassas | - | - |
| 29 | Kadın | 40 | Hassas | - | - |
| 30 | Kadın | 53 | Hassas | - | - |

*-:Deride değişim gözlenmedi *?+:Deride pembe renk oluşumu

30 farklı gönüllüde uygulanan test sonucunda enzimatik ön işlem gören doğal havlunun cilt üzerinde tahrişe sebep olmadığı görülmüştür.

Doğal Havlu Eurolab firmasında DIN 54231 test metotuna göre anti-alerjen ve anti-kanserojen teste gönderilmiştir. Test sonucu Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Alerjenik ve Kanserojenik Test Sonucu

| | TEST | METOT | SONUÇ |
|---|--------------|-----------|-------|
| * | Kanserojenik | DIN 54231 | Geçer |
| * | Alerjenik | DIN 54231 | Geçer |

Doğal havlunun ürün gamına eklenmesi için yapılan testlerden sonra numune üretimi gerçekleştirilmiş, havlu ve bornoz olarak farklı gramajlarda ürünler çalışılmıştır. Bu ürünler Şekil 6'da verilmiştir

3.5. Boyama Reçete Çalışmaları

Enzimatik ön işlem gören havlu kumaşların üretim parkuruna eklenmesi ve alternatif renkler üretmek için çalışmalar başlanmıştır. İşletme bünyesinde ağartıcı kimyasal kullanılarak elde edilen beyaz zemin üzerine reaktif boyama işlemi yapılmaktadır. Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş. bünyesinde en çok boyama yapılan renkler referans alınarak hem beyaz zemin üzerine hem de enzimatik ön işlem gören zemim üzerine boyama işlemi uygulanmış, karşılaştırmaları sağlanmıştır. İşletmede belirlenen on renk Şekil 7'de gösterilmiştir. İşletme reçetesi beyaz zemin ve sarı zemin üzerine uygulanmıştır. Sarı zemin renginden dolayı kumaşların ΔE değerleri birbirinden farklı çıkmıştır. Bunun üzerine enzimatik ön işlem uygulanan kumaş üzerinde alternatif reçete çalışılmıştır.



Şekil.6. Enzimatik Ön İşlem Gören Kumaşlardan Elde Edilen Havlu ve Bornoz Yapıları

3.5.1. Reçete Renk Farklılıklarının Hesaplanması



Yapılan reçete çalışması sonrasında alternatif reçete çalışılan orta ve koyu renklerde birbirine yakın toplam renk farklılığı (ΔE) değerleri ortaya çıkmıştır. Azaltılan boyarmadde oranları göz önüne alınarak her renk için % boyarmadde tasarruf hesabı yapılmıştır. Aynı zamanda her iki kumaş için ön işlem kimyasalları ve enzimler dahil olmak üzere maliyet hesabı çıkartılmıştır. Bu çalışma sonrasında elde edilen kazançlar ve çalışılan renklerdeki reçete optimizasyonları Tablo 8'de belirtilmiştir.

Belirlenen on renk için güncel maliyetler alınmış, proses süreleri ve kullanılan kimyasal miktarları hesaplanarak maliyet hesapları çıkarılmıştır. Şekil 8'de maliyet grafiği oluşturularak orta ve koyu renklerde %6-27 arası maliyet kazancı olduğu görülmüştür. Bu farklı kazanç tablosunun oluşmasında zemin rengi, işletme renklerinin koyu ve orta renk olması önemli bir parametredir.



Şekil 7. Boyama Yapılan Kumaş Örnekleri

Tablo 8. İşletme Reçetesine Alternatif Oluşturulan, Enzimatik Ön İşlemlili Kumaşa Uygulanan Reçete Çalışması

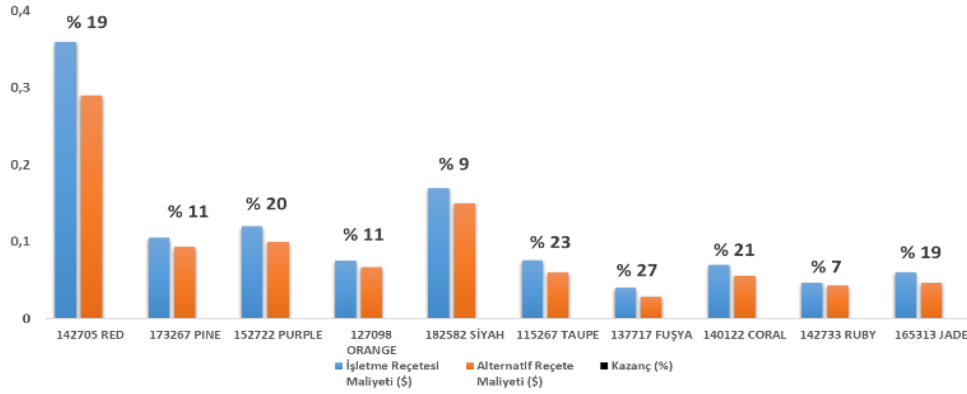
| İşletmede Boyanan Renkler | İşletme Reçetesi | Ar-Ge Reçetesi | B.M Kazancı (%) | ΔE | İşletme Reçetesi Maliyeti (\$) | Alternatif Reçete Maliyeti (\$) | Maliyet Kazancı (%) |
|--|--|---|-----------------|------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| RED  | Yellow: 1,02 Red : 2,36 Blue : 0,047 | Yellow: 0,82 Red : 1,94 Blue : 0,0315 | 23,46 | 0,14 | 0,36 | 0,29 | 18,6 |
| PINE  | Yellow: 0,364 Blue: 0,526 Turq Blue: 0,12 | Yellow: 0,295 Blue: 0,475 Turq Blue: 0,108 | 12,88 | 0,39 | 0,105 | 0,093 | 11,2 |
| PURPLE  | Yellow: 0,31 Red: 0,81 Blue: 0,44 | Yellow: 0,25 Red: 0,66 Blue: 0,35 | 19,44 | 0,38 | 0,12 | 0,1 | 19,7 |
| ORANGE  | Yellow: 0,75 Red: 0,24 Blue: 0,0235 | Yellow: 0,66 Red: 0,24 Blue: 0,018 | 11,8 | 0,39 | 0,075 | 0,067 | 10,55 |
| SİYAH  | Yellow: 0,482 Red : 0,22 Black: 1,96 | Yellow: 0,48 Red : 0,2 Black: 1,76 | 6,57 | 0,17 | 0,17 | 0,15 | 8,5 |
| TAUPE  | Yellow: 0,21 Red: 0,12 Blue: 0,32 | Yellow: 0,158 Red: 0,094 Blue: 0,25 | 22,76 | 0,28 | 0,076 | 0,06 | 22,5 |
| FUŞYA  | Yellow: 0,021 Red: 0,76 Blue : 0,0033 | Yellow: 0,0139 Red: 0,556 Blue : 0,0021 | 32,1 | 0,35 | 0,04 | 0,029 | 27,12 |
| CORAL  | Orange: 0,284 Red: 0,57 Blue: 0,00353 | Orange: 0,23 Red: 0,45 Blue: 0,001 | 37,25 | 0,37 | 0,07 | 0,056 | 20,9 |
| RUBY  | Yellow : 0,18 Red: 0,4 Blue : 0,0178 | Yellow : 0,155 Red: 0,384 Blue : 0,0152 | 10,8 | 0,36 | 0,047 | 0,043 | 6,7 |
| JADE  | Yellow : 0,0731 Blue : 0,063 Turq Blue: 0,55 | Yellow : 0,061 Blue : 0,046 Turq Blue: 0,49 | 18,41 | 0,52 | 0,06 | 0,047 | 19,24 |

3.6. Tekstil Renk Haslıği Sonuçları

Enzimatik ön işlem uygulanan kumaşlar ve ağartma uygulanmış kumaşlara aynı reçeteler uygulanarak elde edilen örnekler için haslık testleri uygulanmıştır. Kumaşlara uygulanan yıkama haslıği (TS EN ISO 105-C06) ve sürtme haslıği testi (TS EN ISO 105-E04) sonucunda enzimatik ön işlem ve konvansiyonel ön işlemle yapılan kumaşları haslık değerlerinin aynı ve 4 - 4/5 düzeyinde çıktığı gözlenmiştir.

Enzimatik ön işlem ve geleneksel ön işlem uygulanan kumaşların, ter haslıği (Tablo 9) ve su haslıği (Tablo 10) test sonuçları incelediğinde, elde edilen sonuçların büyük oranda aynı çıktığı görülmüştür. Buradaki amaç, geleneksel yöntemle üretilen ticari olarak satışı gerçekleşen ürünlerin haslık değerlerini elde etmek olmuştur.

Maliyet Tablosu



Şekil 8. İşletme Reçetesi ve Alternatif Reçete Maliyet Hesap Grafiği

Tablo 9. İşletme Kumaşı ve Enzimatik Ön İşlem Uygulanarak Boyanan Kumaşın Tere Karşı Renk Haslıği

| Renkler | Tere Karşı Renk Haslıği (TS EN ISO 105-E04) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---|--------|-------|--------|----------|--------|-----------|--------|---------|--------|------|--------|
| | Asetat | | Pamuk | | Poliamid | | Poliester | | Akrilik | | Yün | |
| | Asit | Alkali | Asit | Alkali | Asit | Alkali | Asit | Alkali | Asit | Alkali | Asit | Alkali |
| RED Enzimatik Kumaş | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| RED İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4 | 4 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| PINE Enzimatik Kumaş | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| PINE İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| PURPLE Enzimatik Kumaş | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| PURPLE İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| ORANGE Enzimatik Kumaş | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| ORANGE İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| SİYAH Enzimatik Kumaş | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| SİYAH İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| TAUPE Enzimatik Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| TAUPE İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| FUŞYA Enzimatik Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| FUŞYA İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| CORAL Enzimatik Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| CORAL İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| RUBY Enzimatik Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| RUBY İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| JADE İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| JADE İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |

Tablo 10. İşletme Kumaşı ve Enzimatik Ön İşlem Uygulanarak Boyanan Kumaşın Suyu Karşı Renk Haslığı

| Suya Karşı Renk Haslığı (TS EN ISO 105-E01) | | | | | | |
|--|--------|-------|----------|-----------|---------|-----|
| Renkler | Asetat | Pamuk | Poliamid | Poliester | Akrilik | Yün |
| RED Enzimatik Kumaş | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| RED İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| PINE Enzimatik Kumaş | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| PINE İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| PURPLE Enzimatik Kumaş | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| PURPLE İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| ORANGE Enzimatik Kumaş | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| ORANGE İşletme Kumaşı | 4/5 | 4 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| SİYAH Enzimatik Kumaş | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| SİYAH İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| TAUPE Enzimatik Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| TAUPE İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| FUŞYA Enzimatik Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| FUŞYA İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| CORAL Enzimatik Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| CORAL İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| RUBY Enzimatik Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| RUBY İşletme Kumaşı | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| JADE Enzimatik Kumaşı | 4/5 | 3/4 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |
| JADE İşletme Kumaşı | 4/5 | 3/4 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 |

4. SONUÇ

Ön terbiye sürecinin başından itibaren harcanan zaman, enerji ve kimyasal madde tüketimi göz önüne alındığında sarf edilen miktarlar çok fazladır. Aşırı tüketimi önlemek, ekolojik dengeyi sağlamak, pazar payını arttırmak için üretim sistemine katılan bu proses ile yenilikçi bir akış sağlanmıştır. Geliştirilen proses ile ön işlem sıcaklığı, adımları ve süreleri de optimize edilmiştir. Enzimatik ön işlem prosesi ile su, elektrik ve doğalgaz harcamaları önemli ölçüde düşmüş, daha ekolojik bir ön işlem prosesi elde edilmiştir. Bu proses sonucunda başka bir işleme gerek kalmadan yeni bir ürün elde edilerek son kullanıcıya hazır hale getirilmiştir (Şekil 6).

Konvansiyonel ön işlemede ağartıcı kimyasallar kullanılmasından dolayı enzimatik ön işleme göre daha yüksek beyazlık dereceleri elde edilmiştir (Tablo 1). Ön işlemden sonraki boyama adımında

beyazlık dereceleri esas alınarak orta ve koyu tonlarda boyama yapılmıştır. Bu sayede enzimatik ön işlemin dezavantajı olarak görülen beyazlık dereceleri boyama reçetelerinde alternatif çözümlerin oluşmasını sağlamıştır.

Enzimatik ön işlem ve konvansiyonel ön işlemde geçen havlu kumaşın on yıkama sonunda tuşe değerlendirme sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir. Yıkama sonuçları incelendiğinde birinci yıkama sonuçlarının her iki yöntemde de kabul edilebilir seviyede olduğu görülmüştür. On yıkama sonuçları incelendiğinde, doğal havlunun tuşe değerleri ilk yıkamayla aynı çıkmış, konvansiyonel havlunun tuşe değerleri birinci yıkamaya göre çok daha düşük çıkmıştır. Yapılan deneysel sonuçlar neticesinde enzimatik ön işlem gören havlu kumaşın birinci ve onuncu yıkama sonrasında belirgin bir tuşe değişiminin olmadığı gözlenmiştir.

Konvansiyonel ön işlem gören havlu kumaşın ortalama hidrofilité değerleri, enzimatik ön işlem gören havlu kumaşa göre daha yüksek çıkmıştır. Enzimatik ön işlem gören kumaşın hidrofilité değerleri kabul edilebilir değer aralığındadır.

Tablo 8’de görülen orta ve koyu tonda renkler seçilerek her iki proses için boyama çalışmaları yapılmıştır, sonuçlar haslık testleri ile değerlendirilmiştir. Konvansiyonel ve enzimatik ön işlem gören havlu kumaşlar aynı renkler ile boyanmıştır. Enzimatik ön işlemdé zemin renginden dolayı boyama reçetelerinde optimizasyon çalışması yapılmıştır. Konvansiyonel yöntemde elde edilen renk derinliklerini yakalayabilmek için reçetede bulunan boyarmadde oranları azaltılmıştır; her iki yöntemde de uygun ΔE değerleri elde edilmiştir.

Boyama verimliliğinin daha detaylı incelenmesi için haslık testleri yapılmıştır. Yapılan haslık testleri yıkama ve sürtme haslığı, tere karşı renk haslığı (Tablo 9) ve suya karşı renk haslığı (Tablo 10) gösterilmiştir. Sonuçlar çalışılan her renk grubu için incelendiğinde konvansiyonel yöntemle elde edilen değerler ile aynı olduğu gözlenmiştir. Buradaki amaç, geleneksel yöntemle üretilen ticari olarak satışı gerçekleşen ürünlerin haslık değerlerini elde etmek olmuştur.

Enzimatik ön işlemdé reçete optimizasyonu sonrasında boyarmadde miktarları azaltılmıştır. Reçete içerisindeki boyarmadde birim maliyetleri üzerinden gidilerek hesaplama yapılmıştır. İşletme reçetesi ve enzimatik ön işlem reçetesi Tablo 8’de verilmiştir. Boyarmadde oranları hesaba katılarak yapılan maliyet tablosunda (Şekil 8) %7-%27 arasında kazanç sağlandığı görülmüştür. Enzimatik ön işlem sonrasında geliştirilen doğal ürün ekolojik pazara sunulmadan önce dermatolojik test ve anti alerjen, anti kanserojen testlere tabi tutulmuştur. Anti-alerjen ve anti-kanserojen test sonucunda kumaş içerisinde alerjenik ve kanserojenik etkiye sahip olan boyarmadde içermediği tespit edilmiştir (Tablo 7).

Bu çalışmanın; beyazlık, hidrofilité, haslık, tuşe, dermatolojik test çıktıları incelendiğinde geliştirilen ürünün ticari anlamda yeni bir pazar payı oluşturacağı sonucuna varılmıştır. Doğal kaynakların gün geçtikçe azalmaya başladığı göz önüne alındığında yapılan çalışma ile ekolojik bir proses geliştirilmiş, kimyasal madde kullanımı azaltılmış, biyobozunur ürün eldesi sağlanmıştır. Enzimlerin spesifik özellikleri sayesinde pamuğa hidrofobluk sağlayan yağ, vaks vb. yapılar tamamen giderilmediği için, kalıcı tuşe sağlayan yapılar zarar görmemiştir. Bu sayede oluşan nihai ürünün kendiliğinden doğal tuşeli olması sağlanmıştır. Doğal ürünün renklendirilmesi üzerine çalışmalar yapılmış olup, orta ve koyu tonlarda konvansiyonel yöntemde boyanan renkleri yakalamak için boyarmadde oranlarında optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde iki farklı ürün grubu elde edilerek ekolojik pazara sunulmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi tarafından desteklenmiş olup, BT-AR-YÜ1804 öz kaynak proje kodu ile yer almıştır.

KAYNAKLAR

1. Abdel-Halim E. S., Al-Deyab S. S., (2012), “One-step bleaching process for cotton fabrics using activated hydrogen peroxide,” *Carbohydr. Polym.*, 92, 2, pp. 1844–1849, 2013, doi: 10.1016/j.carbpol.2012.11.045.
2. Abdel-Halim, E. S., “Simple and economic bleaching process for cotton fabric”, (2012), *Carbohydr. Polym.*, vol. 88, no. 4, pp. 1233–1238, doi: 10.1016/j.carbpol.2012.01.082.
3. W. Chen, W., Wang, L., Wang, D., Zhang, J., Sun, C., Xu, C., “Recognizing a limitation of the TBLC-activated peroxide system on low-temperature cotton bleaching”, (2015), *Carbohydr. Polym.*, vol. 140, pp. 1–5, 2016, doi: 10.1016/j.carbpol.2015.12.013.
4. Abdel-Halim, E. S., “An effective redox system for bleaching cotton cellulose,” (2012), *Carbohydr. Polym.*, vol. 90, no. 1, pp. 316–321, 2012, doi: 10.1016/j.carbpol.2012.05.044.
5. Hashem, M., El-Bisi, M., Sharaf, S., Refaie, R., “Pre-cationization of cotton fabrics: An effective alternative tool for activation of hydrogen peroxide bleaching process”, (2010), *Carbohydr. Polym.*, 79, 3, pp. 533–540, 2010, doi: 10.1016/j.carbpol.2009.08.038.
6. Vankar, P. S., Shanker, R., “Ecofriendly ultrasonic natural dyeing of cotton fabric with enzyme pretreatments”, (2007), *Desalination*, vol. 230, no. 1–3, pp. 62–69, 2008, doi: 10.1016/j.desal.2007.11.016.
7. Arık, B., Körlü, A. E., Duran, K., “Lakkaz Enzimlerinin Tekstilde Kullanım Alanları”, (2008), *Elektronik*, 2008, 2, pp. 17–22, 2008.
8. Körlü, A. E., Duran, K., Bahtiyar, İ., Perinçek, S. “SelülaZ Enziminin Selülozik Esaslı Kumaşlar Üzerine Etkisi”, (2008), *Tekst. ve Konfeksiyon*, pp. 35–41.
9. Sarkar, S., Banerjee, A., Chakraborty, N., Soren, K., Chakraborty, P., Bandopadhyay, R., “Structural-functional analyses of textile dye degrading azoreductase, laccase and peroxidase: A comparative in silico study”, (2020), *Electron. J. Biotechnol.*, vol. 43, pp. 48–54, 2020, doi: 10.1016/j.ejbt.2019.12.004.
10. Sancar, B., Paksoy, N., Balcı, O., Kurtođlu, N., “Pamuklu Dokuma Kumaşların Boyamaya Hazırlık İşlemlerinde Enzim Kullanım Olanaklarının İncelenmesi ve Kombine Proses Geliştirilmesi”, (2012), *Tekst. ve Mühendis*, vol. 19, no. 86, pp. 7–13, 2012, doi: 10.7216/130075992012198602.
11. Špička, N., Tavčer, P. F., “New Combined Bio-scouring and Bio-bleaching Process of Cotton Fabrics”, (2013), *Mater. Tehnol.*, vol. 47, no. 4, pp. 409–412.
12. Mavruz, S., Oğulata, R. T., “Tekstil Terbiyesinde Biyoparlatma Uygulamaları ve Pamuklu Örmé Kumaşların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi, (2014), *Tekst. ve Mühendis*, 66, 1–8.
13. Bhat, M. K., “Cellulases and related enzymes in biotechnology”, (2000), *Biotechnol. Adv.*, vol. 18, no. 5, pp. 355–383, doi: 10.1016/S0734-9750(00)00041-0.
14. Tian, L., Branford-White, C., Wang, W., Nie, H., Zhu, L. “Laccase-mediated system pretreatment to enhance the effect of hydrogen peroxide bleaching of cotton fabric”, (2012), *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 50, no. 3, pp. 782–787, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2011.11.025.
15. Aggarwal, R., Dutta, T., Sheikh, J., “Extraction of pectinase from *Candida* isolated from textile mill effluent and its application in bio-scouring of cotton”, (2020), *Sustain. Chem. Pharm.*, vol. 17, no. February, p. 100291, doi: 10.1016/j.scp.2020.100291.
16. Akyol, G., Yener, E., “Enzimatik Ön İşlem Uygulanan Pamuklu Kumaşların Kök Boya ile Renklendirilmesi”, (2021), *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknol. Derg.*, vol. 2, no. 1, pp. 21–29.
17. Ali, S., Khatri, Z., Khatri, A., Tanwari, A., “Integrated desizing-bleaching-reactive dyeing process for cotton towel using glucose oxidase enzyme”, (2014), *J. Clean. Prod.*, vol. 66, pp. 562–567, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.11.035.
18. Radhakrishnan, S., (2014), *Application of Biotechnology in the Processing of Textile Fabrics*, Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing, Springer, Singapur. <https://doi.org/10.1007/978-981-287-065-0-9>.